

Jurusan Teknik Sipil



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan

EDITOR

Dr. Widodo Kushartomo, S.Si., M.Si.

Ir. Dewi Linggasari, M.T.

SERI PUBLIKASI ILMIAH KONTEMPORER UNTAR 2021

**Kontruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur
yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan**

29 Juli 2021

ISBN : 978-623-6463-09-3

Penerbit

LPPI UNTAR (UNTAR Press)

Lembaga Penelitian dan Publikasi Ilmiah Universitas Tarumanagara

Jln. Letjen. S. Parman No. 1

Kampus I UNTAR, Gedung M, Lantai 5

Jakarta 11440

Email: dppm@untar.ac.id

Keanggotaan IKAPI

No.605/AnggotaLuarBiasa/DKI/2021

Copyright © 2021 Universitas Tarumanagara

SERI PUBLIKASI ILMIAH KONTEMPORER UNTAR 2021

Editor Seri

Dr. Hetty Karunia Tunjungsari, S.E., M.Si.

Ir. Jap Tji Beng, MMSI., Ph.D.

Sri Tiatri, S.Psi, M.Si, Ph.D., Psikolog

Prof. Dr. Ir. Agustinus Purna Irawan, I.P.U., ASEAN Eng.

Kontruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan

Editor

Dr. Widodo Kushartomo, S.Si., M.Si.

Ir. Dewi Linggasari, M.T.

Penulis

Jemy Wijaya

Sunarjo Leman

Daniel Christianto

Cryscilia Marcella

Channy Saka

Hendy Wijaya

Widodo Kushartomo

Edison Leo

Dewi Linggasari

Vincent

Kharistia Xavira

Arif Sandjaya

Giovanni Pranata

Aniek Prihatiningsih

Alfred J. Susilo

Gregorius S. Sentosa

Ni Luh Shinta Eka S.

Leksmono S. Putranto

Benedictur Yosia T.

Farah Rizkia Ananda

Reynaldo Bernard K.

Najid

Wati A. Pranoto

Vittorio Kurniawan

Basuki Anondho

Afriska Suwarni

Raymond Jonathan

Hendrik Sulistio

Wahyu Indra Sakti

Mega Waty

Arianti Sutandi

Henny Wiyanto

Agustinus Purna Irawan

LPPI UNTAR (UNTAR PRESS)

Jakarta, Indonesia

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan yang Penuh Kasih, karena penyertaanNya book chapter dengan judul “Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan” telah terbit. Sebanyak 24 paper hasil penelitian dan kajian pustaka dibukukan dalam book chapter. Book chapter ini diterbitkan merupakan bagian dari rangkaian kegiatan memperingati Dies Natalis ke 62 Universitas Tarumanagara. Topik book chapter merujuk keunggulan Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara yaitu Unggul dalam Konstruksi Bangunan Gedung dan atau Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan. Secara garis besar cakupan materi book chapter terdiri dari tiga bidang utama yaitu 1. Perencanaan bangunan gedung, meliputi struktur bawah, struktur atas, peraturan atau code yang berlaku secara nasional maupun internasional dan infrastukturnya berupa perparkiran, jalan lingkungan, audit, prasarana pejalan kaki dan kinerja jalan. Bagian perencanaan infrastruktur juga merencanakan drainase bangunan Gedung dan pengelolaan air limbah, 2. Pelaksanaan, terintegrasi dalam Building Information Management (BIM), komunikasi dalam proyek, pengelolaan sumber daya manusia, change order dan pembiayaan, 3. Pemeliharaan, didalamnya memuat metode penilaian kondisi bangunan Gedung.

Semua paper yang ditulis merupakan rangkaian proses pembangunan bangunan Gedung dan Infrastrukturnya, dari tahap perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan berdasarkan peraturan atau code yang berlaku dengan menitik beratkan pada faktor berkelanjutan dan berkeselamatan. Harapan Program Studi Sarjana Teknik sipil, dengan terbitnya book chapter ini semoga dapat menambah referensi dan wawasan bagi pembacanya tentang proses pembangunan dengan memperhatikan faktor berkelanjutan dan berkeselamatan.

Untar Bersinergi, Untar Bereputasi.
Salam, UNTAR untuk Indonesia

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Dr. Ir. Najid, M.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
PENDAHULUAN	x
BAB 1	1-15
<i>Konsep Mekanika Teknik</i>	
<i>Jemy Wijaya</i>	
BAB 2	16-40
<i>Permodelan Analisis Struktur Bangunan Gedung</i>	
<i>Sunarjo Leman</i>	
BAB 3	41-57
<i>Konsep Beton Bertulang Pada Bangunan Gedung</i>	
<i>Daniel Christianto, Cryscilia Marcella, Channy Saka</i>	
BAB 4	58-77
<i>Perencanaan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 2847-2019</i>	
<i>Hendy Wijaya</i>	
BAB 5	78-97
<i>Mutu dan Kualitas Beton Dalam Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur</i>	
<i>Widodo Kushartomo</i>	
BAB 6	98-116
<i>Konsep Beton Prategang Pada Bangunan Gedung</i>	
<i>Edison Leo</i>	
BAB 7	117-139
<i>Konsep Perencanaan Konstruksi Baja Bangunan Gedung</i>	
<i>Dewi Linggasari, Vincent, Kharistio Xavira</i>	
BAB 8	140-157
<i>Perencanaan Konstruksi Baja Bangunan Gedung</i>	

<i>Arif Sandjaya, Maria Kevinia Sutanto</i>	
BAB 9	158-175
<i>Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa</i>	
<i>Giovanni Pranata</i>	
BAB 10	176-203
<i>Penyelidikan Tanah Untuk Bangunan Gedung Bertingkat</i>	
<i>Aniek Prihatiningsih, Monica Michelle Susanto</i>	
BAB 11	204-226
<i>Klasifikasi Tanah untuk Penentuan Respons Spektrum</i>	
<i>Alfred J. Susilo, Kenny Erick</i>	
BAB 12	227-249
<i>Desain Fondasi Bangunan Gedung Bertingkat</i>	
<i>Gregotius Sandjaja Sentosa, Hansel Adisurya</i>	
BAB 13	250-274
<i>Perencanaan Prasarana Parkir di Gedung dan Jalan Lingkungan</i>	
<i>Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini</i>	
BAB 14	275-294
<i>Perencanaan Prasarana Pejalan Kaki</i>	
<i>Leksmono Suryo Putranto, Benedictus Yosia Tingginehe, Farah Rizkia</i>	
<i>Ananda, Reynaldo Bernard Khuana</i>	
BAB 15	295-308
<i>Pengaruh Beroperasinya Gedung Bertingkat Terhadap Kinerja Lalu Lintas</i>	
<i>Najid</i>	
BAB 16	309-323
<i>Perencanaan Drainase Gedung yang Berkelanjutan</i>	
<i>Wati Asriningsih Pranoto</i>	
BAB 17	324-340
<i>Pengelolaan Air Pada Gedung Secara Berkelanjutan</i>	
<i>Vittorio Kurniawan</i>	
BAB 18	341-358

<i>Perkembangan Building Information Modeling di Bidang Pendidikan Tinggi Teknik Sipil</i>	
<i>Basuki Anondho, Sunarjo Leman, Afriska Suwarni, Raymond Jonathan</i>	
BAB 19	359-380
<i>Manajemen Komunikasi Proyek Konstruksi Gedung Tinggi</i>	
<i>Hendrik Sulistio</i>	
BAB 20	381-300
<i>Sumberdaya Manusia dan Organisasi Dalam Pembangunan Superblok</i>	
<i>Wahyu Indra Sakti</i>	
BAB 21	400-419
<i>Change Order Pada Infrastruktur Gedung</i>	
<i>Mega Waty</i>	
BAB 22	420-432
<i>Pembiayaan Proyek Konstruksi</i>	
<i>Arianti Sutandi</i>	
BAB 23	433-450
<i>Penilaian Kondisi Kerusakan Beton Pada Struktur Bangunan Gedung</i>	
<i>Henny Wiyanto</i>	
BAB 24	451-469
<i>Pengantar Sistem Transportasi Vertikal Dalam Gedung Untuk Mendukung Lalu Lintas Orang dan Barang</i>	
<i>Agustinus Purna Irawan</i>	

PENDAHULUAN

Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan adalah bangunan yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kebutuhan generasi di masa mendatang. Didirikan untuk memenuhi keinginan pengguna dengan memperhatikan daya dukung lingkungan, pencapaian keadilan sosial, berkelanjutan ekonomi, lingkungan dan keselamatan, selama proses pemanfaatan dan pemeliharaan. Pembangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan dapat dicapai jika ada kepedulian dari pihak pemilik, perencana, pelaksana, pengawas dan pengguna dalam merencanakan dan mengelola bangunan. Berkelanjutan dan berkeselamatan berarti mengurangi kerusakan lingkungan tanpa mengorbankan kebutuhan pembangunan ekonomi dan keadilan sosial serta memperhatikan kaidah keselamatan yang telah diatur dalam code atau peraturan yang berlaku secara nasional maupun internasional.

Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan merupakan bangunan yang mengarah pada proses yang bertanggung jawab terhadap lingkungan, hemat sumber daya sepanjang siklus hidup bangunan tersebut. Pemilihan tempat atau lokasi sesuai peruntukan hingga desain, konstruksi, pengoperasian, perawatan, renovasi, peruntukan harus sesuai standard code atau peraturan yang berlaku.

Indikator bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan dapat dilihat dari:

1. Keberlanjutan ekologis menjamin keberlanjutan ekosistem bumi.

Hal yang dapat diupayakan adalah memanfaatkan sumber daya alam secara bijaksana sehingga tidak terjadi pemborosan selama proses pembangunan dan pemanfaatan bangunan diantaranya berupa semen, air, pasir, kerikil, kayu, logam, plastik serta lainnya, sehingga menjamin sistem penunjang kehidupan

bumi tetap terjamin. Tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan sehingga menyebabkan terjadinya pencemaran, kerusakan atau bencana. Menjamin tersedianya sistem pengelolaan limbah saluran pembuangan atau peresapan. Bijaksana dalam arti kata semua proses telah direncanakan dengan baik dan benar sesuai dengan prosedur baku yang ditetapkan.

2. Keberlanjutan Ekonomi menjamin kesejahteraan masyarakat.

Hal yang dapat diupayakan adalah pembangunan Gedung dan Infrastruktur dapat menggerakkan perekonomian masyarakat. Memberikan manfaat secara ekonomi kepada pekerja, pengguna dan masyarakat luas. Pembiayaan selama persiapan, proses dan pemeliharaan bangunan merupakan bagian dari ekonomi rekayasa yang harus dipersiapkan dengan benar untuk menunjang keberlanjutan ekonomi.

3. Keberlanjutan sosial budaya menjamin stabilitas penduduk.

Hal yang dapat diupayakan adalah pembangunan Gedung dan infrastruktur tidak merubah tatanan kehidupan sosial budaya. Menjamin terpenuhinya kebutuhan sosial masyarakat diantaranya sarana pejalan kaki, motor dan mobil, tempat parkir, tataguna lahan sesuai peruntukan dan fasilitas Gedung lainnya.

4. Berkeselamatan

Hal yang dapat diupayakan adalah memenuhi standard code internasional maupun nasional dalam proses perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, penggunaan dan pemelihara. Menjamin terpenuhinya seluruh aspek keselamatan Gedung saat difungsikan termasuk didalamnya rambu-rambu, perlengkapan K3, tersedia sistem peringatan dini dan pemeliharaan. Perencanaan menggunakan Building Information Management (BIM) memudahkan proses pembangunan. Perencanaan struktur bawah, struktur atas memerlukan code atau standar yang berlaku untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur dan meminimalisir terjadinya kerusakan ketika terjadi bencana, sehingga pengguna bangunan dapat terselamatkan. Pemeliharaan bangunan dengan metode yang baku yang

dikembangkan dapat memberikan peringatan awal terhadap kondisi bangunan sehingga meminimalisir terjadinya kerusakan yang dapat berakibat fatal..

BAB 1

Konsep Mekanika Teknik

Jemy Wijaya

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Sebagaimana kita ketahui mekanika teknik adalah pelajaran dasar yang harus dipelajari dan dipahami oleh mahasiswa teknik sipil karena mata pelajaran ini menunjang mata kuliah lain yang ada pada program studi teknik sipil seperti struktur beton, baja, kayu dan sebagainya. Tanpa menguasai mekanika teknik, mahasiswa teknik sipil akan sulit menyelesaikan pendidikan sebagai sarjana teknik sipil. Untuk itu dalam tulisan ini membahas apa itu mekanika teknik, perkembangan ilmu mekanika teknik ini mulai dari teori secara klasik sampai perkembangan penggunaan program-program komputer dimulai dari dua dimensi (2D), bahkan sekarang sudah sampai pada tiga dimensi (3D). Bila kita sudah menguasai mekanika teknik dari dasar maka kita akan mengetahui hasil yang dianalisis oleh program komputer apakah terjadi kesalahan atau tidak.

Kata kunci: Mekanika teknik, klasik, dimensi, program

1.1 Pendahuluan/Latar Belakang

Sebagaimana kita ketahui, mengapa mata pelajaran mekanika teknik sangat penting didalam pendidikan teknik sipil. Mekanika teknik adalah perluasan dari cabang mekanika yang mencakup hubungan antara gaya-gaya luar yang bekerja pada benda dengan gaya yang ditimbulkannya sehingga dapat diketahui kekuatan bahan dan deformasi dari benda tersebut. Mekanika teknik membahas tentang keseimbangan/statika dan reaksi perletakan dari suatu Struktur, gaya-gaya dalam , masalah regangan elastis dan non elastis, tegangan normal, geser, lentur,puntir dan lenturan balok/kekakuan balok, dan sebagainya [1][2]. Reaksi perletakan merupakan gaya-gaya reaksi yang terjadi akibat dari suatu struktur dibebani oleh beban-beban luar (aksi) dan akan timbul reaksi perletakan, yang dikenal dengan Hukum Aksi Reaksi [3]. Gaya-gaya reaksi perletakan tersebut adalah sebagai berikut:

- Gaya reaksi vertikal disimbolkan dengan huruf V
- Gaya reaksi horisontal disimbolkan dengan huruf H
- Gaya reaksi momen disimbolkan dengan huruf M

Selain reaksi perletakan, penting juga untuk dipahami beban-beban secara umum, beban-beban pada rekayasa struktur dibagi dalam empat katagori yaitu sebagai berikut : [3][4]

a. Beban Mati

Yaitu beban yang tidak berpindah-pindah letaknya, contoh seperti beban struktur itu sendiri (kolom dan balok) dan elemen-elemennya (pelat lantai, tembok, partisi, atap) dan lain-lain, mesin-mesin dan peralatan tetap.

b. Beban Hidup

Yaitu beban yang dapat berpindah-pindah, contoh : manusia, hewan, barang yang berpindah-pindah/bukan tetap (meja,kursi,lemari, komputer, dan lain-lain).

c. Beban Angin

Yaitu beban yang bekerja pada struktur (bagian struktur) yang disebabkan oleh selisih tekanan udara.

d. Beban Gempa

Yaitu beban yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh gerakan tanah, gempa bumi tektonik atau vulkanik yang dapat mempengaruhi struktur tersebut.

1.2 Isi dan pembahasan

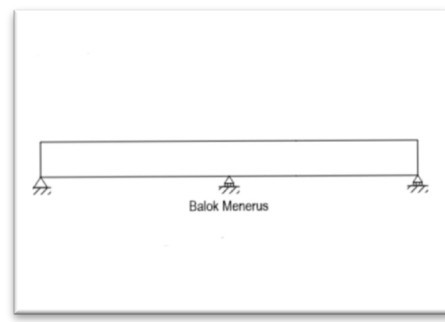
Secara garis besar, struktur dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu struktur dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D). Berdasarkan prinsip pemikulan gaya yang dilakukan oleh masing-masing tipe sistim struktur, maka struktur dapat dibedakan menjadi beberapa tipe dasar seperti diuraikan berikut ini :[3]

Balok (*BEAM*):

Elemen balok merupakan elemen struktur paling sederhana yang banyak digunakan sebagai pemikul beban. Balok dapat berupa balok sederhana yang tertumpu pada dua tumpuan (Gambar 1.1a), atau balok menerus yang tertumpu di beberapa tumpuan (Gambar 1.1b), balok kadangkala juga dijumpai dalam bentuk lengkungan (Gambar 1.1c).



a.



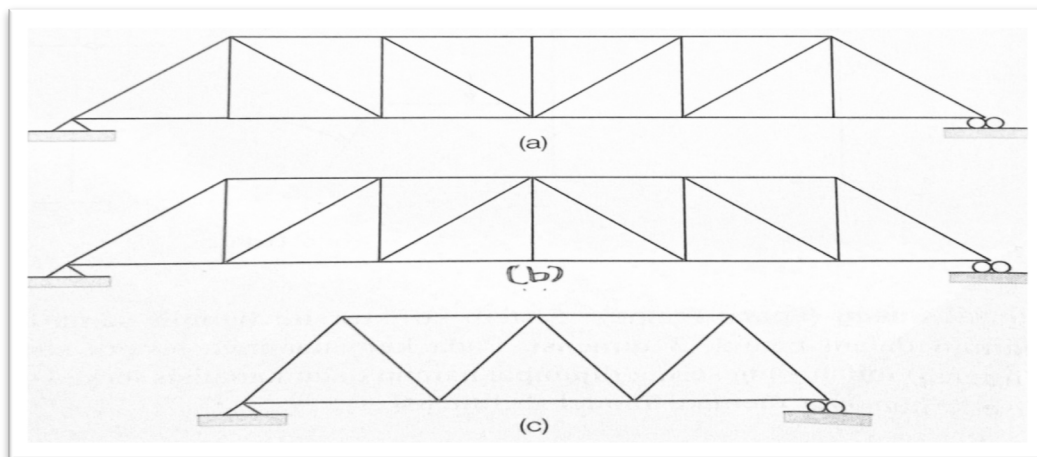
b.



c.

Gambar 1.1 a. Balok sederhana b. Balok menerus c. Balok melengkung [3]

Tipe struktur dua dimensi (2D) ini memiliki ciri khas tersendiri, rangka batang bidang terdiri dari beberapa batang yang saling terhubung sehingga membentuk elemen-elemen segitiga., dimana titik-titik hubungan berupa hubungan sendi dan batang-batang tersebut hanya memikul gaya aksial. Contoh sistem elemen rangka batang bidang diperlihatkan pada (Gambar 1.2a), (Gambar 1.2b) dan (Gambar 1.2c).



Gambar 1.2 a. Rangka Batang PRATT b. Rangka Batang HOWE c. Rangka Batang WARREN [3]

Rangka Batang Ruang (*Space Truss*):

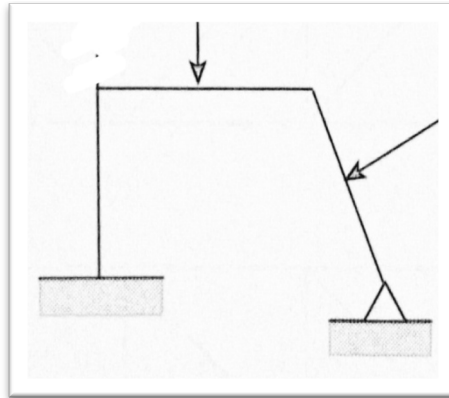
Merupakan struktur rangka dalam bentuk tiga dimensi (3D) sama seperti halnya struktur rangka batang bidang, elemen-elemen rangka batang ruang hanya memikul gaya aksial saja.[3][5][6] Contoh rangka batang ruang seperti yang terlihat pada (Gambar 1.3)



Gambar 1.3 Rangka Batang Ruang [7]

Portal Bidang (*Plane Frame*):

Sistim struktur portal bidang (Gambar 1.4) terdiri dari elemen-elemen horisontal, vertikal atau terkadang memiliki kemiringan tertentu, dan antar elemen terhubung dengan kaku/rigid. Elemen-elemen horizontal merupakan elemen **balok**, sedangkan elemen vertikal sering disebut dengan **kolom**, elemen miring disebut sebagai **balok miring**. [3][4]



Gambar 1.4 Portal Bidang [3]

Portal Ruang (*Space Frame*):

Sistim struktur ini hampir sama dengan portal bidang, namun dalam bentuk 3 dimensi, pada kenyataannya sistim struktur portal ruang inilah yang sering kita jumpai, namun dalam analisis terkadang pemodelan struktur disederhanakan menjadi model 2 dimensi, sebelum berkembangnya analisis 3 dimensi [5][6] (Gambar 1.5)



Gambar 1.5 Portal Ruang [8]

Jenis - Jenis Beban

Menurut cara bekerjanya beban dibagi menjadi sebagai berikut : [4]

- Beban terpusat dengan satuan Kg,ton,kN dan sebagainya.

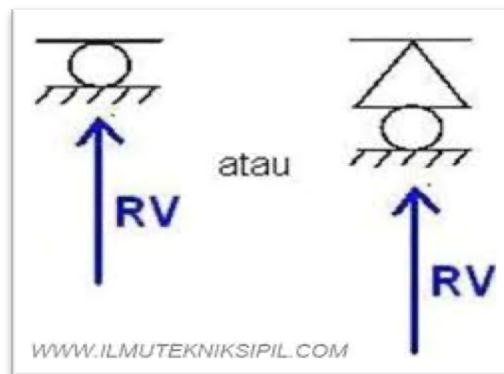
- Beban merata dengan satuan Kg/m, t/m, kN/m dan sebagainya.
- Beban tidak merata misal beban segitiga dan beban trapesium.
- Beban momen dengan satuan Kg m, ton m, kN m dan sebagainya.

Jenis - Jenis Tumpuan

Semua beban yang bekerja pada struktur pada akhirnya akan dipikul oleh tumpuan.[3]

a. Tumpuan Rol

Jenis Tumpuan ini bebas berotasi dan bertranslasi sepanjang permukaan rol ini berada. Tumpuan rol hanya mampu menyalurkan gaya vertikal yang memiliki arah tegak lurus terhadap bidang landasan. Dalam analisis struktur jenis tumpuan ini sering disimbolkan seperti pada (Gambar 1.6) dan juga ditunjukkan arah reaksi yang dihasilkan oleh tumpuan rol. [9][10]



Gambar 1.6 Tumpuan Rol [9]

Untuk gambar Tumpuan Rol dalam bentuk aplikasi pada Struktur Jalan ditunjukkan dalam (Gambar 1.7)



Gambar 1.7 Tumpuan Rol pada Jembatan [11]

b. Tumpuan Sendi (*HINGE*)

Jenis tumpuan ini hanya dapat berotasi, namun tak dapat bertranslasi dalam arah vertikal maupun horisontal. Tumpuan sendi dapat memberikan reaksi dalam arah horisontal maupun vertikal. [9][10] (Gambar 1.8) memperlihatkan notasi untuk tumpuan sendi, berikut dengan reaksi tumpuan yang timbul pada tumpuan sendi.

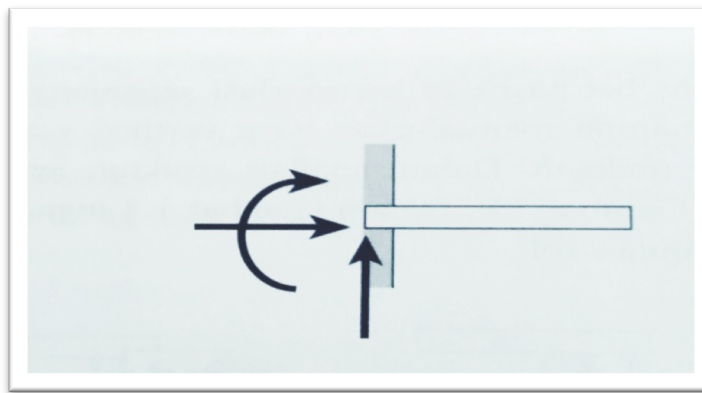


Gambar 1.8 Tumpuan Sendi [9]

(Gambar 1.9) Memperlihatkan aplikasi dari tumpuan sendi pada suatu struktur jembatan baja

a. Tumpuan Jepit (*FIXED/RIGID*)

Tumpuan jenis ini dapat menahan gaya dalam arah vertikal, horisontal serta dapat pula memikul momen, jenis tumpuan jepit tidak mengalami rotasi (putaran sudut) dan translasi vertikal maupun horisontal, sehingga sering juga disebut tumpuan kaku (rigid) [4][13], Gambar 1.10a memperlihatkan notasi Tumpuan Jepit.

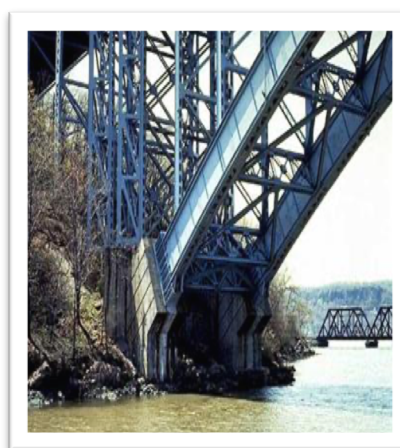


a

Dibawah ini memperlihatkan aplikasi tumpuan Jepit pada struktur beton (Gambar.1.10b) dan baja (Gambar.1.10c)



b



c

Gambar 1.9 a. Tumpuan Jepit [13], b. Tumpuan Keping pada Beton [13],
c. Tumpuan Jepit pada Baja [14]

Struktur Statis Tertentu

Suatu struktur dikatakan statis tertentu bila semua reaksi pada tumpuan-tumpuan dapat dihitung dengan persamaan keseimbangan yang ada yaitu penjumlahan gaya-gaya horizontal sama dengan nol ($\sum H = 0$), penjumlahan gaya-gaya vertikal sama dengan nol ($\sum V = 0$), penjumlahan momen pada satu titik sama dengan nol ($\sum M = 0$), [16][13]

Jenis –Jenis Struktur Statis Tertentu :

- Struktur balok,portal, rangka batang di atas 2 tumpuan sederhana (Sendi- Rol).
- Struktur balok,portal,rangka batang di atas tumpuan jepit bebas.
- Struktur balok GERBER.
- Struktur pelengkung/portal tiga sendi.[4][13]

Struktur Statis Tak Tentu

Suatu struktur dikategorikan sebagai struktur statis tak tentu bila reaksi perletakkannya tidak dapat dicari hanya dengan persamaan keseimbangan biasa $\sum H = 0, \sum V = 0$ dan $\sum M = 0$, tetapi diperlukan tambahan persamaan deformasi. [16][13]

a. Derajat Statis Tak Tentu:

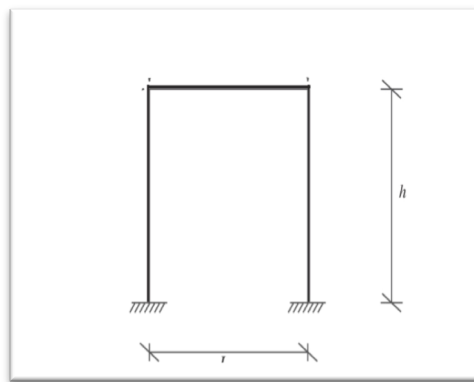
Suatu struktur balok dan portal statis tak tentu bisa ditentukan derajat ketidakstatisan dengan rumus sebagai berikut : [17]

$$^{\circ}S = 3F + 2H + 1R + 3m - 3j$$

Dimana : $^{\circ}S$ = derajat statis tak tentu

- F = jumlah perletakan Jepit/Fixed
 H = jumlah perletakan HINGE/Sendi
 R = jumlah perletakan Rol
 M = jumlah member/batang
 J = jumlah joint/titik

Catatan : Bagian balok Kantilever tidak dihitung sebagai batang/balok



Gambar 1.10 Gambar struktur statis tak tentu derajat tiga [3]

Suatu struktur balok dan portal statis tak tentu derajat tiga bisa diselesaikan dengan cara : [5][16][17][13][16]

- Metode Consistent Deformation
- Metode Clapeyron (Persamaan Tiga Momen)
- Metode Slope Deflection
- Metode Column Analogy
- Metode Elastic Center
- Metode Cross (Moment Distribution Method)
- Metode Matrix (Force & Displacement Method)

Untuk derajat statis tak tentu lebih besar dari 3 sebaiknya diselesaikan dengan Metode matrix Displacement / kekakuan/Stiffness.

Untuk rangka batang bidang statis tak tentu ,derajat ketidak statisan dapat

ditentukan dari rumus sebagai berikut : [14]

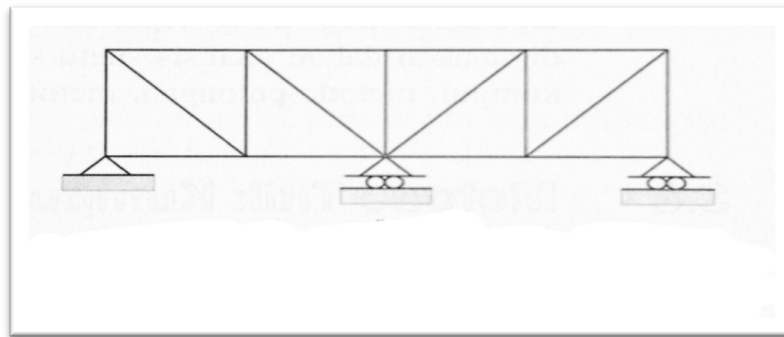
$$^{\circ}S = e + r - 2n$$

Dimana : $^{\circ}S$ = derajat statis tak tentu

E = jumlah elemen batang

R = jumlah reaksi perletakan

N = jumlah joint/titik kumpul



Gambar 1.11 Struktur statis tak tentu derajat satu [9]

Untuk derajat statis tak tentu sampai tingkat tiga bisa diselesaikan dengan Metode Consistent Deformation dan Forced Method, tetapi untuk derajat statis tak tentu lebih besar dari tiga digunakan matrix Displacement/Stifness Method.

Untuk analisis bangunan bertingkat banyak pada awalnya digunakan cara CROSS, KANI dan TAKABEYA, sedang analisis gempa digunakan cara MUTO. Dalam mencari momen-momen max lapangan dan tumpuan pada bangunan bertingkat banyak akibat kombinasi pembebanan hidup dan mati sering kali digunakan cara TWO CYCLE MOMENT DISTRIBUTION. [14]

Perkembangan Program Komputer

Seiring dengan berkembangnya program komputer untuk perhitungan struktur

balok, portal dan rangka batang yang dimulai sekitar tahun 1980an yang berupa program buatan sendiri yang disalin dari buku-buku analisis struktur, seperti PLANE FRAME dua dimensi (2D) yang ditulis dalam bahasa Fortran [5] [6], disini mulai dikenal kata-kata DOF (DEGREE OF FREEDOM dari titik) atau derajat kebebasan gerak dari titik dan untuk memperkecil DOF yang terjadi, diasumsikan gaya aksial diabaikan dan sebagainya.

Sekitar tahun 1985-1990 baru populer dengan program CAL 90, GRASP 2D GRAFIS INTERAKTIF, SAP dan ETABS, kemudian tahun 2000an berkembang program ETABS yang sudah dimodifikasi, SAP 2000, GT STRUDL NON LINEAR untuk advance model dalam struktur tiga dimensi (3D). Terakhir sekitar tahun 2015 berkembang program MIDAS dengan berbagai macam jenisnya dan program lainnya.

1.3 Penutup

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang Teknik Sipil, sekarang banyak program –program Software yang sudah sangat maju, dapat digunakan untuk perencanaan pekerjaan infrastruktur seperti proyek-proyek jalan, terowongan, jembatan, pelabuhan, offshore, bangunan bertingkat banyak dan sebagainya Berdasarkan itu semua, maka pelajaran konsep Mekanika Teknik yang merupakan dasar dari peminatan Teknik Sipil tetap harus dipelajari dan dipahami, dari gaya-gaya dalam yang didapat dari perhitungan mekanika teknik, dalam perencanaan struktur harus dipenuhi segi kekuatan, kekakuan, dan lain-lain, sesuai dengan peraturan yang berlaku.[16][17].

Referensi

- [1]. Singer Ferdinand L, Pytel Andrew, Sebayang Darwin, Kekuatan Bahan, 1985, Edisi kedua, Penerbit ERLANGGA
- [2]. Popov E.P., Astamar Zainul, Mekanika Teknik, 1989, Edisi Kedua, Penerbit ERLANGGA
- [3]. Setiawan Agus, 2015, Analisis Struktur, Penerbit ERLANGGA
- [4]. Soemono, 1980 , Statika 1, Penerbit ITB
- [5]. Weaver, JR William, Gere James.M. Wira, Analisa Matriks unuk Struktur Rangka, 1986 Edisi kedua, Penerbit ERLANGGA
- [6]. Laursen Harold I, 1988, *1st Printing McGRAW-HILL International Editions*
- [7]. <https://images.app.goo.gl/Nv8TBhWtFXybNiei9>
- [8]. <https://ohmysituation.blogspot.com/2014/02/struktur-dan-konstruksi-bangunan.html?m=1>
- [9]. <http://ilmutekniksipil.com/mechanika-struktur/jenis-tumpuan-dan-beban-pada-struktur-bangunan>
- [10]. <http://kampita.com/2020/10/macam-macam-perletakan=pada-struktur.html>
- [11]. <http://gurusipil.com/jenis-jenis-tumpuan-dalam-mekanika-teknik/>
- [12]. Todd, Liong The Houw, Teori Dan Analisis Struktur, 1984, Edisi Kedua, Penerbit ERLANGGA
- [13]. <http://pdfslide.tips/document/pengertian-dan-macam-tumpuan.html>
- [14]. <http://myjihadsoul.wordpress.com/2011/07/24/mechanika-rekayasa-pondahuluan/>
- [15]. Wang C.K, *Intermediate Structural Analysis*, 1985, *2nd Printing, International Student Edition*, McGRAW-HILL
- [16]. Wijaya Jemy, 2021, Diktat Kuliah Analisis Struktur 1, UNIVERSITAS TARUMANAGARA
- [17]. Soemono, 1980, Statika 2, Penerbit ITB

Profil Penulis

Ir. Jemy Wijaya, M.T.



Lulus Sarjana Muda Negara Teknik Sipil tahun 1981, Sarjana Lokal Universitas Tarumanagara tahun 1983, Sarjana Negara tahun 1985, lulus Magister Teknik Sipil Peminatan Struktur Universitas Tarumanagara tahun 2003. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Teknik Sipil Universitas Tarumanagara sejak September 1984 sampai dengan sekarang, dan sekarang masih menjabat sebagai Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Tarumanagara.

BAB 2

Permodelan Analisis Struktur Bangunan Gedung

Sunarjo Leman

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Simulasi pembuatan model dalam analisis pada struktur gedung merupakan teknik tersendiri yang penting saat ini, dengan semakin banyak bangunan-bangunan baru dan spektakuler tersebar di penjuru dunia sekarang. Tentu dalam analisis perlu dilakukan pemodelan yang tepat untuk mendapatkan hasil analisis yang baik dan benar sebelum dilanjutkan ketahap desain komponen struktur dan fondasi. Pemodelan secara tepat tahap demi tahap dilakukan dari penentuan awal sistem struktur gedung sampai ketahap akhir untuk menentukan hasil analisis yang tepat untuk digunakan ketahap selanjutnya. Pengalaman seorang insinyur menjadi bagian penting dalam melakukan pemodelan struktur gedung ini karena semakin banyak permasalahan yang ditemukan dan ditangani atau diselesaikan maka akan semakin baik dalam melakukan pemodelan untuk simulasi perencanaan bangunan berkelanjutan dan berkeselamatan.

Kata kunci: simulasi, pemodelan, analisis, sistem, gedung

1.1 Pendahuluan/Latar Belakang

Simulasi dari pemodelan saat ini merupakan pilar ketiga ilmu pengetahuan bersama dengan teori-teori dan eksperimen yang dilakukan di laboratorium secara uji fisik benda dengan skala penuh ataupun tidak [1], [2], [3], [4]. Perkembangan pesat teknologi konstruksi modern telah merubah cakrawala kota-kota besar dunia secara dramatis. Semakin banyak bangunan kompleks, seperti Burj Khalifa di Dubai, Bird Nest Stadium (Stadion Sarang Burung) di Beijing dan London Aquatic telah dibangun selama dekade terakhir. Persaingan sengit di pasar desain saat ini juga membutuhkan insinyur struktur untuk menangani peningkatan kesulitan dalam merancang proyek yang lebih rumit dibutuhkan oleh klien dan arsitek. Tantangan ini hanya dapat diatasi dengan menggunakan teknologi komputer modern. Ini juga menimbulkan perubahan besar dalam peran insinyur struktur, selain itu pengetahuan tentang prinsip-prinsip desain dasar dan metode analisis struktur, seorang insinyur juga harus memiliki pemahaman penuh tentang teknik pemodelan terbaru. Salah satu alasan mengapa keterampilan pemodelan dengan menggunakan komputer tingkat lanjut baru-baru ini menjadi penting untuk perekrutan insinyur dengan meningkatkan jumlah konsultan desain [5].

Pada kenyataannya analisis yang tepat dari suatu struktur hampir tidak pernah dapat dilakukan dengan tepat sekali. Mengidealisasikan struktur merupakan seni dalam teknik sipil untuk dapat memodelkan bentuk nyata sebuah perencanaan ke dalam model matematis agar dapat dilakukan analisis. Idealisasi adalah metode penyederhanaan secara konservatif komponen-komponen sistem struktur dengan tetap mengusahakan menjaga perilaku struktur yang tepat di bawah pembebanan yang sama. Proses ini dilakukan untuk menyederhanakan waktu analisis dan desain perhitungan. Tanpa pemodelan struktur yang ideal dan tepat sesuai dengan perilaku struktur tersebut, desain dapat memakan waktu lebih lama dalam analisis dan terkadang menjadi tidak mungkin karena timbul kesalahan-kesalahan karena pemodelan yang terlalu kompleks atau tidak tepat.

Salah satu tahap yang paling penting dalam melakukan perencanaan struktur bangunan gedung bertingkat adalah dalam tahap melakukan pemodelan/idealisasi untuk analisis struktur sebelum melakukan desain terhadap elemen-elemen struktur seperti pelat, balok, kolom, shear wall, fondasi dan komponen elemen struktur lainnya. Pembebanan yang terjadi pada struktur sebaiknya dapat diakomodasi semua dalam pemodelan agar semua kondisi pada kenyataan dapat semua dianalisis, sehingga semua kemungkinan terjadi sudah dapat diprediksi sebelum sampai ketahap desain. Disamping itu yang perlu menjadi perhatian para perencana adalah perkiraan perilaku struktur bangunan hasil analisis atau simulasi dari pemodelan sebaik mungkin dapat sesuai dengan prediksi atau kenyataan yang terjadi, dalam hal ini feeling engineering dari insinyur perencana sangat penting sesuai dengan pengalaman profesional yang sudah dialami. Semuanya ini tentu tidak dapat lepas dari waktu lama bekerja dan tingkat permasalahan pengalaman penyelesaian proyek-proyek yang pernah dihadapi.

1.2 Isi dan pembahasan

Permodelan Simulasi Analisis Struktur Bangunan Gedung

Sebelum dapat melakukan pemodelan matematis dari suatu kasus perencanaan struktur bangunan gedung maka perlu diketahui pemahaman tentang sistem bangunan gedung yang ada saat ini. Sistem bangunan gedung merupakan pengetahuan langkah awal sebelum melakukan tahapan simulasi pemodelan dan analisis selanjutnya.

a. Sistem Penahanan Beban Gravitasi

Komponen utama yang terkait dengan sistem penahan beban vertikal pada bangunan bertingkat tinggi adalah sistem lantai, balok, kolom, dan dinding geser. Dinding geser terutama biasa digunakan untuk menahan gaya lateral tetapi juga digunakan untuk menahan beban vertikal.

Sistem lantai merupakan bagian dari sistem penahan beban gravitasi yang

relatif tetap serupa di gedung-gedung bertingkat dan rendah. Namun, untuk gedung-gedung tinggi, sangat penting untuk meminimalkan berat seluruh struktur. Oleh karena itu, sistem lantai ringan, seperti flat slab, pelat precast, dan prestress menjadi pilihan dalam desain.

Sistem lantai juga berperan penting dalam mendistribusikan beban akibat gaya lateral. Karenanya kekakuan dalam bidang yang besar, beban lateral ditransfer melalui pelat lantai melalui sistem diafragma kaku atau fleksibel ke sistem penahan lateral, seperti dinding geser dan penyangga lainnya. Oleh karena itu, desain lantai sebagai diafragma yang memadai merupakan masalah penting dalam desain gedung tinggi. Beberapa pelat lantai dengan bukaan besar memerlukan perhatian khusus karena dapat melemahkan aksi diafragma di pelat lantai, sehingga distribusi gaya lateral tidak sepenuhnya sempurna ke dinding penahan geser.

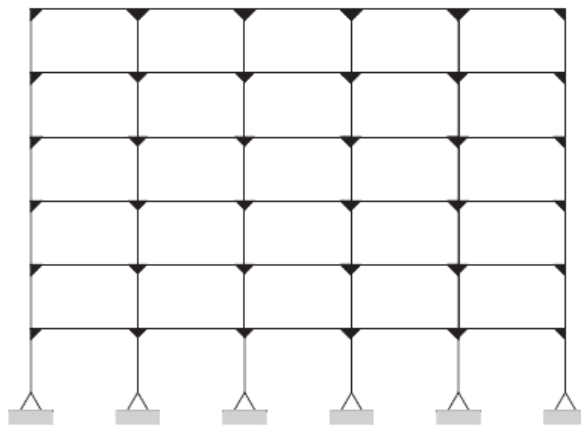
b. Sistem Struktur Penahan Beban Lateral

Ada berbagai sistem penahan lateral yang saat ini digunakan dalam praktik konstruksi desain gedung tinggi. Mengurangi penyimpangan lateral merupakan pertimbangan desain penting untuk gedung tinggi. Penyimpangan lateral yang berlebihan, terutama simpangan antar lantai, dapat merusak sistem sekunder seperti partisi atau dinding tirai. Penghuni gedung juga akan mengalami ketidaknyamanan di bawah penyimpangan siklus yang berkepanjangan [6] dan kekuatan angin dinamis merupakan penyebab alasan utama untuk ini. Beberapa program komersial seperti ETABS, SAP2000, Midas GEN, Autodesk ROBOT dan Staad.Pro semuanya memiliki kemampuan untuk memeriksa drift (simpangan) keseluruhan atau pergeseran antar lantai.

Ada beberapa tipe struktur penahan beban lateral yang sudah digunakan saat ini sebagai berikut:

- ***Moment resisting frames (MRF)***

Sistem rangka penahan momen (MRF) adalah sistem yang memanfaatkan kekakuan struktur untuk memberikan tahanan lateral. Koneksi balok dan kolom dihubungkan secara kaku, sehingga disebut juga rangka kaku. Desain kolom dan balok harus dirancang agar kuat saat ditekuk. Hubungan detail sambungan balok ke kolom juga perlu didesain secara khusus untuk mengakomodasi momen lentur disebabkan oleh beban lateral. Material Baja dan beton merupakan paling umum digunakan untuk MRF, karena keduanya dapat memberikan fleksibilitas dalam perencanaan.



Gambar 2.1 Sistem Rangka Penahan Momen [5]

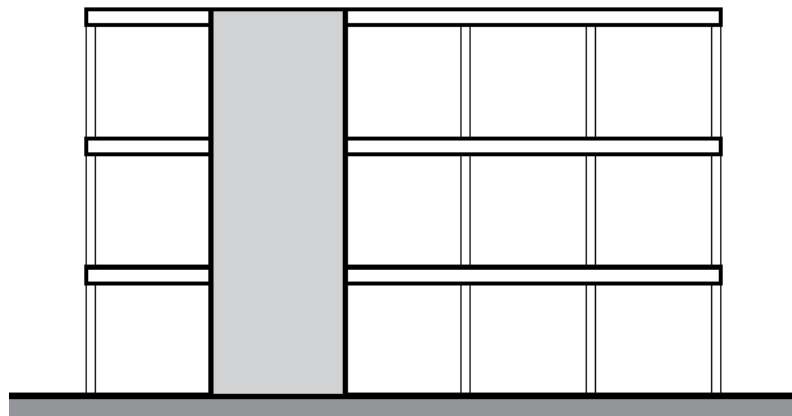
Salah satu kerugian dari sistem MRF adalah bahwa kerangka yang kaku membutuhkan biaya yang mahal pada jenis koneksi momen, akibatnya akan menghasilkan bangunan yang mahal secara keseluruhan. Selain itu, itu adalah sulit untuk mengontrol penyimpangan lateral karena efek P-Delta. Peningkatan goyangan bangunan menyebabkan tambahan defleksi pada balok dan kolom. Oleh karena itu, tinggi desain yang efisien tanpa sistem penahan beban lateral tambahan yang diperlukan adalah 30 lantai untuk struktur baja dan 20 lantai untuk struktur beton [7].

Di tempat-tempat di mana aktivitas seismik lebih tinggi atau ada risiko

gempa bumi yang lebih besar, MRF harus didesain untuk memastikan bahwa daktilitas balok ke sambungan kolom memiliki ketahanan yang cukup terhadap gerakan berlebihan dan goyangan struktur. Persyaratan sifat daktilitas dan pengontrolan terjadinya sendi plastis yang baik dalam desain sekarang dilihat sebagai kunci sukses dalam menahan gerakan berlebihan dari suatu struktur.

- ***Moment resisting frames (MRF)***

Struktur dinding geser banyak digunakan untuk gedung tinggi dan gedung bertingkat rendah sebagai bagian struktural penting dalam sistem penahan lateral. Dinding geser bekerja sebagai balok kantilever vertikal dalam yang ditopang di fondasi pada tanah. Dinding geser juga memikul beban vertikal bersama dengan kolom-kolom lainnya pada struktur tersebut. Pada bangunan tinggi, dinding geser umumnya terletak di tengah bangunan, biasanya berupa sistem dinding inti, karena sistem translasi vertikal seperti lift biasanya terletak di tengah bangunan.



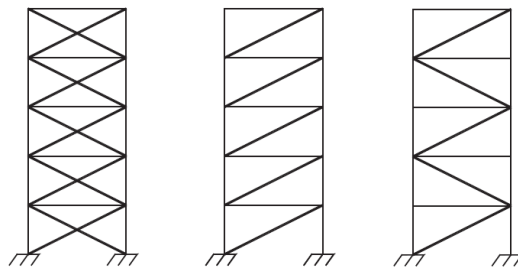
Gambar 2.2 Sistem Kombinasi *Shear Wall* dan *Moment Resisting Frames* [8]

MRF juga cukup umum untuk dihubungkan dengan dinding geser beton bertulang atau rangka baja, sehingga menghasilkan sistem interaksi rangka

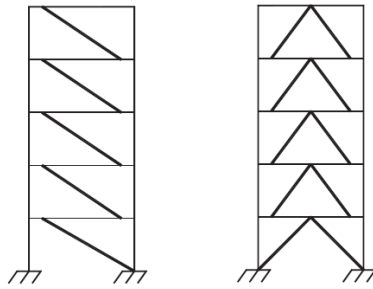
geser yang memberikan kekakuan lateral yang luar biasa untuk struktur tinggi, karena setiap sistem mengontrol stabilitas lateral bangunan di lokasi yang berbeda, yang menyediakan sistem penahan lateral yang lebih efisien. Jenis sistem ini memiliki potensi maksimum untuk mencapai ketinggian 65 lantai.[5].

- **Sistem Rangka *Bracing* (*Bracing Systems*)**

Bracing adalah salah satu sistem penahan lateral yang paling penting, dan banyak digunakan di berbagai jenis bangunan bertingkat rendah serta bangunan tinggi. Untuk tujuan estetika, rangka bracing biasanya ditempatkan di antara rongga dinding dan pertemuan dengan elemen balok dan kolom pada satu garis kerja yang sama. Model penempatan seperti ini dapat dikategorikan menjadi bracing konsentris. Perbedaan dengan bracing eksentrik adalah penempatan ujung-ujung bracing tidak bertemu pada satu titik kerja. Penggunaan bracing ini banyak dipakai pada struktur bangunan di zona gempa karena memberikan daktilitas tinggi pada struktur.



Gambar 2.3 Tipe *Bracing* Konsentrik [5]

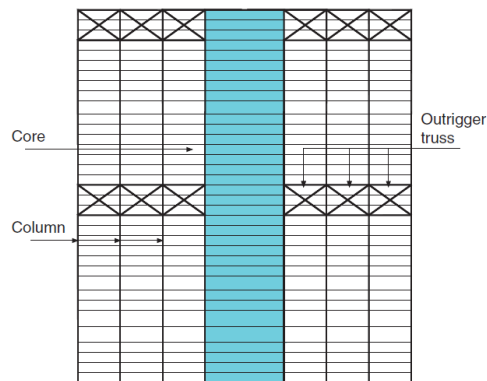


Gambar 2.4 Tipe *Bracing* Eksentrik [5]

- ***Outrigger Structures***

Inti biasanya terletak di tengah dalam sebuah bangunan, sedangkan outrigger merupakan komponen struktur yang berbentuk lengan umumnya merupakan struktur rangka memanjang ke kolom bagian luar bangunan. Outrigger ini menopang pada dinding inti bangunan dan kolom bagian sisi luar yang memberikan kombinasi gaya tarik dan tekan pada dinding tengah dan kolom luar.

Momen lentur, gaya aksial tarik dan tekan pada kolom bagian luar yang terhubung dengan outrigger membantu menahan momen bagian luar dari struktur bangunan. Ketika pembebanan lateral, seperti angin atau gempa bekerja pada struktur, rotasi inti juga dapat dikontrol karena adanya tahanan dari outrigger. Tahanan ini membantu mengurangi defleksi dan momen lateral yang terjadi, yang jika tidak akan menyebabkan ketidakstabilan struktural dari banyak komponen struktur.



Gambar 2.5 Tipe Struktur *Outrigger* [5]

- ***Tube Structures***

Struktur tabung adalah salah satu sistem struktur penahan lateral utama di gedung-gedung tinggi yang dirancang untuk bertindak seperti silinder berongga kantilever tegak lurus ke tanah untuk menahan beban lateral angin, gempa dan sebagainya. Sistem ini diperkenalkan oleh Fazlur Rahman Khan dan beberapa bangunan terkenal yang mendukung sistem desain ini, adalah Menara Willis, World Trade Center (runtuh) dan John Hancock Centre.

Untuk sistem jenis ini, rangka luar dirancang cukup kuat dengan menggunakan sambungan kaku balok ke kolom untuk menahan semua beban lateral [9]. Keliling luar terdiri dari kolom-kolom yang berjarak rapat yang diikat bersama dengan balok spandrel satu sama lainnya dengan sambungan momen. Jarak antara bagian luar dan rangka inti menggunakan balok atau rangka batang. Dengan meningkatkan efektivitas keliling tabung dengan mentransfer sebagian beban gravitasi di dalam struktur ke dalamnya dan meningkatkan kemampuannya untuk menahan guling akibat beban lateral.

Struktur tubular dikategorikan ke dalam beberapa jenis yang berbeda

sebagai berikut ini:

Frame Tubes

Merupakan sistem tabung yang paling banyak digunakan. Ini adalah sistem tiga dimensi yang terdiri dari kolom-kolom yang berjarak dekat dan balok-balok spandrel dalam yang disatukan dengan kuat untuk membuat silinder berongga.

Braced Tubes

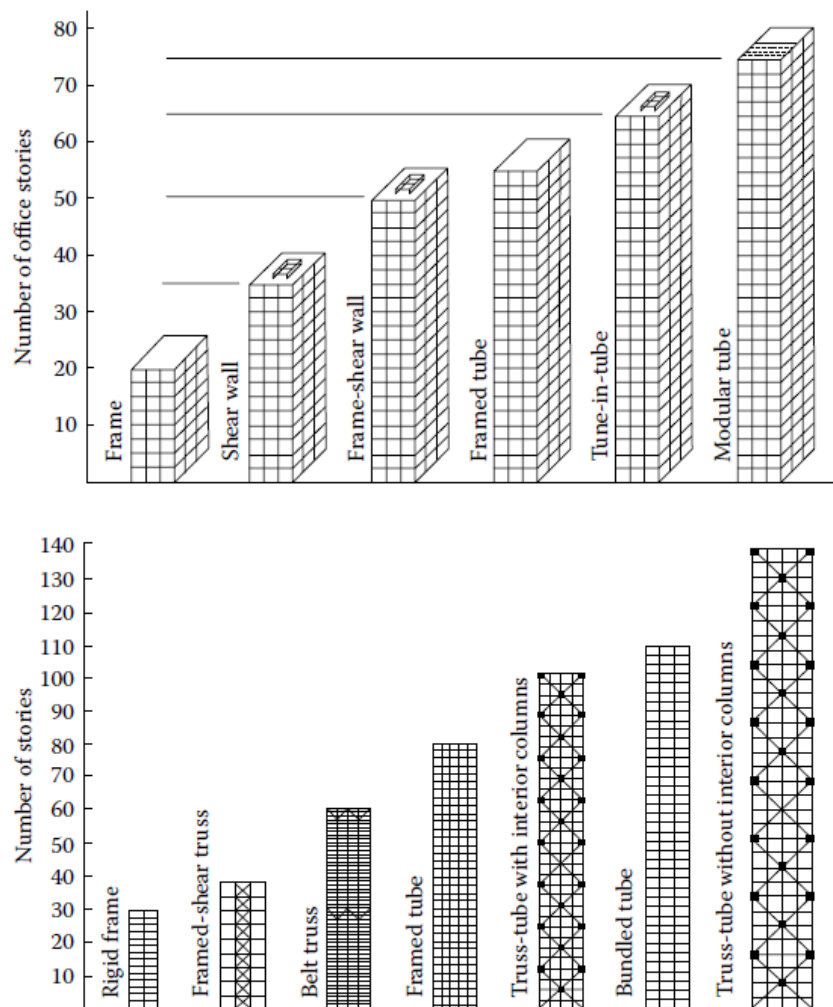
Struktur ini terdiri dari kolom dengan jarak yang lebar yang dikakukan dengan penggunaan bresing diagonal. Umumnya tabung bresing hanya digunakan untuk struktur dengan kurang dari 60 lantai, karena ketika ketinggian meningkat lebih banyak defleksi lateral akan mirip dengan struktur MRF.

Tube in Tube

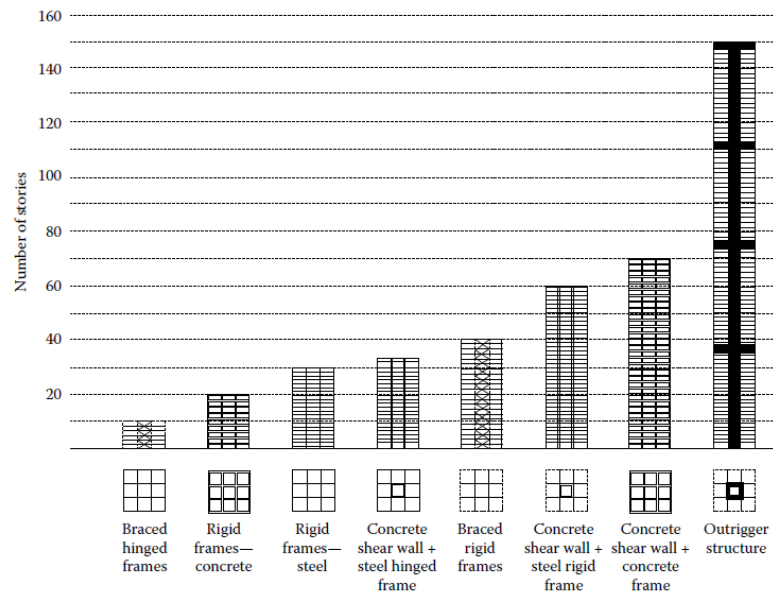
Sistem struktur ini merupakan kombinasi dari tabung frame luar dan inti bagian dalam bisa berupa dinding inti beton atau tabung baja dengan bearing sehingga disebut struktur tabung-dalam-tabung. Inti bagian dalam dan tabung luar dihubungkan melalui diafragma lantai. Kedua tabung ini akan bekerja sama dalam menahan beban lateral.

Bundled Tube

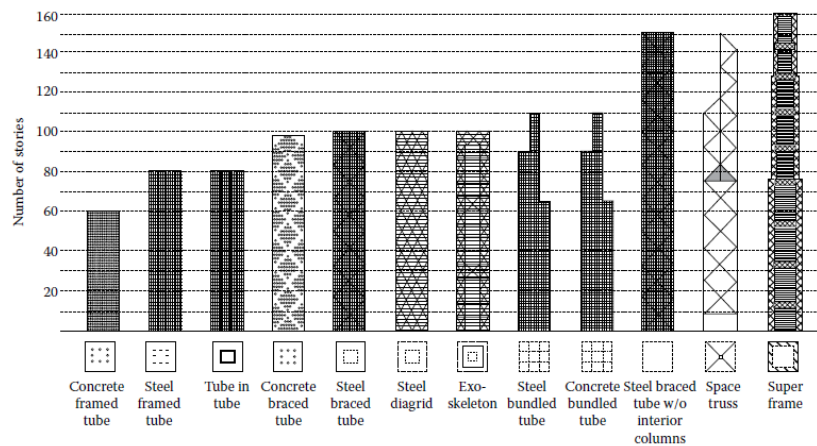
Sistem Bundled Tube atau tabung gabungan merupakan pengembangan lebih lanjut dari sistem tabung yang hanya menggunakan satu tabung. Beberapa struktur tabung digabungkan menjadi satu kesatuan sehingga membentuk multisel yang lebih besar untuk menahan gaya lateral.



Gambar 2.6 Sistem Struktur Bangunan Rendah Sampai Tinggi [9]



Gambar 2. 7 Tipe Interior Struktur Bangunan Tinggi [9]



Gambar 2.8 Tipe Eksterior Struktur Bangunan Tinggi [9]

Permodelan Analisis Struktur Bangunan Gedung

Dalam pemodelan analisis struktur bangunan gedung diperlukan beberapa langkah-langkah proses sebagai berikut:

a. Verifikasi *Validity Software* (Validitas Perangkat Lunak)

Sebelum menentukan menggunakan perangkat lunak untuk membantu melakukan analisis struktur bangunan dalam hal ini adalah struktur gedung perlu dilakukan peninjauan terlebih dahulu perangkat lunak apa yang cocok digunakan sesuai dengan fitur analisis yang dapat dilakukan. Sangat banyak dan bermacam-macam jenis perangkat lunak sekarang ini dengan menawarkan berbagai kemampuan dalam menganalisis sebuah struktur bangunan. Sebelum melakukan analisis sebenarnya sangat disarankan untuk melakukan verifikasi perangkat lunak yang digunakan dengan cara membandingkan analisis sederhana yang sudah ada hasil eksaknya dibandingkan analisis menggunakan perangkat lunak yang akan digunakan. Dengan melakukan verifikasi model-model seperti pada patch test struktur dapat diperoleh bagaimana kehandalan perangkat lunak yang digunakan.

b. Pemilihan Sistem Model Struktur

Sebelum melakukan pemodelan gedung untuk analisis perlu dengan pasti sistem struktur yang akan digunakan. Pemilihan konsep sistem struktur yang digunakan sebaiknya didiskusikan secara bersama antara divisi Struktur/Konstruksi, Arsitek, Mechanical Electrical, Plumbing, HVAC, Fondasi, Manajemen Konstruksi dan semua pihak yang terkait. Konsep pemilihan sistem struktur akan menjadi penetapan langkah awal menuju langkah selanjut untuk pemodelan yang tepat dalam melakukan analisis. Kesalahan pada langkah awal penetapan sistem struktur ini akan berakibat efek berantai untuk langkah selanjutnya yang dapat membuat semua penjadwalan penyelesaian berikut akan terganggu dan bahkan bisa melewati perencanaan jadwal yang sudah ditentukan.

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan sistem struktur yang digunakan seperti Moment Resisting Frame, Shear Wall dan MRF, Outrigger, Tube atau kombinasi dari beberapa sistem yang ada tentu bukan

suatu penentuan yang mudah. Penentuan sistem struktur tentu harus didasari dari pengalaman profesional sebagai insinyur dalam menangani keragaman proyek, skala proyek berapa lantai, code-code/peraturan-peraturan yang berlaku dan waktu lamanya berkecimpung pada bidangnya.

Ketepatan pemilihan sistem struktur yang sesuai tentu akan memperngaruhi nantinya bagaimana pemilihan sistem pelaksanaan pembangunan, pemilihan material yang digunakan sesuai dengan sistem struktur dipilih, dan akhirnya tentu berhubungan dengan harga proyek itu sendiri. Masing-masing pemilihan sistem struktur ini tentunya mempunyai konsekuensi tersendiri dan seorang insinyur teknik sipil sebaiknya dapat mengerti dengan baik dan benar.

c. *Data Preparation/* Persiapan Data

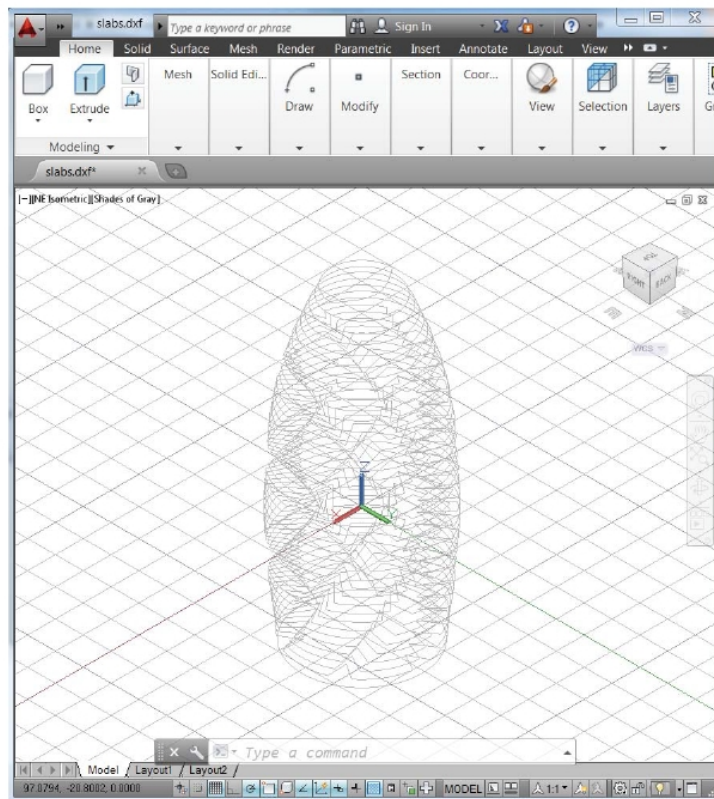
Persiapan data sebelum melakukan pembuatan model matematis sangat penting agar dalam pendefenisian komponen yang akan diinput tidak terganggu. Beberapa data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Konsistensi dalam penggunaan satuan jarak, beban dan satuan-satuan lainnya yang berhubungan dengan input data.
- Dimensi bangunan yang akan diinput seperti jarak as-bangunan, bentuk geometri bangunan, ketinggian lantai dan juga kalau terdapat *basement*.
- Data material (*material properties*), ukuran-ukuran penampang (*section properties*), parameter hasil dari penyelidikan tanah, parameter gempa seperti lokasi bangunan, *Response Spectrum*, *Time History* dan data-data lain yang bersangkutan menunjang analisis.
- Geometri struktur yang berupa ukuran-ukuran jarak kolom, posisi balok utama, balok anak, ketebalan shear wall, dimensi ketebalan pelat dan juga dimensi lainnya yang berhubungan dengan geometri matematis yang akan diinputkan ke dalam computer.

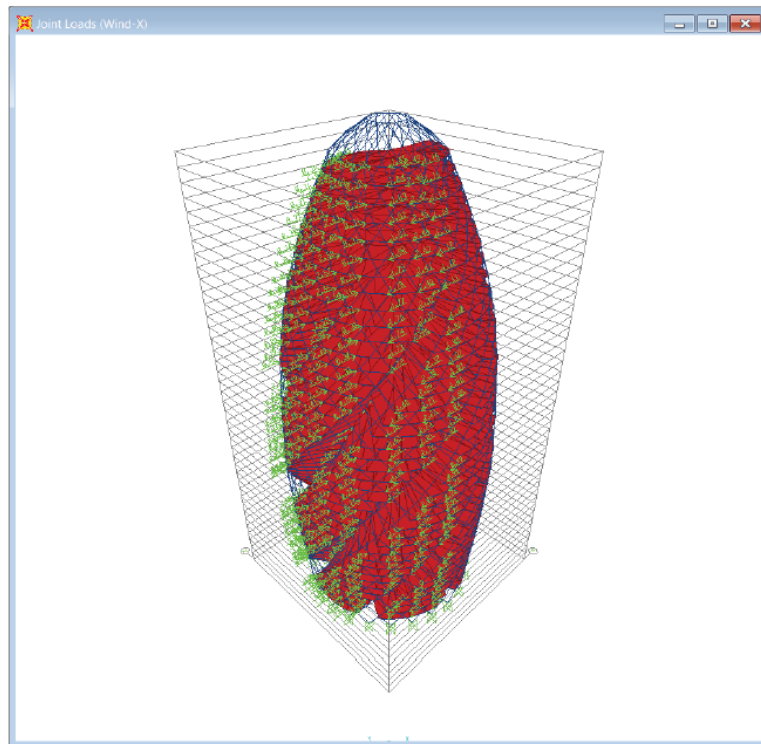
- Persiapan jenis beban yang ada pada struktur bangunan tersebut, beban berat sendiri, beban pelat lantai beserta beban tambahan seperti plafond, pemipaan air bersih, air kotor dan hydrant, dan semua beban apa saja yang akan bekerja di struktur bangunan tersebut.
- Kombinasi pembebanan yang sesuai dengan peraturan-peraturan desain yang berlaku untuk memasukkan faktor-faktor beban yang digunakan.
- Data-data lain penunjang yang mendukung dalam memasukan data untuk geometri struktur yang memudahkan kelancaran input data, walaupun biasanya kadang-kadang tidak terpenuhi semua karena kendala tertentu.

d. *Geometry Modeling (Model Geometri)*

Pemodelan dasar dari geometri struktur saat sekarang ini bisa menggunakan perangkat lunak yang berbeda dengan perangkat lunak untuk analisisnya sendiri model itu sendiri. Pemakaian yang berbeda ini untuk mempermudah pemodelan geometri yang berbentuk fungsi tertentu yang sulit dibuat apabila langsung dimasukan dengan menggunakan perangkat lunak yang digunakan untuk analisis. Kemampuan saling bertukar interface pada beberapa perangkat lunak memberikan kemudahan dalam input geometri ini seperti strukur geometri yang berbentuk kurva lengkung atau mempunyai fungsi geometri tertentu.



Gambar 2.9 Pemodelan Geometri Menggunakan AutoCad [5]



Gambar 2.10 Pemodelan Model Setelah Diimpor ke SAP2000 [5]

e. Material dan *Section Properties*

Data-data bahan material dan dimensi penampang pada persiapan data diinputkan secara lengkap dengan memasukkan semua parameter yang diminta oleh perangkat lunak yang dipakai. Banyak data diperlukan dalam input material dan dimensi penampang ini tetap memperhatikan konsistensi satuan yang diminta oleh masing-masing perangkat lunak. Ada parameter tambahan tertentu yang harus dimasukkan apabila analisis akan berlanjut ketahapan yang lebih advance seperti nonlinear analysis, push over analysis dan sebagainya. Beberapa perangkat lunak menyediakan material dan dimensi penampang standar yang ada di pasaran yang dapat kita input langsung input dari library data.

f. *Load Case (Kasus Beban)*

Pembagian pengelompokan banyaknya beban yang ada pada struktur bangunan sebaiknya dipisahkan menurut sifat dari beban tersebut, tidak dicampurkan semuanya menjadi satu sebagai beban total. Pemilahan ini sangat berguna dalam melakukan desain yang membutuhkan faktor-faktor tertentu untuk masing-masing tipe kasus beban yang ada pada bangunan. Secara umum pembagian kasus beban dapat dibagi sebagai berikut:

- *Self Weight* (Beban berat sendiri struktur yang dimodelkan).
- *Super Impose Dead Load* (Beban mati tambahan yang tidak dimodelkan).
- *Live Load* (Beban hidup).
- *Equipment Load* (Beban peralatan mekanikal elektrik, ducting dan sebagainya).
- *Wind Load* (Beban angin, umumnya pada bangunan tinggi).
- *Earthquake Load* (Beban gempa, pada zona gempa di lokasi bangunan tersebut).
- *Earth Pressure Load* (Beban tekanan tanah apabila ada basement).
- *Hydrostatic Load* (Beban tekanan air apabila muka air tanah tinggi dan ada basement).
- *Temperature Load* (Beban perubahan temperatur, pada lokasi bangunan 4 musim atau semi tropis yang mempunyai perubahan temperatur cukup besar).
- Beban lain-lain yang diperlukan sesuai dengan kasus masing-masing struktur bangunan.

g. *Load Combination (Kombinasi Beban)*

Dengan memasukkan kasus-kasus pembebanan sesuai dengan jenis bebannya, maka dapat dilakukan kombinasi beban sesuai yang diperlukan dalam desain tertentu. Setiap desain biasanya memerlukan faktor-faktor beban yang berbeda-beda, beban berat sendiri tidak sama faktor bebannya dengan beban hidup. Demikian juga dengan faktor-faktor beban lainnya.

Beberapa perangkat lunak sudah bisa mengakomodasi secara otomatis membuat kombinasi beban sesuai dengan desain yang diperlukan, walaupun beberapa faktor perlu dilakukan penyesuaian sesuai dengan kebutuhan analisis dan peraturan daerah setempat yang digunakan.

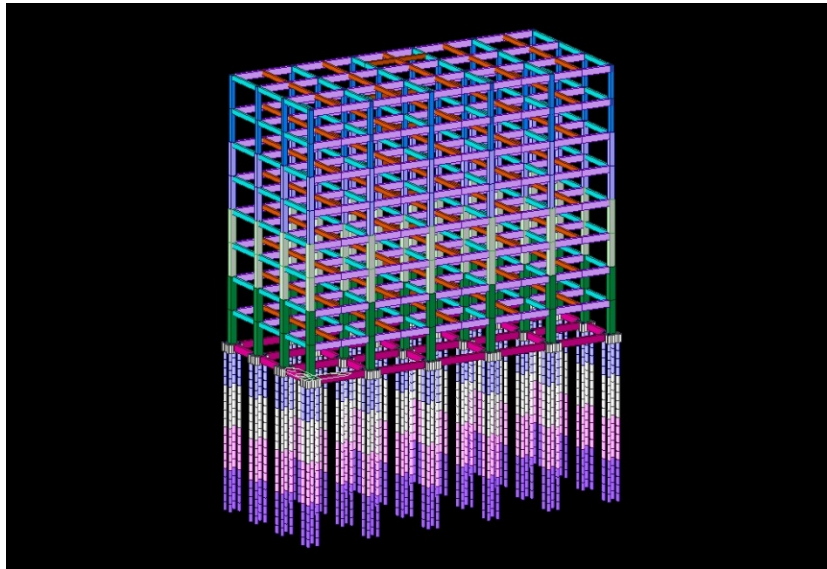
h. *Analysis*

Setelah semua data yang diperlukan untuk analisis diinputkan biasanya pada perangkat lunak menyediakan beberapa fitur untuk pengecekan awal seperti titik nodal yang tidak terhubung dengan elemen-elemen struktur, elemen terinput dobel secara tidak sengaja, ada kekurangan input seperti tidak terinput berat jenis material dan beberapa fitur lain pada masing-masing pembuat perangkat lunak.

Analisis pertama biasanya dilakukan terhadap analisis statik untuk melihat bagaimana respon bangunan terhadap beban tetap yang ada. Anggapan yang paling baik setelah selesai komputer melakukan analisis adalah hasil analisis tidak 100 % benar, hal ini diperlukan agar kita selalu waspada akan hasil-hasil yang dikeluarkan, karena komputer akan menerima input apapun selama input tersebut sesuai dengan format yang diminta dan hasil yang dikeluarkan sesuai dengan input diberikan atau dengan istilah Garbage In Garbage Out. Untuk menghindari hal yang tidak diinginkan seperti hasil yang salah maka perlu dilakukan beberapa verifikasi seperti perilaku struktur sudah sesuai dengan perkiraan, displacement yang terjadi sudah masuk akal, besaran gaya dalam elemen, reaksi perletakan struktur sudah sesuai dengan beban total yang bekerja, dan hasil lainnya yang bisa menjadi indikasi bahwa analisis struktur yang dilakukan sudah benar.

i. Advance Analysis (Analisis Selanjutnya)

Setelah analisis statik memberikan hasil yang baik, maka dapat dilanjutkan ke analisis yang lebih tinggi seperti analisis dinamik untuk dapat melihat respons struktur terhadap gempa. Pada analisis dinamik ini akan diperoleh periode getar struktur dan mode shape (ragam bentuk) getar struktur. Ada dua metode untuk mendapatkan respons struktur dengan analisis dinamik dengan menggunakan response spectrum atau dengan time histories analisis tergantung seberapa jauh keperluannya.



Gambar 2.11 Pemodelan Model Struktur dengan Midas Gen [10]

j. Desain

Setelah proses analisis selesai dilanjutkan dengan proses desain elemen-elemen struktur seperti pelat lantai, balok/ girder, kolom dan shear wall atau elemen struktur lainnya. Proses ini biasa memakan waktu cukup lama karena harus dapat memilih atau memilah elemen-elemen struktur tersebut sehingga menghasilkan dimensi penampang dengan penulangan yang relatif seragam. Penulangan balok lantai 1 sampai dengan 4 mempunyai ukuran dan tulangan yang sama apabila di konstruksi beton dan seterusnya. Demikian juga dengan kolom dan elemen struktur lainnya untuk memudahkan saat pelaksanaan

kontruksi sehingga tidak banyak macam dimensi dan ukuran tulangan yang menyulitkan baik saat penyediaan material dan pengelompokannya. Apabila terdapat dimensi yang tidak memenuhi syarat dapat dilakukan redesain dengan memperhatikan efisiensi.

k. Analisis Kehandalan dan Detail

Untuk mengetahui kehandalan dan daya layan struktur perlu dilakukan analisis lebih lanjut seperti analisis Push Over. Analisis ini berguna untuk mengetahui dengan kondisi desain yang sudah dibuat bagaimana kapasitas kekuatan bangunan dan dimana perkiraan terjadi sendi-sendi plastis sebelum bangunan tersebut runtuh. Kehandalan ini perlu diketahui untuk bangunan-bangunan saat ini apalagi berada di zona gempa aktif. Dalam perencanaan gedung diutamakan kolom lebih kuat dari balok (Strong Column Weak Beam) agar bangunan tidak runtuh walaupun balok-balok rusak. Analisis lain yang harus dilakukan juga adalah detailing analysis (analisis detail) pada sambungan-sambungan balok dan kolom, balok dan shear wall, pelat dengan shear wall dan lainnya yang memerlukan perhatian khusus. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (finite element method) untuk mendapatkan pola tegangan yang terjadi pada detail tersebut.

l. Analisis dan Desain Fondasi

Setelah semua analisis dan desain elemen struktur atas (upper structure), maka selanjutnya dilakukan analisis dan desain fondasi bangunan (underground structure). Analisis dan desain ini sangat penting karena bagaimanapun baik desain bangunan atas, tetapi desain fondasi bangunan tersebut gagal maka semuanya akan gagal. Analisis fondasi ini baru dapat dilakukan apabila analisis struktur bagian atas sudah selesai dilakukan atau sudah mendapatkan reaksi-reaksi kolom bawah bangunan.

Beberapa perangkat lunak sekarang sudah dapat melakukan sekaligus analisis

struktur bagian atas dan struktur bagian bawah dengan menggunakan metode Structure Soil Interaction (Interaksi Struktur dan Tanah). Pemodelan ini menggabungkan modelling struktur bagian atas dengan model fondasi yang direncanakan lengkap dengan tiang-tiang pancang penyanggah beserta tanah sekitarnya. Metode analisis ini tidak mudah dilakukan karena banyak parameter dan model yang harus dibuat. Analisis ini memakan waktu cukup lama dan CPU time tinggi karena umumnya menggunakan analisis non linear.

m. Construction Stage Analysis (Analisis Tahapan Konstruksi)

Metode analisis ini merupakan metode dengan memperhitungkan sesuai kondisi saat bangunan dilaksanakan di lapangan dengan memasukkan tahapan-tahapan proses pembangunannya. Dengan cara ini diharapkan proses pembangunan di lapangan dapat disimulasikan seperti kondisi sebenarnya dengan menggunakan perangkat lunak yang mempunyai fitur seperti ini. Pada kenyataannya memang struktur bangunan tidak langsung berdiri sesuai dengan tinggi akhir pada puncak bangunan, tetapi secara bertahap, demikian juga beban yang bekerja tahap demi tahap dari fondasi, lantai dasar, kolom lantai dasar, balok dan pelat lantai 1, kolom lantai 2, balok dan pelat lantai 2 dan seterusnya. Tahapan ini dapat mensimulasikan apakah terdapat efek pada elemen-elemen struktur tersebut saat ditambah secara bertahap, mengingat belum seluruh elemen terhubung satu sama lain seperti struktur akhirnya.

Proses konstruksi ini mempunyai pengaruh sangat besar apabila struktur merupakan bangunan tinggi dengan tahap pembangunan yang cukup lama. Perpendekan pada elemen kolom dan shear wall yang tidak sama dapat terlihat saat simulasi berlangsung dan dapat segera diantisipasi dengan penerapan berbagai macam metode saat pelaksanaan maupun melakukan redesain kembali terhadap elemen-elemen struktur yang berkendala.

n. Construction Drawing (Gambar Konstruksi)

Proses ini dapat dilakukan setelah semua proses sebelumnya selesai, tetapi saat ini dengan memanfaatkan integrasi perangkat lunak analisis dan gambar maka dapat dilakukan pada waktu bersamaan. Dengan dapat di update secara real time maka proses penggambaran dapat dilakukan tanpa harus menunggu semua perhitungan dan analisis struktur selesai terlebih dahulu. Demikian juga apabila terjadi perubahan dimensi pada analisis, proses penggambaran akan secara otomatis terbarukan. Walaupun demikian tetap sistematis penggambaran dan style gambar harus disesuaikan agar tidak menyulitkan pembacaan di lapangan.

1.3 Penutup

Proses pemodelan struktur bangunan merupakan suatu seni dengan melibatkan banyak pengetahuan, referensi, pengalaman dan juga seberapa banyaknya permasalahan yang dapat diselesaikan sebagai insinyur dalam bidang teknik sipil. Setiap proses akan berkembang semakin baik setiap tahapannya sesuai dengan perkembangan teknologi komputer yang semakin cepat, presisi dan perangkat lunak analisis struktur yang semakin smart. Walaupun demikian tetap feeling engineering seorang insinyur yang berperan dalam menentukan hasil akhirnya atau man behind the computer. Dengan demikian apabila pemodelan dilakukan dengan baik, benar dan optimal maka akan tercapai konstruksi bangunan yang berkelanjutan dan berkeselamatan.

Referensi

- [1] President's Information Technology Advisory Committee. Computational Science: Ensuring America's Competitiveness. Report to the President. National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2005, Arlington, VA, USA.
- [2] High-End Computing Revitalization Task Force. Federal Plan for High-End Computing. Report of the High-End Computing Revitalization Task Force (HECRTF). National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2004Arlington, VA, USA.
- [3] Nelson Minar, Roger Burkhart, Chris Langton, and Manor Askenazi. 1996, The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-agent Simulations.
- [4] Kurt Binder and Dieter W. Heermann. 1988, Monte Carlo Simulation in Statistical Physics, volume 80 of Springer Series in Solid-State Sciences. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [5] Fu, Feng, 2015, Advanced modelling techniques in structural design, JohnWiley & Sons, Ltd.
- [6] Narim, F. 1989. Design for Drift and Lateral Stability, Seismic Design Handbook, NewYork: Van Nostrand Reinhold.
- [7] Kowalczyk R., Sinn R, Kilmister M. B. 1995. Structural Systems for Tall Buildings. New York: McGraw-Hill.
- [8] Ching, Francis D.K., Onouye, Barry, Zuberbuhler, 2014, Doug. Building Structures Illustrated, Wiley.
- [9] Mir, Ali M. and Moon K. S., 2007. "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospect", Architectural Science Review.
- [10] MIDAS, 2017, Basic Analysis using Midas Software, Structural Analysis I, Korea.

Profil Penulis

Ir. Sunarjo Leman, M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1999 dalam bidang Struktur dan Konstruksi dengan jabatan akademik dosen Lektor. Bidang yang ditekuni Finite Element Method Modeling, Programing Computer di Program Studi Teknik Sipil, bidang lain seni fotografi sejak tahun 1980 dan mengajar di Jurusan Arsitektur, Fakultas Ilmu Komunikasi, Fakultas Seni Rupa dan

Desain Universitas Tarumanagara, Jakarta. Peminatan fotografi dibidang Lanskap, Arsitektur, Alam, Makro, Produk dan Fashion.

BAB 3

Konsep Beton Bertulang Pada Bangunan Gedung

Daniel Christianto

Vryscilia Marcella

Channy Saka

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

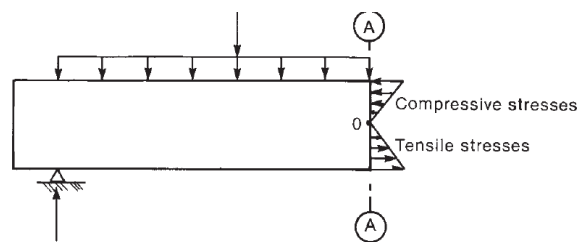
Perencanaan struktur bangunan tinggi didominasi oleh penggunaan beton bertulang sebagai komponen struktur utamanya. Seperti yang telah diketahui, beton sendiri memiliki sifat yang kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik. Dalam mendesain suatu bangunan, tentunya tidak terlepas dari gaya-gaya dalam seperti momen, lintang, normal dan torsi. Gaya-gaya dalam tersebut saling berhubungan satu sama lain. Oleh karena itu tulisan ini akan membahas mulai dari model keruntuhan beton, analisis penampang, momen crack, yield dan ultimate serta daktilitas untuk menjamin bahwa bangunan yang didesain aman dan berkelanjutan.

Kata kunci: model keruntuhan, momen kurvatur, daktilitas, geser

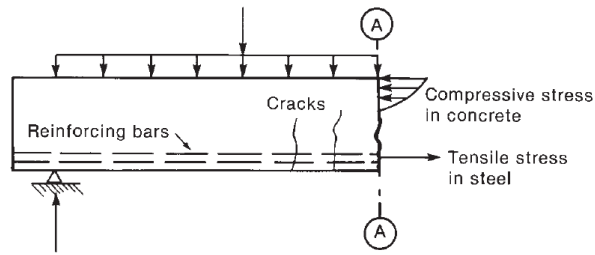
1.1 Pendahuluan/Latar Belakang

Beton bertulang merupakan material struktur yang dominan yang digunakan untuk konstruksi bangunan dan sudah digunakan di setiap negara di dunia. Konstruksi beton bertulang bermula dari luasnya ketersediaan tulangan dan unsur-unsur beton, seperti kerikil, pasir, air dan semen. Oleh karena itu, beton bertulang digunakan pada semua jenis bangunan seperti struktur bawah tanah, gedung, rumah, jembatan dan lain-lain.

Beton merupakan material yang kuat terhadap tekan tetapi lemah terhadap tarik. Akibat dari retak yang semakin besar ketika dibebani, terjadinya susut dan adanya perubahan suhu, akan menimbulkan tegangan tarik melebihi kekuatan tarik beton. Balok beton polos pada Gambar 3.1 menunjukkan momen pada titik 0 karena diberikan beban, ditahan oleh tegangan tekan dan tegangan tarik. Apabila balok tidak diperkuat dengan tulangan, maka dapat menyebabkan terjadinya kegagalan secara tiba-tiba ketika retakan pertama terbentuk. Sedangkan balok beton bertulang pada Gambar 3.2 diberikan perkuatan berupa batang tulangan yang di pasang di dalam balok beton. Sehingga gaya tarik yang diperlukan untuk momen keseimbangan setelah terjadi retakan pada beton dapat ditingkatkan lagi oleh tulangan.

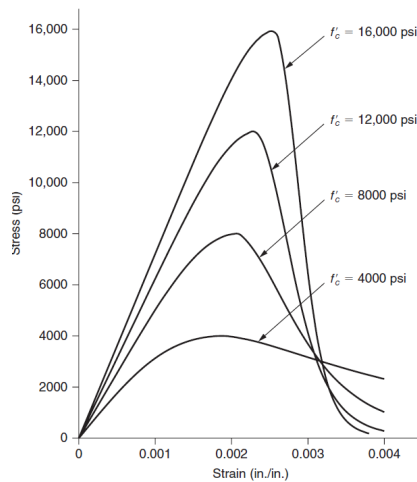


Gambar 3.1 Tegangan pada Balok Beton Polos [1]



Gambar 3.2 Tegangan pada Balok Beton Bertulang [1]

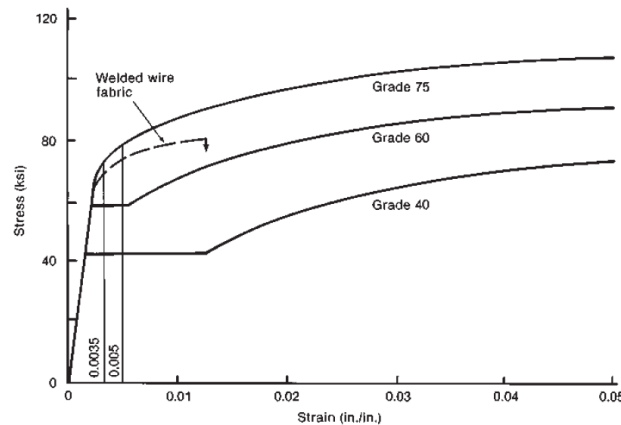
Dalam konstruksi bangunan, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis material beton bertulang yang digunakan seperti ekonomis, tahan api, kaku, pemeliharaan yang sedikit dan tersedia luas material pembuatan beton bertulang. Selain itu, terdapat beberapa faktor juga yang menyebabkan bahan beton bertulang tidak digunakan, seperti kekuatan tarik yang lemah dan mudah getas.



Gambar 3.3 Kurva Tegangan dan regangan pada Beton [1]

Pada Gambar 3.3 menunjukkan bahwa kurva tegangan dan regangan bergantung dari mutu beton yang digunakan. Beberapa hal penting yang diperoleh dari kurva tersebut adalah regangan pada tegangan maksimum akan meningkat seiring

dengan meningkatnya mutu beton. Selain itu, baik mutu beton tinggi maupun rendah, titik kehancuran beton berada disekitar regangan ϵ_c 0,003.



Gambar 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan pada Baja Tulangan [1]

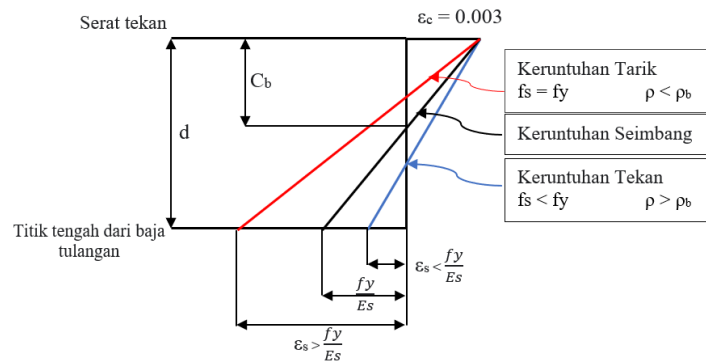
Kurva hubungan antara tegangan dan regangan baja tulangan yang ideal diberikan pada Gambar 3.4. Pada tahap awal, baja masih dalam kondisi elastis, yaitu baja masih bisa kembali ke bentuk asalnya ketika gaya yang bekerja pada baja tersebut dihilangkan. Ketika baja diberikan gaya berlebih mencapai suatu titik tertentu, maka baja masuk ke kondisi plastis, dimana regangan tidak dapat sepenuhnya hilang walaupun gaya sudah berhenti bekerja. Dari Gambar 3.4 dapat dilihat, semakin tinggi kekuatan dari baja tulangan, umumnya tidak memiliki batasan titik leleh yang jelas. Dengan regangan yang lebih lanjut, maka baja akan masuk ke kondisi *strain hardening*.

Dalam mendesain suatu bangunan, tentunya tidak terlepas dari gaya-gaya dalam seperti momen, lintang, normal dan torsi. Gaya-gaya dalam tersebut saling berhubungan satu sama lain. Gaya-gaya dalam ini hasil analisis pemodelan dari pradimensi struktur dengan banyak kombinasi dan dilanjutkan untuk mendisain kekuatan, kekakuan dan kestabilan pada sistem struktur. Oleh karena itu, dalam mendesain bangunan harus sesuai dengan ketentuan/peraturan yang berlaku agar diperoleh suatu bangunan yang aman dan berkelanjutan.

1.2 Isi dan pembahasan

Model Keruntuhan

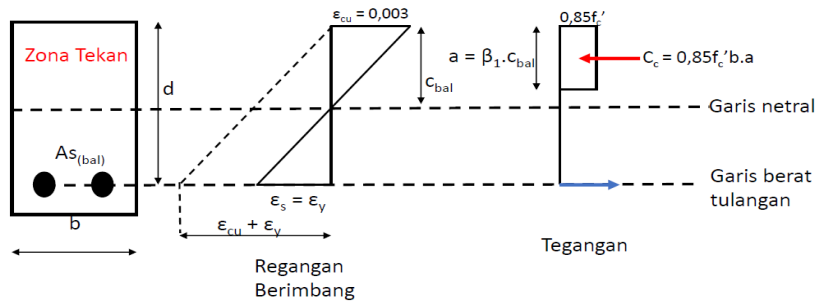
Pada sub-bab ini akan menjelaskan tentang model keruntuhan beserta macam-macam tipenya seperti pada Gambar 3.5 [2]. Pada dasarnya yang membedakan dari antara tipe keruntuhan adalah persentase beton dan baja yang digunakan pada penampang balok tersebut.



Gambar 3.5 Model Keruntuhan [2]

a. Keruntuhan Seimbang

Kondisi dimana ketika tulangan baja tarik mencapai regangan leleh ($\epsilon_s = \epsilon_y$), bersamaan dengan tercapainya regangan ultimate beton pada sisi tekan ($\epsilon_{cu} = 0,003$), dan ditunjukkan oleh diagram regangan pada Gambar 3.6. Luas baja tarik yang diperlukan untuk menyebabkan kondisi regangan ini pada penampang balok akan didefinisikan sebagai luas seimbang tulangan tarik. Prosedur analisis untuk mencari luas keseimbangan tulangan tarik mirip dengan analisis untuk M_n . [1]



Gambar 3.6 Diagram Regangan Kondisi Seimbang

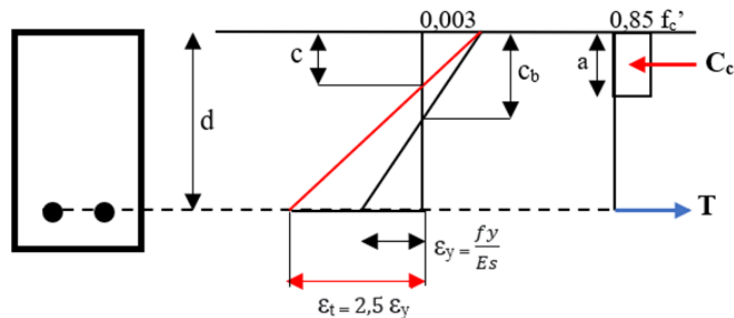
Dengan menggunakan perbandingan segitiga pada diagram regangan, maka dapat diperoleh nilai ρ_b menggunakan persamaan (0-1) sebagai berikut:

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \times \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad (0-1)$$

b. Keruntuhan Tarik

Keruntuhan ini terjadi ketika regangan baja tarik mencapai 0,005 atau lebih dan beton sudah mencapai regangan *ultimate* sebesar 0,003 (Gambar 3.7) Rasio tulangan maksimum dipilih kira-kira setara dengan 2.5 kali regangan leleh tulangan. [1]

Keruntuhan tarik terjadi di daerah ketika tegangan di serat tarik sama dengan modulus keruntuhannya (f_r). Istilah ini lebih dikenal *under reinforced*. Keruntuhan ini ditandai dengan tulangan baja leleh lebih dahulu daripada beton atau dengan kata lain istilah yang lebih dikenal untuk keruntuhan tarik ini adalah *under reinforced*.



Gambar 3.7 Diagram Regangan Kondisi Keruntuhan Tarik

Jenis keruntuhan yang diharapkan terjadi adalah under reinforced, karena pada jenis keruntuhan ini ditandai oleh lendutan yang semakin besar sebelum tercapai keruntuhan.

Lain hal dengan keruntuhan tekan di mana keruntuhan terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya tanda-tanda kehancuran. Hal ini sangat berbahaya bagi keselamatan pemakai dari konstruksi tersebut.

Menurut ACI 318M-19 pada sub bab 9.6.1.2 [3], persamaan (0-2) dan (0-3) digunakan untuk menganalisis nilai ρ_{min} dan dari kedua nilai tersebut dipilih yang terbesar.

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \times d \quad 0-2)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d \quad 0-3)$$

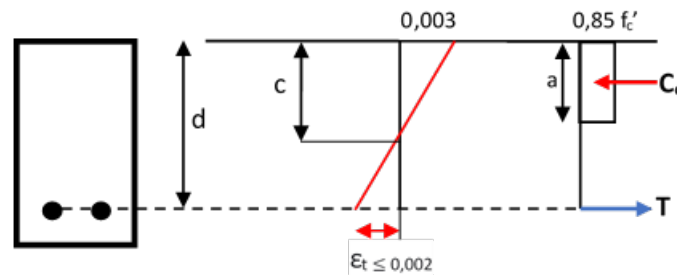
Sedangkan untuk persamaan (0-4) digunakan untuk menghitung nilai ρ_{max}

$$\rho_{max} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{3}{8} \beta_1 \quad 0-4)$$

c. Keruntuhan Tekanan

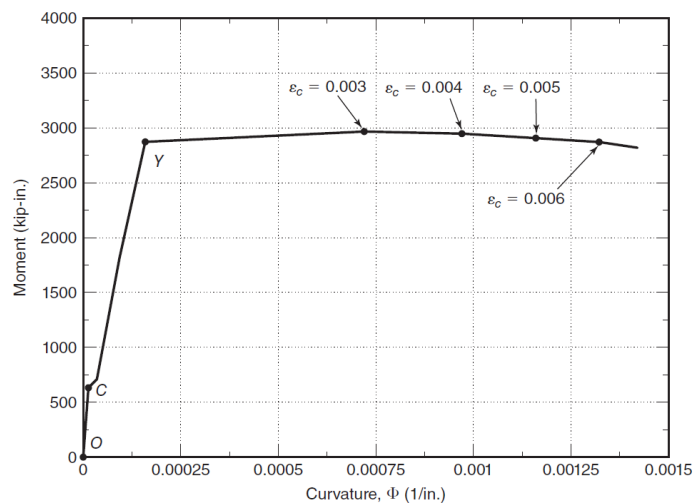
Keruntuhan ini bisa terjadi ketika beton telah mencapai regangan batas ultimate ($\epsilon_{cu} = 0,003$) sedangkan tulangan baja belum leleh ($f_s < f_y$) seperti Gambar 3.8. Keruntuhan ini ditandai dengan beton yang hancur lebih dahulu daripada tulangan baja atau dengan kata lain istilah yang lebih dikenal untuk keruntuhan tekan ini

adalah *over reinforced*.



Gambar 3.8 Diagram Regangan untuk Kondisi Keruntuhan Tekan

Momen Kurvatur



Gambar 3.9 Hubungan Antara Momen dan Putaran Sudut

Suatu penampang balok akan mengalami tiga kondisi sebelum mencapai kegagalan, mulai dari kondisi retak, leleh dan ultimate seperti yang terlihat pada Gambar 3.9. Retak pada tegangan lentur akan terjadi di bagian tegangan saat serat tegangan ekstrim sama dengan modulus keruntuhan, f_r . Dari titik O sampai dengan C adalah rentang perilaku elastis yang tidak retak. Dalam rentang perilaku ini, kontribusi dari

tulangan bisa diabaikan dan momen *crack* dianalisis menggunakan bagian betonnya saja yang biasanya disebut bagian bruto pada beton. Momen *crack* merupakan momen yang menyebabkan tegangan di serat tegangan ekstrim mencapai modulus keruntuhan atau dengan istilah lain momen yang menyebabkan retakan pertama pada balok.

Titik leleh (titik Y pada Gambar 3.9) menggambarkan akhir dari perilaku elastis. Saat beban ditingkatkan kepada penampang setelah melalui titik retaknya, maka tegangan tarik pada baja tulangan dan tegangan tekan pada beton juga terus meningkat. Sehingga baik baja tulangan maupun beton akan mencapai kapasitasnya masing-masing dan akan mulai mengalami leleh pada baja tulangan atau hancur pada beton. Karena penampang didesain dengan kondisi *under reinforced*, maka baja tulangan akan leleh terlebih dahulu sebelum beton mencapai regangan maksimumnya. Pada titik Y, akan terjadi momen *yield* yaitu momen yang menyebabkan baja tulangan leleh untuk pertama kalinya.

Di dalam peraturan beton, ditentukan regangan tekan maksimum untuk menganalisis kekuatan momen nominal dari penampang. Momen nominal ini adalah momen yang terjadi sesaat sebelum struktur beton mengalami kegagalan. Setelah melewati titik leleh, maka penampang beton akan berada pada kondisi ultimate apabila beban ditingkatkan lagi dimana penampang beton mencapai nilai regangan maksimum yaitu 0,003. Dan pada kondisi ini, penampang beton akan hancur. Sehingga dalam mendesain suatu penampang beton seperti balok, momen akibat beban yang bekerja harus lebih kecil dibandingkan dengan momen ultimate pada beton dan balok tidak mengalami kegagalan.

Perilaku lentur pada balok beton bertulang tentunya akan berelasi dengan daktilitas. Daktilitas adalah kemampuan suatu penampang untuk berputar sudut setelah mengalami leleh tanpa kehilangan kekuatan yang signifikan. Biasanya daktilitas suatu penampang dapat dinyatakan dalam perbandingan antara putaran sudut saat

kondisi ultimate dengan putara sudut saat kondisi yield. Semakin besar nilai daktilitas, maka akan semakin baik. Karena ketika balok belum mengalami kegagalan, akan ada peringatan berupa balok akan berputar sudut dan mengalami lendutan yang sangat besar. Pada Gambar 3.11 terdapat diagram alir untuk memudahkan dalam menganalisis penampang beton yang menggunakan tulangan rangkap.

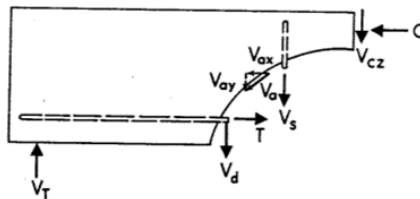
Geser

Dalam perencanaan balok beton bertulang, kapasitas momen lentur, geser dan torsi perlu disediakan masing-masing lebih besar atau paling tidak sama dengan momen lentur ultimit, gaya geser, dan torsi.

Kegagalan geser sangat kritis pada balok karena sifatnya yang getas. Jika balok dirancang dengan baik untuk memenuhi persyaratannya, balok dapat mengalami kegagalan lentur sebelum kegagalan geser. Retak geser menyebabkan balok terbelah menjadi dua bagian yang dipisahkan oleh garis retak geser, yaitu bagian atas retak geser dan bagian bawah retak geser. [4–6]

a. Ukuran Agregat Kasar

Peningkatan ukuran diameter agregat kasar akan memperbesar kekasaran retak, dan memungkinkan tegangan geser yang lebih tinggi untuk ditransfer melalui celah retak. Pada balok beton mutu tinggi, retak menembus agregat daripada mengelilinginya, menghasilkan permukaan retak yang lebih halus. Agregat interlock sepanjang retakan mengurangi transfer geser dan mengurangi V_c , ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Gaya yang Bekerja pada Retak Miring [5]

b. Agregat *Interlock*

Agregat interlock mentransfer sebagian besar gaya geser total ke tumpuan. Gambar 3.10, mengilustrasikan bahwa V_{ax} dan V_{ay} adalah gaya-gaya sepanjang retak tarik diagonal akibat transfer geser antarmuka dan disebut juga interlock agregat.

c. Gaya Tarik Aksial

Kenaikan tegangan tarik pada tulangan lentur akibat tarik aksial langsung mengakibatkan bertambahnya lebar retak miring. Oleh karena itu, terjadi penurunan jumlah tegangan geser maksimum yang ditransfer melalui celah retak. Mekanisme ini mengurangi beban akibat kegagalan geser.

d. Ukuran Balok

Pada balok yang menerapkan tulangan badan minimum yang diperlukan, transfer geser melintasi retakan dari *interlock* agregat dikuatkan oleh tulangan badan untuk menjaga permukaan patahan tetap utuh. Hal ini menyebabkan penurunan kuat geser karena dimensi yang ditampilkan tidak teramati pada balok dengan tulangan badan.

e. Kekuatan Tarik Beton

Jika retak pertama yang terjadi adalah retak lentur, maka cenderung mengganggu medan tegangan elastik sehingga retak cenderung terjadi pada tegangan tarik utama. Retak beton terutama tergantung pada kekuatan tarik beton.

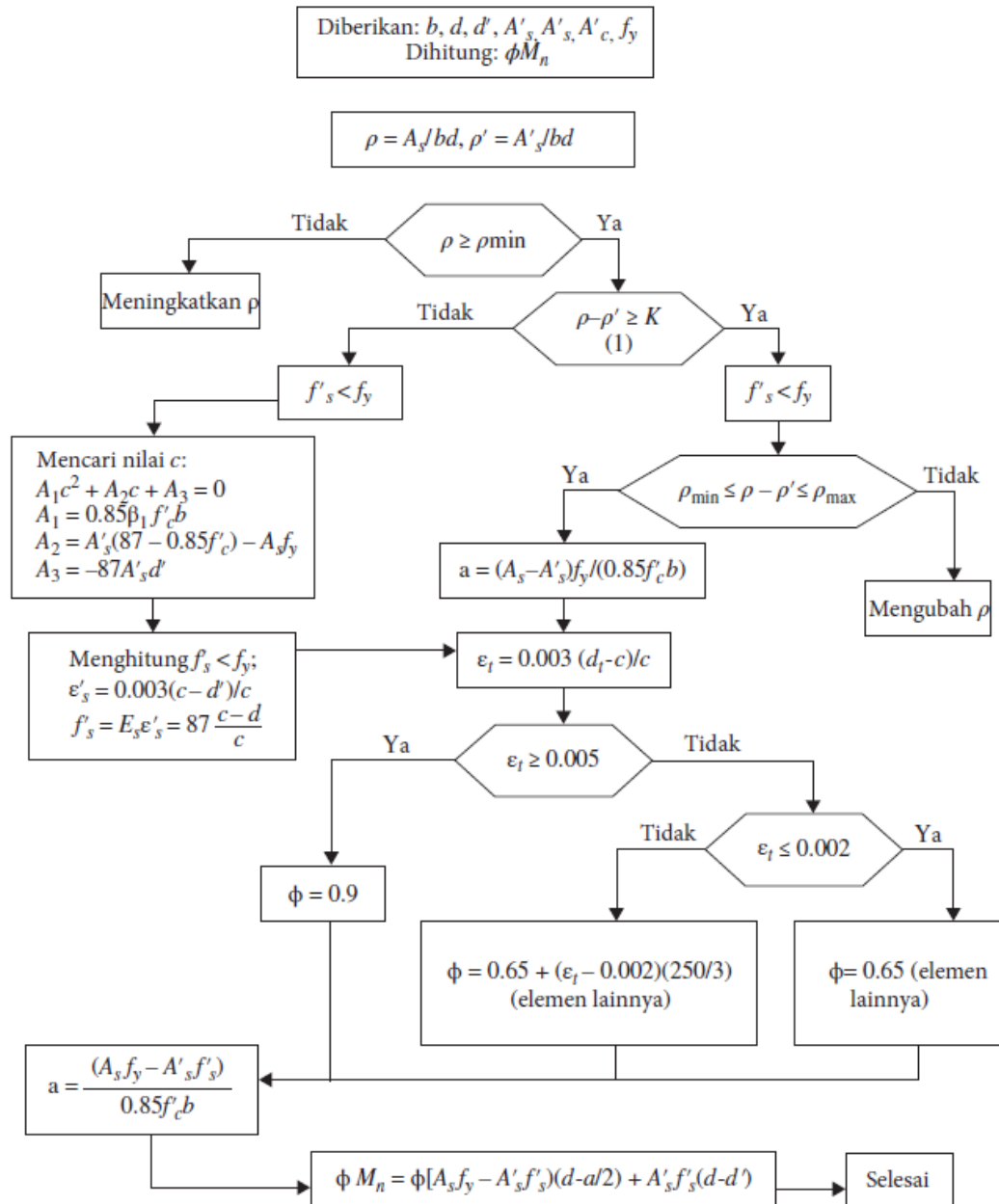
f. Rasio tulangan longitudinal

Rasio baja yang lebih kecil akan menyebabkan perpanjangan retak lentur yang lebih tinggi terjadi pada balok. Bukaan retak juga cenderung lebih lebar dibandingkan dengan balok dengan nilai rasio baja yang besar. Penurunan nilai maksimum komponen geser, V_d , dan V_{ay} , yang ditransfer melintasi retak miring oleh aksi dowel

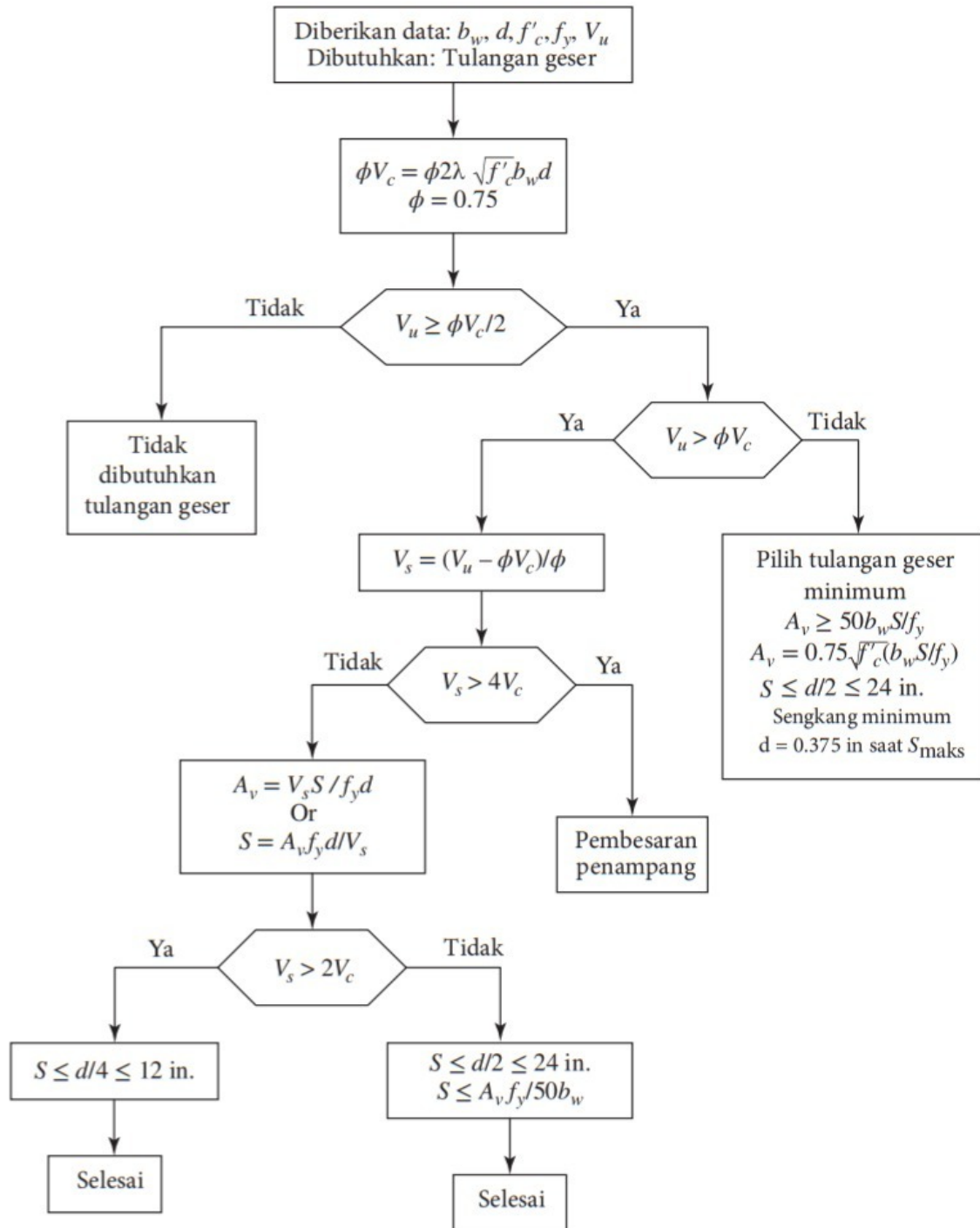
atau oleh tegangan geser pada permukaan retak, disebabkan oleh peningkatan lebar retak (Gambar 3.10).

g. Rasio lengan geser, a/d

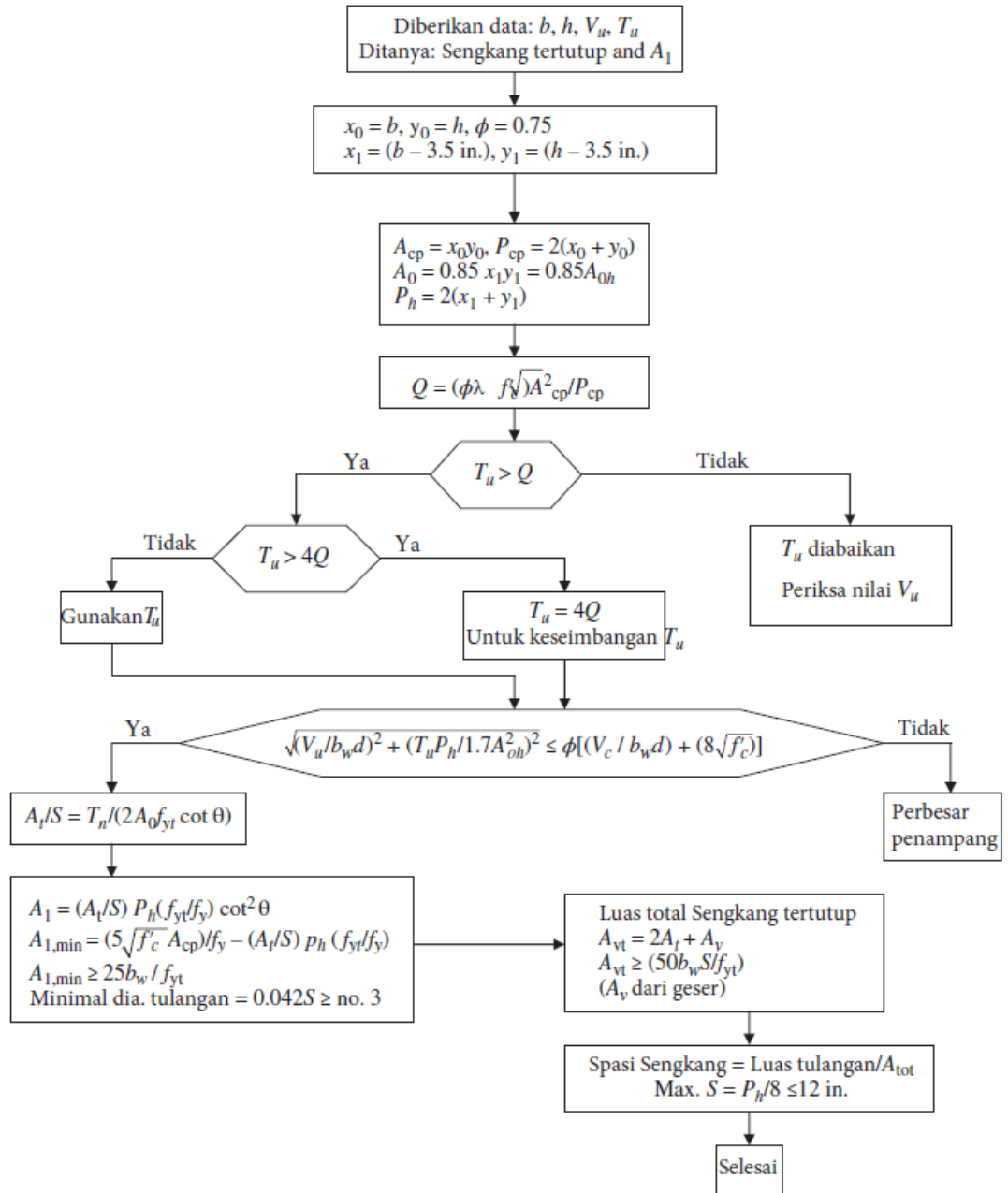
Rasio a/d mempengaruhi jenis keruntuhan geser. Untuk $a/d = 2.5$ adalah nilai kritis. Jika $a/d < 2,5$ maka tahanan geser mekanisme adalah aksi lengkung dan $a/d > 2,5$ maka tahanan geser mekanisme adalah aksi balok.



Gambar 3.11 Diagram Alir Analisis Penampang untuk Tulangan Rangkap [11]



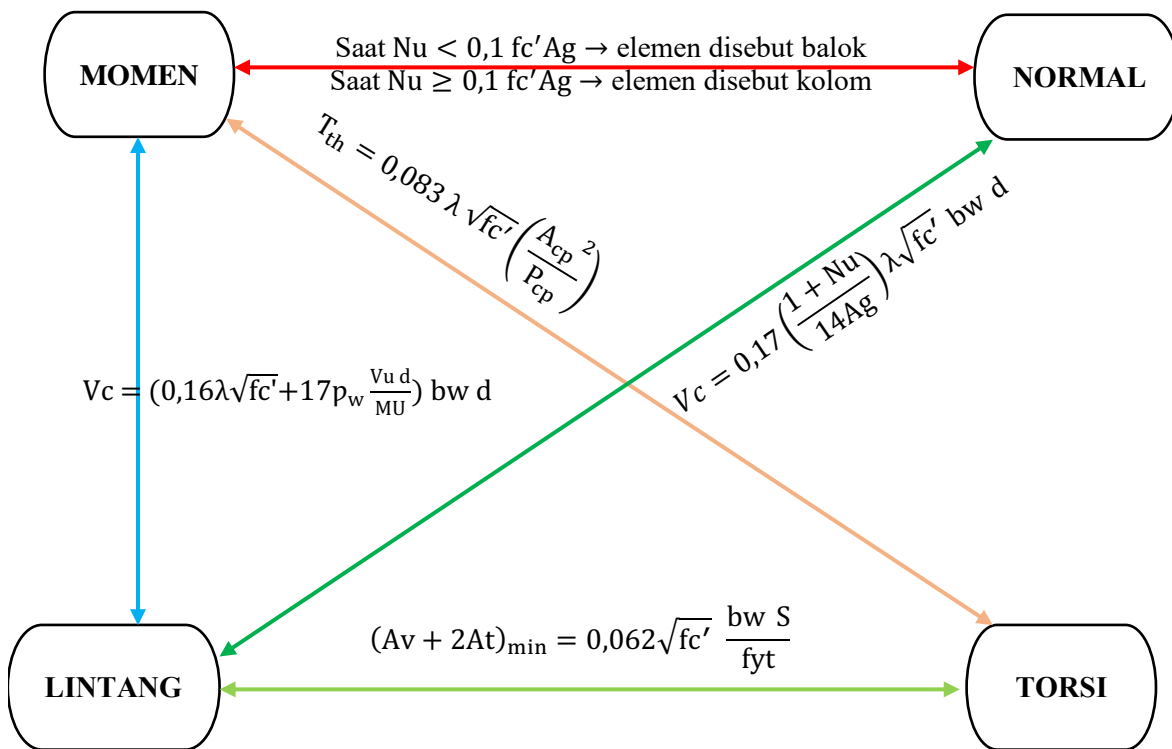
Gambar 3. 12 Diagram Alir untuk Mencari Nilai Geser [11]



Gambar 3. 13 Diagram Alir untuk Desain Kombinasi Geser dan Torsi [11]

1.3 Penutup

Dari hasil analisa struktur, akan diperoleh gaya-gaya dalam maksimum (ultimate) seperti momen, lintang, normal dan torsi yang digunakan untuk menentukan pemodelan dari dimensi struktur dan juga sebagai pendekatan dari kuat atau tidaknya struktur. Hubungan antara gaya-gaya dalam dapat dilihat pada Error! Reference source not found.. Oleh karena itu, dalam mendesain bangunan harus mengikuti batasan-batasan yang sesuai dengan ketentuan/peraturan yang berlaku agar diperoleh suatu bangunan yang aman dan berkelanjutan.



Gambar 3.14 Hubungan Antara Gaya-Gaya Dalam

Referensi

- [1] J. K. Wight, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Seventh Ed. Pearson Education, 2016.
- [2] R. Park and T. Paulay, *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975.
- [3] ACI Committee 318, *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. 2019.
- [4] D. Christianto, C. A. Makarim, Tavio, and Y. U. Liucius, "Size effect on shear stress of concrete beam without coarse aggregate," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1477, no. 5, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1477/5/052043.
- [5] Joint ASCE-ACI Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members," *J. Struct. Div.*, no. 6, 1973.
- [6] ACI-ASCE Committee 326, "Shear and Diagonal Tension," *ACI J. Proc.*, vol. 59, 1962.
- [7] G. N. J. Kani, "The Riddle of Shear Failure and its Solution," *ACI J. Proc.*, vol. 61, no. 4, pp. 441–468, 1964, doi: 10.14359/7791.
- [8] G. N. J. Kani, "Basic Facts Concerning Shear Failure," *ACI J. Proc.*, vol. 63, no. 6, 1966, doi: 10.14359/7644.
- [9] G. N. J. Kani, "How Safe are Our Large Reinforced Concrete Beams?," *ACI J. Proc.*, vol. 64, no. 3, 1967, doi: 10.14359/7549.
- [10] F. Leonhardt and R. Walther, "Contribution to the Treatment of Shear in Reinforced Concrete," *Natl. Res. Counc. Canada Tech. Transl. 1172*, no. February, 1965.
- [11] M. N. Hassoun and A. Al-Manaseer, *Structural Concrete Theory and Design*, Sixth. Structural Concrete Theory and Design Sixth Edition: John Wiley & Sons, Inc., 2015.

Profil Penulis

Daniel Christianto, S.T., M.T.



Lulus dari Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara tahun 1993 dan Magister Teknik dari Universitas Indonesia tahun 1999 serta sekarang sedang menempuh pendidikan Doktoral Teknik Sipil sebagai kandidat doktor untuk disertasi yang bertopik geser pada elemen lentur beton. Telah menjadi dosen tetap Jurusan Teknik Sipil sejak tahun 1994 sampai sekarang. Minat penelitian meliputi struktur beton bertulang dan mendapat dana hibah dikti tahun 2017-

2020.

Vryscilia Marcella

Mahasiswi angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di peminatan struktur/konstruksi pada Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Saat ini sedang Menyusun skripsi dengan topik kegempaan pada bangunan beton bertulang sesuai SNI 2847 – 2019 dan SNI 1726 – 2019.

Channy Saka

Mahasiswi angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Saat ini sedang mengambil mata kuliah Perancangan Konstruksi Bangunan Gedung Bertingkat sesuai SNI 2847 – 2019 dan SNI 1726 – 2019.

BAB 4

Perencanaan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 2847-2019

Hendy Wijaya

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan sistem struktur penahan gaya lateral yang umum digunakan pada bangunan bertingkat yang dibangun pada area dengan risiko kegempaan yang tinggi. Perencanaan SRPMK beton bertulang memerlukan proporsi dan pendetailan yang baik agar sistem struktur dapat bekerja sesuai mekanisme yang diharapkan. Tulisan ini menguraikan persyaratan perencanaan komponen struktur balok, kolom dan join balok-kolom pada SRPMK berdasarkan SNI 2847-2019.

Kata kunci: beton bertulang, SNI 2847, tahan gempa, daktilitas, detailing

1.1 Latar Belakang

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur yang umum digunakan pada bangunan bertingkat. Sistem ini memberikan fleksibilitas pada perencanaan ruang arsitektural. Pada bangunan yang dibangun pada area dengan risiko kegempaan yang tinggi, sistem ini perlu dirancang dengan proporsi dan pendetailan yang khusus agar sistem mampu secara aman untuk mengalami deformasi inelastis tanpa menyebabkan kehilangan kekakuan dan kekuatan secara signifikan atau bahkan menyebabkan kegagalan pada saat gempa terjadi. Sistem rangka pemikul momen ini dikategorikan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pada SRPMK, rangka portal, elemen balok, elemen kolom, dan join balok-kolom harus diproporsikan dan didetailkan untuk menahan gaya dalam momen, aksial dan geser yang dihasilkan pada saat bangunan mengalami goyangan akibat gempa. Perencanaan ini populer dengan istilah Disain Kapasitas. Persyaratan perencanaan bangunan beton bertulang tahan gempa yang berlaku di Indonesia saat ini merujuk ke SNI 2847-2019 [1].

1.2 Isi dan pembahasan

Persyaratan Material

Pada SRPMK, kuat tekan spesifikasi beton normal, f_c' , tidak boleh kurang dari 21 MPa. Tulangan baja yang digunakan harus berupa tulangan ulir, kecuali untuk tulangan spiral atau baja prategang diperkenankan berupa tulangan polos. Tulangan ulir non-prategang yang digunakan harus terbuat dari baja alloy rendah yang memenuhi standar ASTM A706M Mutu 420 [2]. Tulangan ulir non-prategang dari baja karbon sesuai standar ASTM A615M Mutu 420 [3] masih diizinkan untuk digunakan apabila memenuhi kriteria berikut:

- Kuat leleh aktual berdasarkan hasil pengujian pabrik tidak melebihi nilai f_y , lebih dari 125 MPa
- Rasio antara kuat tarik aktual dan kuat leleh aktual tidak kurang dari 1.25, dan

- Elongasi pada 200mm untuk tulangan D10 – D19 tidak kurang dari 14%, untuk tulangan D22 – D36 tidak kurang dari 12%, dan untuk tulangan D43 dan D57 tidak kurang dari 10%

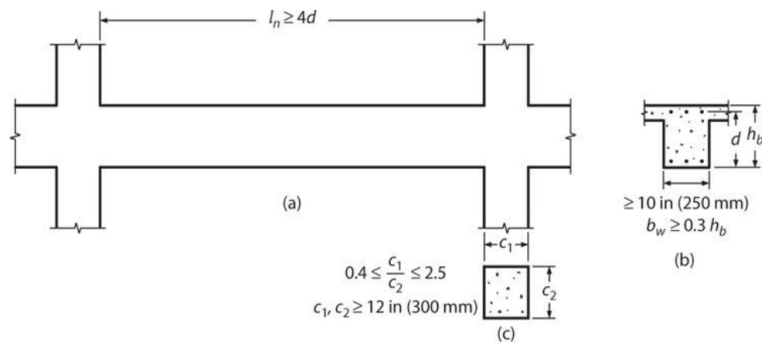
Spesifikasi BJTS 420B dalam SNI 2052-2017 [4] memenuhi kriteria tulangan ulir non-prategang yang disebutkan di atas. Pada ACI 318M-19 [5], tulangan ulir yang digunakan sebagai tulangan lentur, tulangan aksial dan tulangan geser dari SRPMK diizinkan untuk menggunakan mutu yang lebih tinggi, yaitu ASTM A706M Mutu f_y 550 MPa.

Perencanaan Komponen Struktur Balok

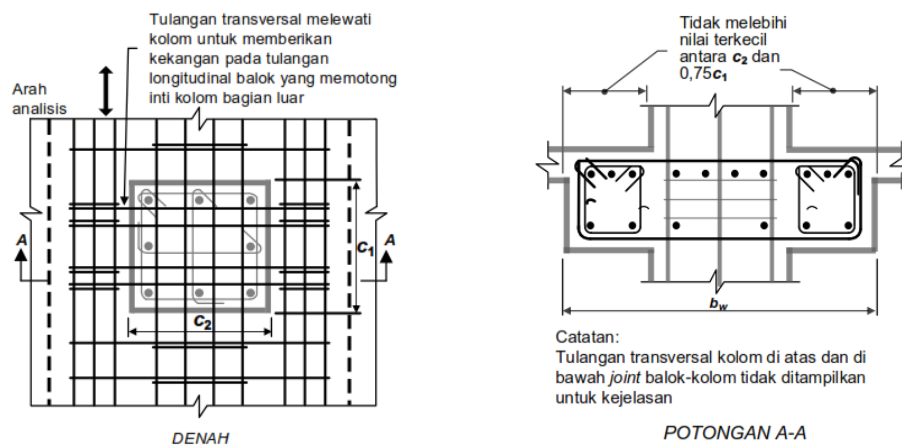
Balok didefinisikan sebagai komponen struktur lentur yang menerima gaya aksial tekan terfaktor tidak melebihi dari $0.1 A_g f'_c$, dengan A_g adalah luas penampang balok dan f'_c adalah kuat tekan spesifikasi beton.

Persyaratan Geometri

Balok dalam SRPMK merupakan balok yang merangka pada kolom SRPMK dengan bentang tidak kurang dari 4x tinggi efektifnya. Pembatasan ini dimaksudkan untuk menghindari perilaku balok-tinggi yang memiliki respon inelastis yang berbeda khususnya pada kekuatan gesernya. Selain itu, dimensi lebar balok tidak boleh kurang dari 30% tinggi balok, dengan lebar minimum 250mm (Gambar 4.1). Ketentuan ini terkait dengan stabilitas penampang balok saat mengalami deformasi inelastis yang signifikan. Lebar maksimum balok dibatasi yang terkecil antara 3x dimensi kolom tegak lurus sumbu balok (c_2) atau dimensi kolom tegak lurus sumbu balok (c_2) ditambah 1.5x dimensi kolom sejajar sumbu balok (c_1) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pembatasan lebar maksimum balok ini berkaitan dengan efektifitas penyaluran gaya akibat gempa dari balok ke kolom.



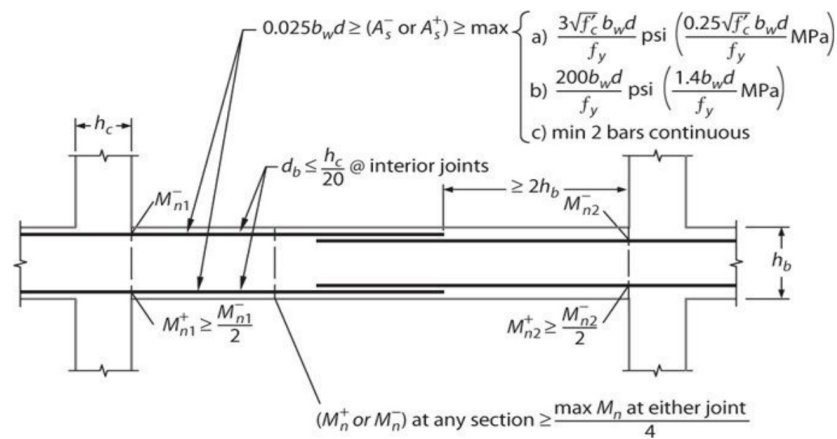
Gambar 4.1 Ketentuan Dimensi Penampang Balok [6]



Gambar 4.2 Lebar Maksimum Penampang Balok dan Syarat Pengekangan [1]

Persyaratan Geometri

Beberapa persyaratan terkait tulangan longitudinal pada komponen balok dalam SRPMK dalam rangka menyediakan daktilitas dan kapasitas momen yang cukup, ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Persyaratan Tulangan Lentur Balok SRPMK [6]

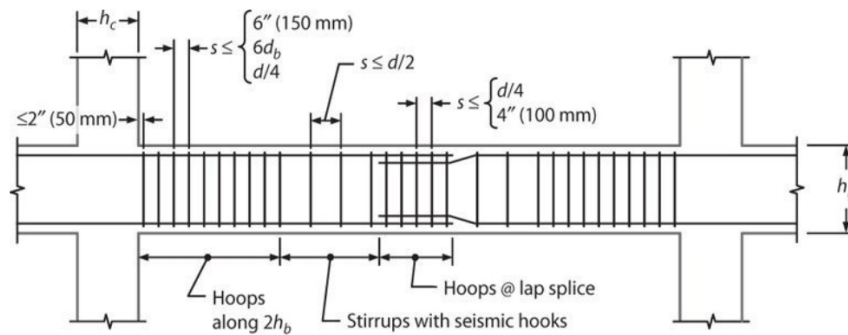
- Balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang untuk menyediakan kontinuitas sepanjang balok.
- Rasio tulangan minimum untuk tulangan atas dan bawah pada sembarang penampang, tidak boleh kurang dari $(0.25\sqrt{f'_c} b_w d)/f_y$ dan $(1.4 b_w d)/f_y$, dengan b_w dan d masing-masing adalah lebar dan tinggi efektif penampang
- Rasio tulangan maksimum pada sembarang penampang, $\rho_{max} \leq 0.025$. Ketentuan ini bertujuan untuk memberikan kapasitas deformasi yang cukup, menghindari kerapatan tulangan di lapangan dan secara tidak langsung membatasi besar tegangan geser pada ujung-ujung balok. Ketentuan tambahan pada ACI 318M-19 [5] membatasi $\rho_{max} \leq 0.020$ untuk tulangan longitudinal dengan mutu 550 MPa. Meskipun demikian, akan lebih praktis apabila rasio tulangan dibatasi 0.01 demi alasan kemudahan pelaksanaan dan untuk membatasi gaya geser pada join dalam batas yang wajar [6].
- Pada muka join, kekuatan momen positif harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatifnya. Ketentuan ini memberikan $\rho' \geq 0.5\rho$ pada kedua ujung balok, yang dapat meningkatkan daktilitas dan kemampuannya untuk mengembangkan kurvatur (kapasitas rotasi) [7].
- Pada sembarang penampang, kekuatan momen negatif dan positif tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kekuatan momen maksimum pada muka kedua join.

- Sambungan lewatan tidak boleh digunakan di dalam join, dalam jarak $2x$ tinggi balok dari muka join, dan dalam jarak $2x$ tinggi balok dari bidang kritis dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi akibat deformasi lateral struktur, karena sambungan tersebut tidak dapat diandalkan dalam menerima beban siklis pada rentang inelastis. Pengadaan sambungan lewatan pada lokasi yang diizinkan wajib disertai dengan tulangan pengekan berupa sengkang tertutup (*hoops*) di sepanjang sambungan lewatan dengan spasi antar sengkang tidak lebih dari yang terkecil antara $d/4$ dan 100mm.
- Sambungan mekanis hanya diizinkan digunakan dalam jarak $2x$ tinggi balok dari muka join apabila menggunakan sambungan mekanis Tipe 2.

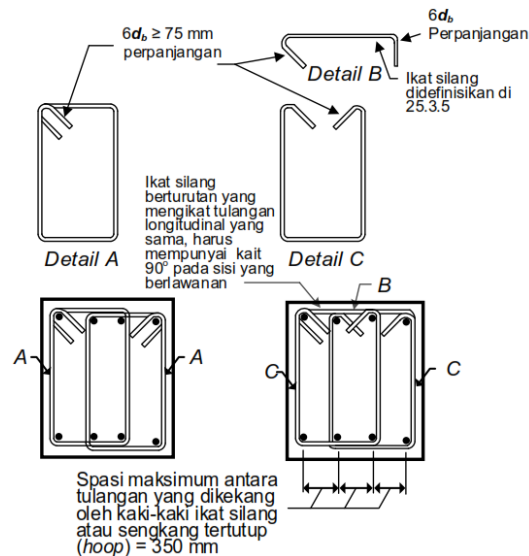
Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal berupa sengkang tertutup (*hoops*) utamanya ditujukan untuk menahan gaya geser, memberikan kekangan pada beton, meningkatkan lekatan antara tulangan dengan beton, dan menyediakan tahanan lateral terhadap tulangan-tulangan longitudinal dimana pelelehan terjadi. Persyaratan terkait tulangan transversal pada komponen balok dalam SRPMK ditampilkan pada Gambar 4.4. Dalam ACI 318M-19 [5], spasi tulangan transversal untuk penggunaan tulangan longitudinal dengan mutu 550 MPa dibatasi tidak melebihi $5d_b$.

Pada area yang berpotensi terjadi sendi plastis, tulangan-tulangan longitudinal akan mengalami gaya tarik dan gaya tekan secara bergantian. Hoops diperlukan untuk menjaga tulangan-tulangan tersebut agar tidak terjadi tekuk. Persyaratan tambahan untuk batang tulangan longitudinal yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus diberikan tumpuan lateral dengan spasi tidak melebihi 350mm. Spasi yang lebih dekat lebih direkomendasikan untuk meningkatkan kekangan dan kemampuan rotasi dari balok. Pada Gambar 4.5 ditunjukkan contoh sengkang tertutup (*hoops*) yang dimaksud.



Gambar 4.4 Persyaratan Tulangan Transversal Balok SRPMK [6]

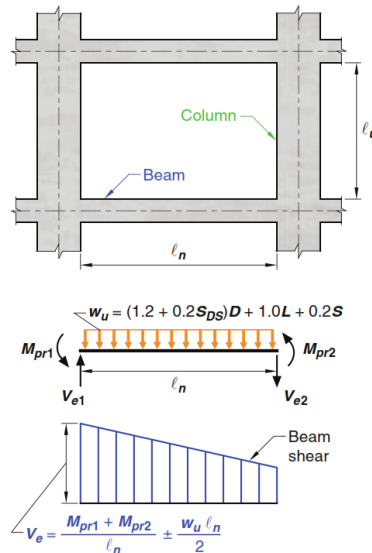


Gambar 4.5 Contoh Sengkang Tertutup (Hoops) yang Dipasang Bertumpuk [1]

Persyaratan Kekuatan Geser

Respon struktur yang daktail mengharuskan pelelehan lentur terjadi pada komponen struktur SRPMK tanpa disertai kegagalan geser. Kegagalan geser dapat dihindari dengan pendekatan Disain Kapasitas yang diilustrasikan pada Gambar 4.6. Gaya geser disain ditentukan oleh pengaruh gaya gravitasi dan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi akibat gaya gempa, M_{pr} . Momen ujung probable, M_{pr} , didefinisikan sebagai momen maksimum yang diperlukan untuk membentuk sendi plastis pada ujung balok. Momen ini dihitung berdasarkan teori lentur balok

dengan memperhitungkan jumlah tulangan disain dan nilai kuat lebih bahan minimal $1.25 f_y$ serta tanpa menyederakan faktor reduksi kekuatan.



Gambar 4.6 Gaya Geser Disain untuk Balok [5]

Dalam jarak $2x$ tinggi balok dari muka join, dan dalam jarak $2x$ tinggi balok dari bidang kritis dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi, tulangan transversal harus didisain untuk menahan geser dengan mengabaikan kapasitas geser beton apabila gaya tekan terfaktor termasuk akibat gempa kurang dari $0.05 A_g f'_c$, f_c^* , dan gaya geser yang terjadi akibat gempa yang dihitung berdasarkan M_{pr} mewakili setidaknya setengah dari kekuatan geser perlu, V_e dalam bentang tersebut.

Perencanaan Komponen Struktur Kolom

Kolom didefinisikan sebagai komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan aksial. Pada kolom, gaya aksial tekan terfaktor melebihi dari $0.1 A_g f'_c$, dengan A_g adalah luas penampang kolom dan f'_c adalah kuat tekan spesifikasi beton.

a. Persyaratan Geometri

Kolom pada SRPMK harus memiliki dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300mm, dengan rasio antara dimensi terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0.4.

b. Persyaratan Tulangan Longitudinal

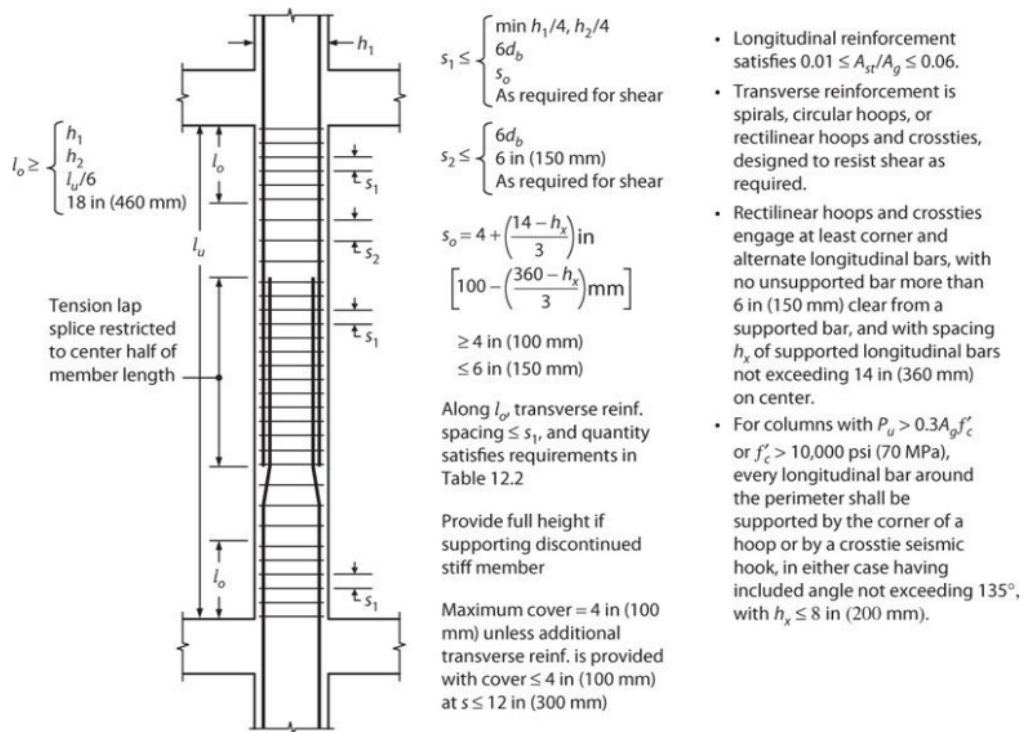
Beberapa persyaratan terkait tulangan longitudinal pada komponen kolom dalam SRPMK dalam rangka menyediakan daktilitas dan kapasitas momen yang cukup, ditampilkan pada Gambar 4.7.

- Rasio penulangan dibatasi minimum 0.01 dan maksimum 0.06
- Pada kolom dengan sengkang bundar, jumlah tulangan longitudinal minimum harus berjumlah 6.
- Sambungan lewatan hanya diizinkan pada setengah tinggi kolom, dan harus didisain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi sengkang tertutup (*hoops*) atau tulangan spiral. Tulangan transversal ini diperlukan untuk mengantisipasi ketidakpastian distribusi momen di sepanjang tinggi kolom dan untuk memberikan pengekanan pada sambungan yang mengalami tegangan bolak-balik.
- Sambungan las tidak boleh ditempatkan di lokasi yang berpotensi mengalami sendi plastis.
- Sambungan mekanis hanya diizinkan digunakan dalam daerah yang berpotensi mengalami sendi plastis apabila menggunakan sambungan mekanis Tipe 2.

c. Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal berupa sengkang tertutup (*hoops*) atau tulangan spiral utamanya ditujukan untuk menahan gaya geser, memberikan kekangan pada beton, meningkatkan lekatan antara tulangan dengan beton, dan menyediakan tahanan lateral terhadap tulangan-tulangan longitudinal dimana pelelehan

terjadi. Persyaratan terkait tulangan transversal pada komponen kolom dalam SRPMK ditampilkan pada Gambar 4.7.



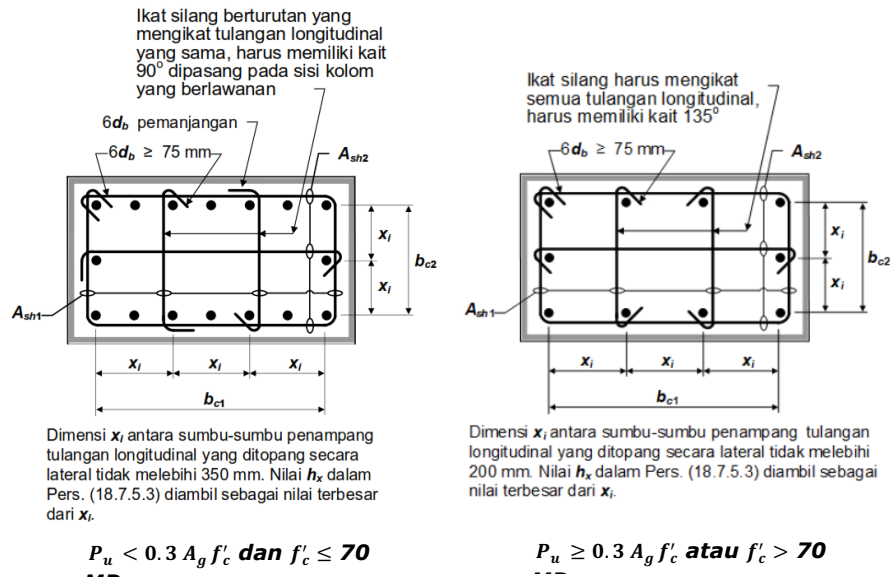
Gambar 4.7 Persyaratan Tulangan Kolom SRPMK [6]

Pada daerah di ujung-ujung kolom dimana pelelehan lentur mungkin terjadi, l_o , harus disediakan tulangan transversal yang cukup. Penelitian menunjukkan bahwa panjang minimum l_o , yang disyaratkan harus ditingkatkan 50% atau lebih di lokasi-lokasi seperti lantai dasar bangunan, dimana kebutuhan beban aksial dan lentur kemungkinan sangat tinggi [8].

Dalam ACI 318M-19 [5], spasi tulangan transversal untuk penggunaan tulangan longitudinal dengan mutu 550 MPa dibatasi tidak melebihi $5d_b$.

Pada kolom dengan sengkang pengeang dimana beban aksial terfaktor lebih besar dari $0.3 A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang

diberikan oleh sudut dari sengkang pengekuat ataupun kait gempa. Jarak dari pusat-ke-pusat tulangan tidak boleh melebihi 200mm. Gambar 4.8 memperlihatkan contoh penulangan kolom sesuai dengan kondisi ini. Jumlah tulangan transversal harus mengikuti persyaratan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.8 Persyaratan Tulangan Pengekuat Kolom SRPMK [1]

Tabel 4.1 Tulangan transversal pada kolom SRPMK [1]

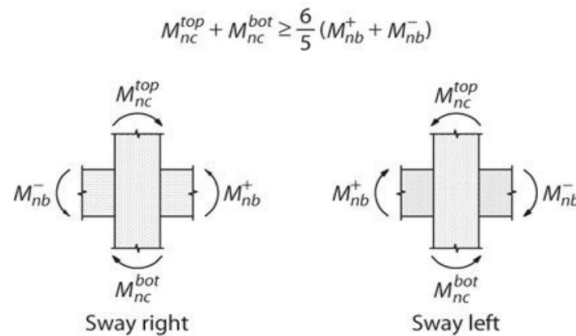
Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku		
$\frac{A_{sh}}{s b_c}$	$P_u < 0.3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (a) dan (b)	$0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(a)
Untuk sengkang pengekuat persegi	$P_u < 0.3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(b)
			$0.2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$	(c)
ρ_s Untuk spiral atau sengkang pengekuat bundar	$P_u < 0.3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (d) dan (e)	$0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(d)
			$0.12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(e)
	$P_u < 0.3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (d), (e) dan (f)	$0.35 k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$	(f)

d. Disain Kapasitas pada Kolom

Untuk menghindari terjadinya story mechanism, kolom harus direncanakan lebih kuat dari balok (Strong-Column Weak-Beam). SNI 2847-2019 mensyaratkan:

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb} \quad (4.1)$$

Artinya, total kapasitas momen nominal dari kolom-kolom yang merangka pada suatu join harus setidaknya 1.2x lebih besar dari total kapasitas momen nominal balok-balok yang merangka pada join tersebut. Pada konstruksi balok-T, kontribusi tulangan tarik pelat pada lebar efektif balok harus diperhitungkan dalam menentukan kapasitas momen nominal dari balok. Persamaan 4.1 di atas harus diperiksa untuk masing-masing arah goyangan dan pada masing-masing sumbu utama secara independen, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9. Kapasitas momen nominal harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya gempa yang ditinjau pada setiap kombinasi pembebanan, yang menghasilkan nilai M_{nc} terkecil.

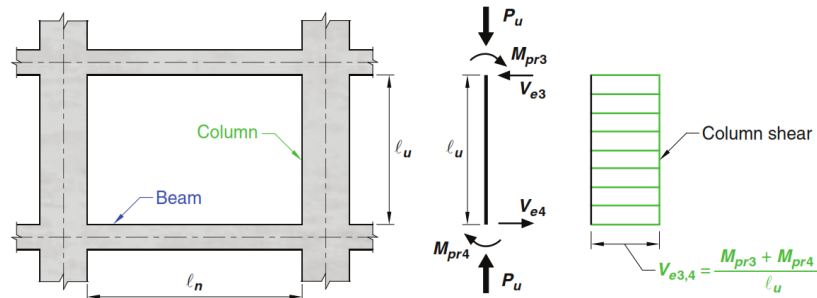


Gambar 4.9 Persyaratan Strong-Column Weak-Beam [6]

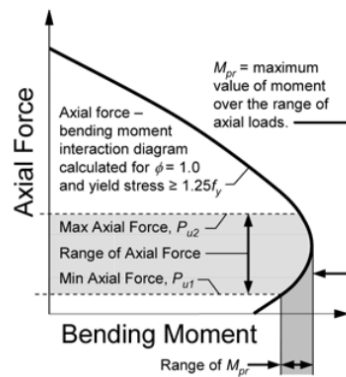
e. Persyaratan Kekuatan Geser

Gaya geser disain ditentukan oleh pengaruh gaya gravitasi dan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi akibat gaya gempa, M_{pr} , seperti ditunjukkan

pada Gambar 4.10. Momen ujung probable, M_{pr} , didefinisikan sebagai momen maksimum yang diperlukan untuk membentuk sendi plastis pada ujung kolom. Momen ini dihitung berdasarkan teori lentur dengan memperhitungkan jumlah tulangan disain dan nilai kuat lebih bahan minimal $1.25 f_y$ serta tanpa menyederakan faktor reduksi kekuatan. M_{pr} ditentukan untuk gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya gempa yang ditinjau pada setiap kombinasi pembebanan, yang menghasilkan nilai M_{pr} terbesar, seperti diilustrasikan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Gaya Geser Disain untuk Kolom [5]



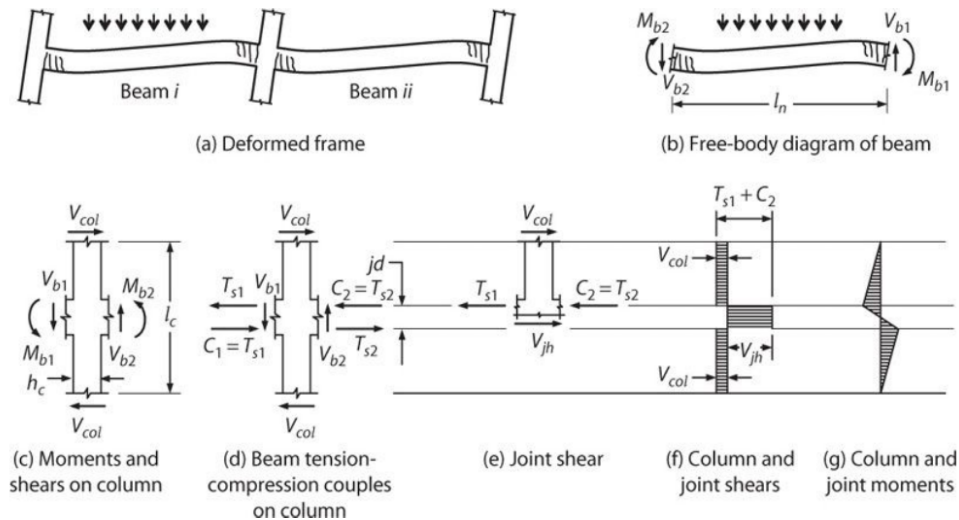
Gambar 4.11 Penentuan M_{pr} untuk Kolom [6]

Perencanaan tulangan transversal pada daerah ℓ_o harus didisain untuk menahan geser dengan mengabaikan kapasitas geser beton apabila gaya tekan terfaktor termasuk akibat gempa kurang dari $0.05 A_g f'_c$, dan gaya geser yang terjadi akibat gempa yang dihitung berdasarkan M_{pr} mewakili setidaknya setengah dari kekuatan geser perlu, V_e dalam bentang tersebut. Nilai M_{pr} kolom yang

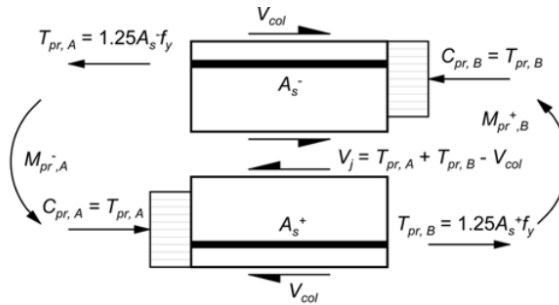
digunakan untuk perhitungan tidak perlu lebih besar dari M_{pr} balok yang merangka pada join yang sama.

Perencanaan Join Balok-Kolom

Join balok-kolom merupakan komponen struktur yang paling penting dalam SRPMK. Salah tujuan utama dalam perencanaan SRPMK adalah merancang join agar tetap dalam kondisi elastis. Gaya gempa menghasilkan momen lentur pada ujung-ujung balok yang harus ditransfer ke kolom melalui join. Proses transfer momen balok ini akan menimbulkan gaya geser yang besar pada join tersebut. Gaya geser yang terjadi pada join, V_j , ditentukan dari M_{pr} balok dan gaya geser kolom, V_{col} seperti diperlihatkan pada Gambar 4.12. Dengan meninjau keseimbangan gaya-gaya horisontal pada Gambar 4.12e, maka besarnya gaya geser yang terjadi pada join dapat ditentukan. Gaya geser kolom, V_{col} dapat ditentukan dari *free-body* diagram terhadap setengah-tinggi kolom, dimana momen lentur diestimasi mendekati nol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12c dan Gambar 4.13.



Gambar 4.12 Prosedur Umum Penentuan Gaya Geser pada Join [6]

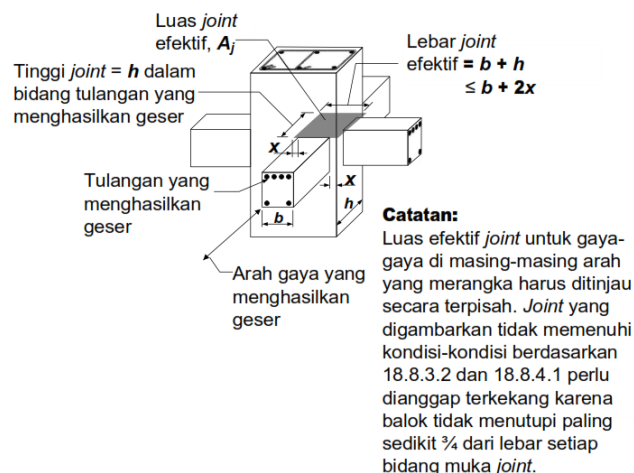


Gambar 4.13 *Free-body* Diagram dari Join Balok-Kolom [6]

Kapasitas Geser Join

Kekuatan geser join ditentukan berdasarkan luas penampang efektif join dan konfigurasi join. Luas penampang efektif join, A_j , dihitung dari tinggi join dikali dengan lebar join efektif. Ilustrasi terkait luas efektif join ditunjukkan pada Gambar 4.13. Tinggi join, h , tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada join tersebut yang menyebabkan gaya geser pada join. Tinggi join, h , yang kurang dari setengah dari tinggi balok akan memiliki strut tekan diagonal yang curam di sepanjang sambungan, yang mungkin kurang efektif dalam menahan gaya geser.

Kuat geser nominal join pada beton normal, V_n , ditunjukkan pada Tabel 4.2.



Gambar 4.13 Ilustrasi Luas Efektif Join [1]

Tabel 4.2 Kuat geser nominal join [1]

Konfigurasi Join	V_n
Join yang terkekang oleh balok pada keempat sisinya	$1.70 \sqrt{f'_c} A_j$
Join yang terkekang oleh balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan	$1.20 \sqrt{f'_c} A_j$
Kasus lainnya	$1.00 \sqrt{f'_c} A_j$

Suatu join dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak $\frac{3}{4}$ dari lebar efektif join. Perpanjangan balok yang melewati muka join setidaknya setinggi balok, boleh dianggap memberikan kekangan pada muka join tersebut. Dalam ACI 318M-19 [5], terdapat modifikasi terhadap klasifikasi balok dan kolom untuk membedakan balok dan kolom yang berkontribusi terhadap geser join dan balok dan kolom yang bekerja sebagai pengekang. Suatu join balok-kolom dapat dianggap terkekang oleh dua balok yang melintang (tegak lurus) arah gaya geser join, apabila kedua balok melintang tersebut memenuhi 3 kriteria berikut:

- Lebar dari masing-masing balok melintang paling tidak $\frac{3}{4}$ dari lebar muka kolom dimana balok tersebut merangka.
- Balok-balok melintang tersebut setidaknya memiliki panjang sama dengan tinggi balok diukur dari muka join.
- Setidaknya terdapat minimum 2 buah tulangan atas dan tulangan bawah yang menerus sesuai dengan persyaratan tulangan lentur minimum, dengan sengkang diameter $\geq D10$ sesuai dengan persyaratan tulangan geser minimum dan spasi tulangan balok.

Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal pada join harus disediakan dan memenuhi ketentuan persyaratan tulangan transversal kolom. Apabila pada suatu join terkekang oleh balok pada keempat sisinya, maka jumlah tulangan pengekang yang diperlukan menurut Tabel 4.1 dapat dikurangi setengahnya dan spasi yang disyaratkan dapat

ditingkatkan hingga 150mm.

Penyaluran Tulangan Balok ke Join Balok-Kolom

Serangkaian penelitian yang telah dilakukan ([9], [10], [11], [12], [13], [14]) menunjukkan bahwa tulangan lurus balok mungkin slip dalam join selama serangkaian momen bolak-balik yang besar. Untuk memberikan panjang penyaluran yang cukup serta mengurangi slip, diameter tulangan balok dibatasi tidak boleh lebih dari 1/20 dimensi kolom yang paralel terhadap balok tersebut. Dalam ACI 318M-19 [5], untuk penggunaan tulangan longitudinal dengan mutu 550 MPa pada join dari beton normal, diameter tulangan balok tidak boleh lebih dari 1/26 dimensi kolom yang paralel terhadap balok tersebut.

Panjang penyaluran tulangan tarik dengan ujung kait standar, l_{dh} , untuk tulangan D10 – D36 pada beton normal, harus dihitung berdasarkan persamaan:

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5.4 \sqrt{f'_c}} \quad (4.2)$$

dan tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150mm.

Untuk semua tulangan lurus yang berhenti pada join harus melewati inti terkekang kolom. Panjang penyaluran tulangan lurus yang berada diluar inti terkekang harus diperpanjang sebesar $1.6l_d$.

1.3 Penutup

Perencanaan SRPMK beton bertulang memerlukan proporsi dan detail yang direncanakan dan dilaksanakan dengan baik agar sistem struktur mampu berperilaku daktail dengan mempertahankan deformasi inelastis dalam rentang pembebanan gempa yang terjadi, tanpa mengakibatkan kehilangan kekakuan dan kekuatan yang signifikan. Prosedur analisis nonlinier statik dengan metode Pushover Analysis dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola pembentukan sendi plastis pada sistem struktur sehingga dapat memberikan gambaran terkait kinerja sistem struktur yang direncanakan.

Referensi

- [1] Badan Standarisai Nasional, 2019, *SNI 2847-2019* tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, BSN, Jakarta.
- [2] American Standard of Testing Materials, 2003, *ASTM A706M Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement*, ASTM International, Pennsylvania.
- [3] American Standard of Testing Materials, 2003, *ASTM A615M Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement*, ASTM International, Pennsylvania.
- [4] Badan Standarisai Nasional, 2017, *SNI 2052-2017* tentang baja tulangan beton, BSN, Jakarta.
- [5] American Concrete Institute, 2019, *ACI 318M-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, ACI, Michigan.
- [6] Moehle, J., 2015, *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*, McGraw-Hill, United States.
- [7] Wight, J.K., 2016, *Reinforced Concrete Mechanics and Design 7th Ed.*, Pearson, United States.
- [8] Watson, S., Zahn, F.A., dan Park, R., 1994, *Journal of Structural Engineering*, V.120, No.6, June, pp 1798-1824.
- [9] Meinheit, D.F., dan Jirsa J.O., 1977, *Shear Strength of Reinforced Concrete Beam-Column Joints, Report No.77-1*, University of Texas at Austin, Austin.
- [10] Briss, G.R., Paulay, T., dan Park, R., 1978, *Elastic Behavior of Earthquake Resistant R.C. Interior Beam-Column Joints, Report No.78-3*, University of Canterbury, Christchurch.
- [11] Ehsani, M.R., 1982, *Behavior of Exterior Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake Type Loadings, Report No. UMEE 82R5*, University of Michigan, Michigan.
- [12] Durrani, A.J., dan Wight, J.K., 1982, *Experimental and Analytical Studies of Internal Beam to Column Connections Subjected to Reversed Cyclic Loading, Report No. UMEE 82R3*, University of Michigan, Michigan.

- [13] Leon, R.T., 1989, *Journal of Structural Engineering*, V.115, No.9, Sept pp 2261-2275.
- [14] Lin, C.M., Restrepo, J.I., dan Park, R., 2000, *Seismic Behavior and Design of Reinforced Concrete Interior Beam Column Joints*, *Research Report 2000-1*, University of Canterbury, Christchurch.

Profil Penulis

Hendy Wijaya, S.T., M.T.



Menempuh gelar Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara. Setelah menyelesaikan studi S1 pada tahun 2013, penulis aktif sebagai praktisi pada bidang perencanaan struktur bangunan hingga saat ini. Sejak tahun 2015, penulis diangkat menjadi dosen tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumagara dalam bidang Struktur & Konstruksi. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi analisa struktur, simulasi numerik dan rekayasa struktur tahan gempa.

BAB 5

Mutu dan Kualitas Beton Dalam Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur

Widodo Kushartomo

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Beton merupakan elemen penting dalam pembangunan Gedung atau infrastruktur, sehingga diperlukan pengendalian yang ketat selama proses pembetonan berlangsung. Pengendalian selama proses pembetonan bertujuan untuk menghasilkan beton dengan mutu dan kualitas sesuai yang direncanakan, sehingga aspek keselamatan dan berkelanjutan beton terpenuhi. Metode pengendalian beton dilakukan dengan memenuhi code yang berlaku baik secara nasional maupun internasional mulai dari pemilihan material, pengadukan, pengangkutan, pengecoran, pemadatan dan pemeliharaan. Pelanggaran pada setiap code yang berlaku berdampak pada penurunan mutu dan kualitas beton. Dengan mematuhi code selama proses pembetonan, akan menghasilkan beton yang memenuhi aspek berkeselamatan dan berkelanjutan.

Kata kunci: beton, mutu, kualitas, code, berkeselamatan

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Negara maju dapat dicirikan dari standar hidup yang relatif tinggi melalui teknologi yang maju dan ekonomi merata. Hal ini membuat rakyatnya mempunyai kualitas hidup dan kesejahteraan tinggi. Ciri lainnya dari negara maju umumnya memiliki banyak Gedung tinggi dan infrastruktur untuk menopang pertumbuhan ekonomi penduduk dan menguntungkan bagi suatu negara [1].

Berbicara tentang bangunan Gedung dan infrastruktur, tidak akan terlepas pada sebuah komponen yang bernama beton. Beton normal merupakan material terdiri dari semen, air, pasir dan kerikil, terikat bersama-sama menjadi elemen yang keras dan kuat. Begitu pentingnya beton, para pakar di seluruh negara mengembangkan teknologi beton untuk memenuhi kebutuhan industri konstruksi baik Gedung maupun infrastruktur.

Sebelum mendirikan sebuah bangunan apakah itu Gedung atau infrastruktur, konsultan perencana terlebih dahulu akan membuat desain berdasarkan *code* yang berlaku pada negara tersebut atau mengadopsi *code* yang berlaku secara internasional. *Code* yang digunakan bertujuan untuk menjaga keselamatan para pengguna bangunan dan tidak terjadi pemborosan dalam penggunaan material serta bangunan tersebut dapat memiliki masa layanan lama, atau dengan perkataan lain bangunan yang berkeselamatan dan berkelanjutan. Penggunaan *code* tersebut mencakup aspek yang sangat luas termasuk didalamnya beton.

Beton yang digunakan pada proses pembangunan Gedung atau infrastruktur harus mengikuti spesifikasi yang telah ditetapkan oleh konsultan perencana terutama mutu beton. Perubahan spesifikasi beton selama proses pembangunan harus sejalan konsultan perencana, mengingat konsultan perencana telah merencanakan sesuai *code* yang berlaku untuk memenuhi aspek keselamatan dan durabilitas. Sebagai salah satu contoh, dalam membuat bangunan Gedung tinggi atau dikenal dengan *high risk building*, diperlukan beton dengan mutu sangat tinggi dan memiliki

kinerja yang sangat baik. Beton dengan mutu sangat tinggi tidak dapat dipenuhi hanya menggunakan campuran konvensional seperti semen, pasir dan kerikil saja, juga tidak dapat dipenuhi hanya dengan memperbanyak pemakaian jumlah semen. Pembuatan beton dengan mutu sangat tinggi diperlukan material khusus dan bahan tambahan lain untuk meningkatkan mutu beton. Kegagalan yang terjadi pada beton mutu tinggi pada umumnya terjadi pada batas butir antara batu dan mortar [2]. Ikatan yang terjadi di daerah batas butir tidak mampu menahan beban yang dipikulnya, bahkan untuk beton dengan mutu sangat tinggi kegagalan justru terjadi pada kerikil atau agregat kasar [3]. Sehingga pada beton mutu sangat tinggi keberadaan kerikil malah melemahkan mutu beton [3]. Beton mutu sangat tinggi diperlukan material yang padat, kompak tanpa ada batas butir, teknologi beton ini memerlukan eksperimen panjang dan memunculkan sebuah teknologi baru dikenal dengan *reactive powder concrete*.

Pada umumnya beton mutu tinggi atau mutu sangat tinggi memiliki kinerja yang tidak baik, beton sulit diaduk, dituang maupun dipadatkan, akibatnya beton akan menjadi keropos dan terjadi degradasi mutu beton [4][5]. Guna mengatasi hal tersebut biasanya diperlukan *admixture* untuk meningkatkan kinerja beton [5]. Tidak mudah membuat beton dengan mutu tinggi atau mutu sangat tinggi apa lagi dalam volume besar, diperlukan pengendalian sangat ketat mulai dari pemilihan material, pembuatan, pengangkutan, pengecoran, pemadatan dan pemeliharaan. Jadi untuk menghasilkan beton mutu tinggi atau mutu sangat tinggi diperlukan teknologi dan *code* supaya dapat menghasilkan beton yang berkeselamatan dan berkelanjutan.

Berbeda lagi beton yang digunakan untuk pembangunan infrastruktur seperti bendungan, jalan dan jembatan. Pada pembangunan bendungan selain mutu beton sebagai faktor utama, pengendalian temperature beton selama proses pengecoran juga menjadi hal sangat penting. Biasanya bendungan memiliki ketebalan beton sangat besar, sehingga temperature beton yang muncul sangat tinggi, hal ini bila

tidak dikendalikan akan menimbulkan tegangan termal sehingga beton menjadi retak [6]. Proses pengecoran beton dengan ketebalan sangat besar biasanya dikenal dengan *mass concrete* seperti diperlihatkan pada Gambar 5.1. Pelaksanaan pekerjaan *mass concrete* memerlukan teknologi tersendiri, yang tidak sama dengan pekerjaan pengecoran untuk elemen balok, kolom atau plat beton.



Gambar 5.1. *Mass Concrete* pada bendungan [7]

Beton pada pembangunan jalan, proses pemeliharaan menjadi bagian yang sangat penting selain mutu beton, kecepatan penguapan akibat sinar matahari dan angin berdampak pada proses hidrasi yang tidak sempurna sehingga beton menjadi retak dan rapuh, hal ini tentu saja sangat membahayakan pengguna jalan seperti di perlihatkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Keretakan pada jalan beton sebelum difungsikan [8]

Demikian juga tiang beton pada jembatan yang selalu berhubungan dengan air mengalir, beton senantiasa bergesekan dengan partikel yang dibawa air sehingga permukaan beton menjadi keropos dan terjadi degradasi mutu beton. Banyak kasus yang dijumpai terkait runtuhnya sebuah jembatan akibat erosi, hal ini menandakan pentingnya memperhatikan kondisi lingkungan dimana beton tersebut ditempatkan.

Uraian tersebut diatas menjelaskan betapa pentingnya beton dalam pembangunan Gedung atau infrastruktur. Konsultan perencana, kontraktor pelaksana dan kontraktor pengawas senantiasa mengawal ketat proses pemesanan, penerimaan, pengecoran dan pemeliharaan supaya dapat menghasilkan beton sesuai kriteria untuk memenuhi aspek keselamatan dan berkelanjutan.

1.2 Pendahuluan/ Latar Belakang

Beton dalam Konstruksi Bangunan

Beton adalah material komposit yang terdiri dari pasta dan agregat. Pasta merupakan perpaduan antara air dan semen yang bertindak sebagai bahan

pengikat, sedangkan agregat adalah pasir dan kerikil [9]. Beton lebih banyak digunakan di industri konstruksi dibandingkan kayu dan besi, mengingat beton harganya lebih murah. Keunggulan beton bila dibandingkan dengan material konstruksi lainnya seperti kayu dan besi adalah: mudah di bentuk, ekonomis, awet, tahan api, hemat energi, dapat dibuat dimana saja. Selain kelebihan tersebut, juga terdapat kekurangan yang dimiliki oleh beton, yaitu: tegangan tarik rendah, keuletan rendah, volume tidak stabil, kekuatannya rendah dibandingkan beratnya [6][9]. Kekurangan yang dimiliki oleh beton tersebut diatasi dengan menambahkan besi penulangan kedalam beton, besi penulangan tersebut bekerja bersama-sama dalam memikul beban.

Pada proses pembangunan Gedung atau infrastruktur, konsultan perencana akan menetapkan spesifikasi mutu beton yang diperlukan sehingga mampu mendukung kekuatan bangunan Gedung atau infrastruktur. Kontraktor pelaksana sebagai pihak yang bertanggung jawab pada proses pembangunan membeli beton pada perusahaan penjual beton jadi (*readymix*) sesuai dengan mutu beton yang telah ditetapkan. Perusahaan penyedia beton jadi membuat beton sesuai dengan pemesanan yang diterima. Dalam menghasilkan beton dengan mutu sesuai perencanaan, diperlukan pengendalian dan pengawasan yang ketat terhadap material yang digunakan. Untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan atau mutu yang diinginkan, material penyusun beton harus diawasi dengan ketat dan memenuhi persyaratan.

Semen

Semen merupakan komponen utama dalam pembuatan beton sebagai bahan pengikat agregat. Perusahaan penjual beton jadi atau yang disebut dengan *readymix* harus memahami tentang sifat dan karakteristik semen. Pengetahuan ini diperlukan supaya desain campuran dapat dibuat dengan benar berdasarkan tipe semen yang digunakan.

Semen adalah material hidraulis yang memiliki sifat adesif dan kohesif, hidraulis artinya mampu mengeras didalam air. Semen menempati volume sebanyak 20% - 30% terhadap volume beton, penggunaan semen yang berlebihan mengakibatkan timbul keretakan pada permukaan beton dan panas hidrasi yang berlebihan [6][9]. Selain dari pada itu biaya produksi beton semakin mahal mengingat semen merupakan komponen termahal dalam pembuatan beton. Kualitas semen ditentukan dengan kehalusan semen atau ukuran diameter butiran yang dinyatakan dalam cm^2/kg dan komponen utama yang terkandung dalam semen seperti tri calsium silikat (C3S), di calsium silikat (C2S), tri calsium aluminat (C3A) dan tetra calsium alumino ferit (C4AF) [6][9]. Supaya mutu beton yang direncanakan dapat terpenuhi maka semen portland yang digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Semen tidak kadaluwarsa, dapat diperiksa dengan cara dipegang oleh tangan, bila masih hangat, maka semen belum kadaluwarsa.
- Semen belum mulai menggumpal.
- Semen masih bereaksi, yaitu apabila digenggam dengan tangan maka akan jatuh berhamburan.

Code yang mengatur soal semen adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) SNI-15-2049-2004 tentang portland semen [10]. Dalam SNI tersebut mengatur kualitas semen yang digunakan untuk campuran beton beserta pengujian-pengujiannya. Sedangkan tipe-tipe semen yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhannya diatur dalam ASTM C 150 tentang *Standard Spesification for Portland Cement* [11]

Agregat

Agregat menempati volume terbesar dalam pembuatan semen, berkisar antara 80% - 70%. Sifat yang paling penting dari suatu agregat adalah kekerasan, tekstur dan gradasi butiran karena ketiga sifat ini sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Sifat lainnya yang mempengaruhi lekatan anatara pasta dengan agregat adalah

kadar lumpur dan kadar organis. Sedangkan kekekalan agregat berpengaruh terhadap umur masa layanan beton. *Code* yang mengatur kekerasan, gradasi, kadar lumpur, kadar organis dan kekekalan tertuang dalam SNI dan ASTM [6][9][12][13][14][15][16]

Adapun syarat-syarat dari agregat yang digunakan adalah butiran agregat harus keras dan tajam, memiliki butiran beraneka ragam, tidak mengandung mineral alkali, kadar lumpur maksimal 4% untuk pasir dan 1% untuk kerikil, tidak mengandung kadar organis, bersifat kekal. Pemenuhan persyaratan sesuai *code* pada agregat, memudahkan pencapaian mutu beton yang direncanakan.

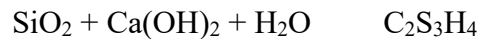
Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting, berfungsi sebagai pereaksi semen sehingga terjadi reaksi hidrasi. Kuantitas air yang digunakan akan mempengaruhi mutu beton dan kualitas air akan mempengaruhi pengerasan dan keawetan dari beton. Persyaratan Air untuk campuran beton tertuang dalam ASTM C-1602 [17] yaitu harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual, tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter, tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik dsb) lebih dari 15 gram/liter, kandungan khlorida (Cl) < 0,50 gram/liter, dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO₃, bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%, khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat diatas, air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 0,05 gram/liter.

Pengawasan yang ketat terhadap material yang digunakan dalam pembuatan beton sesuai dengan *code* yang berlaku sangat diperlukan terutama dalam memproduksi beton dengan mutu sangat tinggi.

Bahan Tambah

Additive merupakan bahan tambahan yang selalu digunakan dalam industri beton modern. Merupakan bahan tambahan mineral yang mengandung SiO_2 amorphus seperti *silica fume* dan abu terbang. *Silica fume* adalah produk sampingan dari pemurnian quartz dalam sebuah *electric arc furnace* selama produksi logam silicon atau *ferrosilicon alloys*, mempunyai ukuran butiran $0,1 - 0,3 \mu\text{m}$ atau $13.000 - 30.000 \text{ m}^2/\text{kg}$ dan kadar SiO_2 sebesar $95 - 98 \%$ [6] sedangkan Abu terbang merupakan sisa hasil pembakaran batu bara sebagai sumber energi di PLTU, memiliki kehalusan butiran $5 - 20 \mu\text{m}$ atau $400 - 700 \text{ m}^2/\text{kg}$ dan kadar SiO_2 sebesar $50 - 60 \%$ [6]. *Additive* berfungsi meningkatkan mutu beton dengan jalan memperbaiki struktur mikro, memicu terjadinya reaksi *pozzolanic* dan mengisi pori-pori beton sehingga menjadi lebih kompak atau padat [6][9][18]. Reaksi *pozzolanic* merupakan reaksi antara SiO_2 amorphus dari mineral *additive* dengan salah satu produk hidrasi semen yaitu portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Reaksi *pozzolanic* dituliskan sebagai berikut [9]



Gel calcium silikat hidrat (CSH) terbentuk dari reaksi *pozzolanic* disebut *tobbermorit*. Reaksi *pozzolanic* dapat dipercepat dengan Teknik meingkatkan temperature pemeliharaan seperti *steam curing* pada temperature $90 - 95 ^\circ\text{C}$ selama 4 jam atau menggunakan *autoclave*. Dengan terbentuknya *tobbermorite* pada seaksi *pozzolanic* maka jumlah gel CSH dalam beton semakin banyak, hal ini berdampak pada peningkatan kekuatan ikatan antar agregat pada daerah anatar muka [18]. *Silica fume* atau abu terbang memiliki ukuran butiran yang jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan semen $75 \mu\text{m}$, sehingga memungkinkan *silica fume* atau abu terbang menyisip ke pori-pori beton, mengisi bagian kosong menjadi beton padat dan kompak. Dengan berkurangnya volume pori-pori dalam beton akibat penyisipan bahan additive, kekuatan beton menjadi semakin meningkat [18]. Dalam industri beton moderen saat ini beton tidak dapat dilepaskan dari

bahan *additive* untuk menghasilkan beton yang bermutu tinggi. Jadi dalam hal ini jelas sekali bahwa bahan tambahan mempunyai fungsi untuk meningkatkan kekuatan beton.

Admixture. Merupakan bahan yang ditambahkan delama campuran beton selama proses pengadukan berlangsung. *Admixture* mempunyai fungsi meningkatkan kinerja beton sehingga beton menjadi lebih mudah diaduk, diangkut dan dituangkan dengan tidak terlalu banyak energi. Sebagai contoh untuk meningkatkan plastisitas beton biasanya perusahaan pembuat beton menggunakan bahan yang dikenal dengan nama superplasticizer, memperlambat atau mempercepat proses pengikatan dikenal dengan nama *retarder* atau *accelerator*. Pada umumnya beton dengan mutu sangat tinggi nilai faktor air semennya sangat rendah, ini menyebabkan beton menjadi sulit untuk dikerjakan baik diaduk, diangkut maupun di tuangkan dengan kata lain kinerjanya rendah. Biasanya yang dilakukan oleh pihak *readymix* adalah menambahkan *admixture* kedalam adukan untuk meningkatkan kinerjanya. Batasan penggunaan *admixture* mengikuti petunjuk yang ditetapkan oleh produsen *admixture*. Jenis dan Spesifikasi *Admixture* diatur dalam ASTM C 150 [19].

Mutu Beton

Mutu beton merupakan salah satu bagian penting untuk menentukan pengaplikasiannya pada struktur bangunan, menyatakan besarnya gaya yang mampu dipikul oleh beton tiap satuan luas N/mm^2 atau MPa dan kg/cm^2 . Kualitas beton sendiri dapat berbeda-beda sesuai penggunaan dan pemilihan komposisi bahan material yang dipakai. Umumnya, beton dengan kualitas tinggi diperuntukkan pada bangunan gedung bertingkat, dermaga, silo, cerobong, terowongan, apron, bendungan dan struktur jembatan maupun bangunan dengan kuat tekan mencapai 40 MPa. Sementara beton dengan kualitas kelas bawah sering digunakan untuk dinding maupun lantai.

Pada sebuah konstruksi bangunan, konsultan perencana senantiasa menetapkan mutu beton dalam desain bangunannya untuk digunakan dalam sebuah proyek yang sedang dikerjakan. Kontraktor pelaksana akan menyediakan beton dengan mutu dan volume berdasarkan desain konsultan perencana. Semua pihak yang terlibat dalam proyek wajib memahami dan mengetahui apa yang disebut dengan mutu beton tersebut, pemahaman dan pengetahuan ini sangat penting guna mengendalikan mutu dan kualitas beton yang digunakan.

- Mutu Beton f'_c

Beton dengan mutu f'_c menyatakan kekuatan tekan minimum yang mampu dipikul oleh beton adalah pada umur beton 28 hari, dengan menggunakan silinder beton diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Mengacu pada standar SNI 03-2847-2015 [20] yang merujuk pada ACI (American Concrete Institute).

MPa = Mega Pascal ; 1 MPa = 1 N/mm² = 10 kg/cm².

- Mutu Beton Karakteristik

Kualitas beton sebagai salah satu karakteristik penting yang umumnya ditunjukkan dengan satuan angka dan huruf. Biasanya, penggunaan satuan mutu beton di Indonesia adalah K. Kualitas beton K merupakan kuat tekan beton dengan ukuran kg/cm². Beton dengan mutu K-250 menyatakan kekuatan tekan karakteristik minimum adalah 250 kg/cm² pada umur beton 28 hari, dengan menggunakan kubus beton ukuran 15x15x15 cm. Mengacu pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 71) [21] yang merujuk pada standar eropa lama.

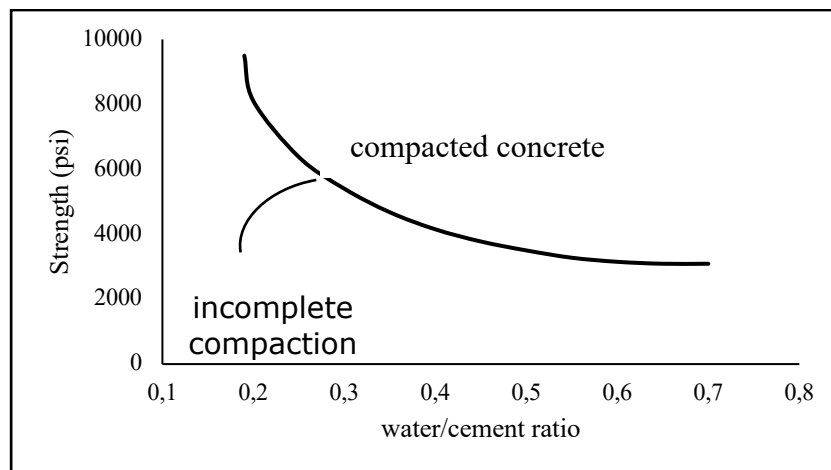
- a. Faktor yang berpengaruh terhadap Mutu Beton**

Sesuai dengan perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, ternyata kriteria beton tinggi juga berubah sesuai dengan dengan perkembangan jaman dan kemajuan tingkat mutu yang berhasil dicapai. SNI 03-2847-2015 [20], yang dikatakan Beton Mutu Tinggi adalah jika f'_c melebihi 40 MPa. Pada umumnya jika ingin mendapatkan beton dengan mutu dan keawetan yang tinggi, ada

beberapa faktor yang harus diperhatikan, meliputi faktor air semen (FAS), Agregat (baik agregat kasar maupun halus), dan penggunaan bahan tambah (Admixture dan Additif)

- **FAS (Faktor Air Semen)**

Merupakan perbandingan jumlah air terhadap semen, secara umum semakin besar nilai fas, semakin rendah mutu kekuatan beton. Dengan demikian untuk menghasilkan beton dengan mutu tinggi, nilai fas dalam beton haruslah rendah., karena pengurangan nilai fas akan dapat meminimalkan porositas beton. semakin tinggi nilai fas yang digunakan maka kinerja beton akan semakin baik namun sebaliknya mutu beton semakin berkurang. Semakin rendah fas yang digunakan berakibat semakin menurun kinerja beton, namun sebaliknya semakin meningkat mutu betonnya seperti terlihat pada Gambar 5.3. Penggunaan fas yang tinggi akan menyebabkan terjadinya bleeding dan membentuk banyak void didalam beton, ini lah sebabnya mengapa fas yang semakin tinggi berakibat mutu beton semakin menurun.



Gambar 5.3 Grafik hubungan *water/cement ratio* (fas) terhadap kekuatan beton [9]

- Kualitas Agregat

Disamping gradasi yang bagus (well Graded), kualitas agregat sangat menentukan kualitas beton, Salah satunya adalah tekstur dari agregat. Semakin halus tekstur permukaan agregat akan membutuhkan air yang lebih sedikit dibandingkan dengan agregat yang mempunyai permukaan kasar. Tektur agregat juga mempengaruhi kekuatan lekatan antara pasta dengan agregat, semakin kasar dan bersudut maka tingkat lekatannya juga akan semakin baik, mengingat permukaan agregat yang kasar meningkatkan koefisien gesekan. Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat – zat yang dapat merusak baik itu pada saat beton muda maupun beton yang suda mengeras. Lumpur dan kadar organis menghalangi lekatan antara pasta semen dengan agregat, ini akan berakibat lemahnya ikatan didaerah antar muka sehingga secara keseluruhan mutu beton menjadi turun. Kekerasan agregat kasar juga mempengaruhi mutu beton, bagi beton mutu tinggi kegagalan justru terjadi pada agregat. Kekerasan agregta biasanya dilihat dari berapa persen pembubukan yang terjadi bila diuji dengan mesin Los Angeles, maksimum 50% berdasarkan SNI 03-2417-1991 [22], sehingga pemilihan agregat dalam campuran beton perlu menjadi perhatian yang serius pada perusahaan *readymix*.

Kriteria Penerimaan

Dalam sebuah proyek penting sekali dilakukan evaluasi terhadap setiap beton yang datang. Mengingat beton merupakan komponen yang vital pada sebuah proyek, maka untuk menjaga mutu dan kualitas terhadap setiap beton yang datang perlu dilakukan pengujian slump, pengukuran temperature dan pengambilam sampel test.

Pengukuran slump merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur

konsistensi adukan beton. Konsistensi mengindikasikan berapa banyak air yang digunakan dalam adukan ditujukan untuk mengontrol homogenitas dan kelacakan beton, sehingga kriteria beton segar yang meliputi mudah diaduk dan diangkut, homogen, mudah mengalir, mudah dipadatkan, tidak terjadi *bleeding*, tidak terjadi *segregasi* dapat dipenuhi. Operator penerima beton di lapangan wajib memahami kriteria tersebut dan mengetahui Teknik pengujian slump yang didasarkan pada ASTM C 143 [23] atau SNI 1972: 2008[24].

Pengukuran temperature beton segar saat tiba diproyek penting dilakukan terutama pada proyek pembetonan masal atau *mass concrete*. Pengukuran temperature ini dilakukan untuk menjaga supaya tidak terjadi tegangan termal setelah beton dituang dalam cetakan. Selama proses hidrasi semen, akan dilepaskan sejumlah panas dari komponen-komponen utama semen sehingga menyebabkan temperature beton menjadi lebih tinggi dari lingkungannya. Perbedaan temperature antar bagian pada beton dapat menimbulkan tegangan termal, tegangan termal yang muncul dalam beton segar mengakibatkan terjadinya keretakan pada beton tersebut, sehingga terjadi penurunan yang signifikan terhadap mutu dan kualitas beton. Metode pengukuran temperature pada setiap beton yang datang ke proyek mengacu pada SNI 03 4807-1998 [25].

Sering terjadi perbedaan pendapat dan cara dalam mengevaluasi mutu beton pada proyek antara pihak yang terlibat dalam proyek. Kadang perbedaan terletak pada aturan / *code* yang digunakan. Namun ada juga perbedaan dikarenakan ketidaktahuan, sehingga setiap hasil test dirata-rata lalu dibandingkan dengan mutu rencana. Pengambilan sampel test pada setiap beton yang datang menjadi perhatian utama dalam proses pembetonan. Hal ini dilakukan pertama untuk menjaga mutu beton supaya senantiasa sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan, kedua dapat dilakukan antisipasi dengan cepat bila ditemukan penyimpangan terhadap mutu beton. Menurut ACI 318 [26], frekuensi minimum untuk pengambilan sampel test kekuatan didasarkan atas dua kriteria yaitu kriteria per

hari dan per proyek. Secara mudah, letak perbedaan kedua kriteria ini adalah pada jumlah tes yang dapat dihasilkan oleh suatu pekerjaan di proyek atau besar kecilnya proyek.

Langkah awal untuk mulai menentukan frekuensi pelaksanaan tes adalah dengan mendata volume pengecoran, elemen struktur yang dicor dan rencana pengecoran harian. Data tersebut dikelompokkan berdasarkan mutu beton karena evaluasi beton dilakukan pada tiap mutu beton. Langkah kedua adalah dengan menghubungkan data tadi dengan kriteria pertama (kriteria per hari). Jika dengan data tersebut didapatkan jumlah / frekuensi tes kekuatan adalah lebih dari lima kali, maka digolongkan ke dalam kriteria pertama (per hari). Namun, jika sama dengan lima atau kurang maka digolongkan ke dalam kriteria kedua (per proyek). Untuk volume dari suatu mutu beton dalam suatu proyek yang kurang dari 50 kubik yard (38,23 m³) maka test kekuatan tidak dibutuhkan jika bukti atas kekuatan yg memuaskan telah diijinkan dan disetujui oleh pengawas gedung [20]. Contoh 1 dan 2 akan memberikan gambaran yang lebih jelas. Suatu tes kekuatan merupakan rata-rata kekuatan dua silinder yang dibuat dari sampel yang sama dan dites pada umur 28 hari atau pada umur yang direncanakan untuk menentukan f'_c [20]. Sampel tersebut diambil berdasarkan “Method of Sampling Freshly Mixed Concrete”(ASTM C 172) [27] dan dicetak serta dirawat dalam laboratorium sesuai dengan *Practice for Making and Curing Concrete Test Speciment in the Filed* [28] dan dites sesuai dengan *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* [29].

Beton harus diuji dengan ketentuan SNI 03-2458-1991, metode pengujian dan pengambilan contoh untuk campuran beton segar [30]. Teknisi pengujian lapangan yang memenuhi kualifikasi harus melakukan pengujian beton segar di lokasi konstruksi, menyiapkan contoh-contoh uji silinder yang diperlukan dan mencatat suhu beton segar pada saat menyiapkan contoh uji untuk pengujian kuat tekan. Teknisi laboratorium yang mempunyai kualifikasi harus melakukan semua

pengujian-pengujian laboratorium yang disyaratkan. Contoh untuk uji kuat tekan harus diambil menurut SNI 03-2458-1991[30], metode pengujian dan pengambilan contoh untuk campuran beton segar. Benda uji silinder yang digunakan untuk uji kuat tekan harus dibentuk dan dirawat di laboratorium menurut SNI 03-4810-1998 metode pembuatan dan perawatan benda uji di lapangan [31] dan diuji menurut SNI 03-1974-1990 metode pengujian kuat tekan beton [32].

Jika kepastian nilai kuat tekan beton yang rendah telah diketahui dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa tahanan struktur dalam memikul beban berkurang secara signifikan, maka harus dilakukan uji contoh beton uji yang diambil dari daerah yang dipermasalahkan sesuai SNI 03-2492-1991 metode pengambilan benda uji beton inti [33] dan SNI 03-3403-1994 metode pengujian kuat tekan beton inti [34]. Pada uji contoh beton inti tersebut harus diambil paling sedikit tiga benda uji untuk setiap uji kuat tekan yang mempunyai nilai 3,5 MPa di bawah nilai persyaratan f_c' . Bila beton pada struktur berada dalam kondisi kering selama masa layan, maka benda uji beton inti harus dibuat kering udara (pada temperatur 15°C hingga 25°C) selama 7 hari sebelum pengujian, dan harus diuji dalam kondisi kering. Bila beton pada struktur berada pada keadaan sangat basah selama masa layan, maka beton inti harus direndam dalam air sekurang-kurangnya 40 jam dan harus diuji dalam kondisi basah.

Perawatan (*Curing*)

Curing atau Perawatan beton dilakukan saat beton sudah mulai mengeras yang bertujuan untuk menjaga agar beton tidak cepat kehilangan air dan sebagai tindakan menjaga kelembaban/suhu beton sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang diinginkan. Perawatan beton dilakukan terutama pada permukaan beton yang terbuka saat memasuki fase pengerasan, sehingga proses hidrasi dapat berjalan dengan sempurna, tidak terjadi keretakan atau penyusutan pada beton.

Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk merawat beton dilapangan seperti, penyemprotan dengan air atau membrane pelapis. Metode perawatan yang dapat dilakukan pada setiap proyek tentunya sangat bervariasi tergantung pada kondisi masing-masing proyek. Pada proyek yang mudah ditemukan air maka penyemprotan dengan air merupakan pilihan yang terbaik, namun untuk proyek yang sulit diperoleh air penggunaan membrane merupakan pilihan yang tepat. Pada intinya perawatan pada beton perlu dilakukan untuk menjaga beton kehilangan kelembapan pada awal proses pengerasan, perbedaan suhu dengan lingkungan, stabilitas volume, perkembangan kekuatan beton, kualitas beton

1.3 Penutup

Menjaga mutu dan kualitas beton pada sebuah proyek pembangunan konstruksi Gedung atau infrastruktur diperlukan pengetahuan dan teknologi. Penguasaan atas pengetahuan dan teknologi terhadap semua pihak yang terlibat didalam proyek menjadi kunci utama terjaganya mutu dan kualitas beton. Pengetahuan dan teknologi proses pembetonan tertuang dalam setiap *code* atau standar yang berlaku. Pemenuhan *code* selama proyek berlangsung hanya dapat dilakukan bila setiap pelaksana yang terlibat memiliki penguasaan yang baik atas pengetahuan teknologi beton mulai dari pemilihan material, proses pembuatan, proses pengangkutan, proses penerimaan, proses pengecoran, proses pengujian dan proses perawatan. Bila semua proses tersebut dijalankan sesuai dengan *code* yang berlaku maka mutu dan kualitas beton akan terpenuhi dengan baik. Pemenuhan mutu beton berdampak pada aspek keselamatan bagi pengguna bangunan, pemenuhan kualitas beton berdampak pada aspek berkelanjutan artinya tidak terjadi pemborosan penggunaan material yang sumber utamanya merupakan bahan tambang tidak terbarukan. Mutu dan kualitas beton yang terpenuhi dengan baik akan berdampak juga pada umur masa layanan bangunan yang semakin lama.

Referensi

- [1]. Kompas, 2020, 7 Januari.
- [2]. Gurusideswar, S., Shukla, A., Jonnalagadda, K. N., Nanthagopalan, P., 2020, Construction and Building Materials, 258, 119642.
- [3]. Taqa, A. G. B., Al-Rub, R. K., Senouci, A., Al-Nuaimi, N., Bani-Hani, K.A., 2015, J. of Nanomaterials, 2015, 258384.
- [4]. Sutandi, A., Kushartomo, W., 2019. J. Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, 3(1),161.
- [5]. Kushartamo, W., Linggasari D., Sutandi A., 2019, Media Komunikasi Teknik Sipil, 26(1), 1.
- [6]. Neville, A.M., 2011., Properties of Concrete.
- [7]. Jamal, H., 2017, abaoutcivil.org. 6 Mei.
- [8]. Editor, 2021, Wajo terkini.com, 2 September.
- [9]. Mindess, A. and Young, J. F., 1981, Concrete.
- [10]. BSN, 2004, SNI-15-2049, Portland Semen.
- [11]. ASTM, 2021, C 150, Standar Specification for Portland Cement.
- [12]. BSN, 2008, SNI-2417-2008, Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles.
- [13]. ASTM, 2021, C 131, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- [14]. BSN, 2012, SNI ASTM C136, Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar.
- [15]. ASTM, 2018, C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- [16]. BSN, 1997, SNI-03-4428, Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir.
- [17]. ASTM, 2018, C1602, Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.
- [18]. Linggasari D., Sutandi A., Kushartamo, W., 2018, Media Komunikasi Teknik Sipil, 2(2), 541.

- [19]. ASTM, 2021, C 494, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
- [20]. BSN, 2015, SNI 03-2847, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- [21]. DPU RI, 1991, Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI).
- [22]. BSN, 1991, SNI 03-2417-199, Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.
- [23]. ASTM, 2018, C 143, Slump Test of Hydraulic Cement Concrete.
- [24]. BSN, 2008, SNI 1972, Tatacara Pengujian Slump.
- [25]. BSN, 1998, SNI 03-4807, Metode Pengujian untuk Menentukan Suhu Beton Segar Semen Portland.
- [26]. ACI Committee 318 (1996), "Building Code Requirements for Structural Concrete (318M-95) and Commentary (318RM-95)", American Concrete Institute.
- [27]. ASTM, 2018, C 172, Standard Practice for Sampling Fresh Concrete
- [28]. ASTM, 2018, C 31 *Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.*
- [29]. ASTM, 2018, C 39, *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.*
- [30]. BSN, 1991, SNI 03-2458, Metode Pengujian Dan Pengambilan Contoh Untuk Campuran Beton Segar.
- [31]. BSN, 1998, SNI 03-4810, Metode Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Di Lapangan.
- [32]. BSN, 1993, SNI 03-2834, Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- [33]. BSN, 1991, SNI 03-2492, Metode Pengambilan benda Uji beton Inti.
- [34]. BSN, 1994, SNI 03-3403, Metode Pengujian Kuat Tekan beton Inti

Profil Penulis

Dr. Widodo Kushartomo



Lulus Program Doktor dari Universitas Tarumanagara pada tahun 2013. Memperoleh sertifikat Insinyur Profesional Utama (I.P.U.) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII). Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1994 dalam bidang Teknologi Beton dengan jabatan akademik dosen Lektor Kepala. Menduduki Jabatan Ketua Program Studi Sejak Tahun 2018. Fokus penelitian dibidang Teknologi beton khususnya Reactive Powder Concrete

yang didanai oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Tarumanagara sejak mulai tahun 2013 hingga saat ini. Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM) dilakukan terkait hasil penelitian adalah Apalikasi Teknologi Beton pada Pembuatan Lapangan Bulu Tangkis di Kelurahan Cipete Tangerang dan pelayanan kepada masyarakat untuk pengujian mutu beton.

BAB 6

Konsep Beton Prategang pada Bangunan Gedung

Edison Leo

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

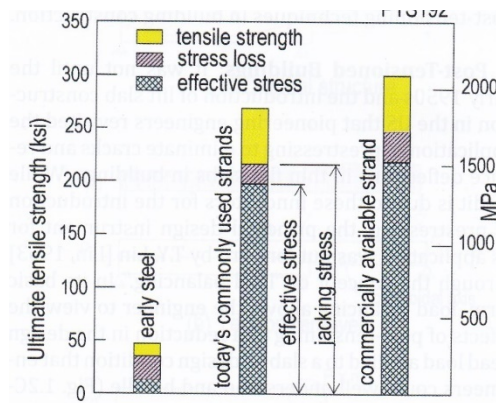
Abstrak

Teknologi beton prategang merupakan salah satu solusi yang ditawarkan dalam pembangunan sebuah gedung yang membutuhkan bentang balok struktur yang lebih panjang, dimensi penampang yang lebih optimal tetapi dengan kekuatan yang sama dengan balok beton konvensional. Tulisan ini menguraikan konsep beton prategang khususnya elemen balok post-tensioning pada bangunan gedung yaitu dari segi perencanaan, persyaratan dan detailing sistem prategang sehingga dapat dihasilkan suatu struktur prategang yang berkeselamatan dan berkelanjutan.

Kata kunci: beton prategang, balok post-tensioning, perencanaan, persyaratan, detailing

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Memasuki abad ke-21, dunia konstruksi yang terus berkembang selalu bertujuan untuk menghasilkan suatu sistem struktur yang berkeselamatan dan berkelanjutan. Tentunya sebuah sistem struktur yang semakin tinggi, semakin ringan dan semakin kuat selalu ada di dalam benak pemikiran para pihak pengembang dan arsitek. Tentunya ini menjadi tantangan tersendiri bagi insinyur perencana struktur untuk memenuhi hal tersebut. Teknologi beton prategang adalah satu metode yang menawarkan solusi akan tantangan-tantangan tersebut. Teknologi prategang sebenarnya telah dikenal pada akhir abad ke-19, tepatnya pada tahun 1872, seorang insinyur bernama P.H. Jackson dari San Fransisco mendaftarkan paten sistem post-tensioning. Dia melakukan sistem *post-tensioning* menggunakan *steel rods* yang dimasukkan ke dalam pasangan batu dan beton lengkung kemudian diberikan tegangan dengan mengencangkan *steel rods* tersebut [1]. Tetapi teknologi material baja pada jaman itu mutunya masih sangat rendah, sehingga aplikasi *post-tensioning* yang dilakukan masih tidak efektif karena gaya yang diberikan tidak bertahan cukup lama di dalam kabel baja yang ditarik. Dapat dilihat dari grafik dibawah ini perbandingan perkembangan material baja pada akhir tahun 1800-an dan jaman sekarang. Pada awal perkembangan material baja, gaya efektif yang didapatkan hanya sekitar 30% dari gaya penarikan awal, sehingga kehilangan gaya merupakan masalah yang belum bisa ditangani pada saat itu.



Gambar 6.1 Kekuatan baja dan kehilangan gaya prategang [2]

Selain P.H. Jackson juga dikenal peneliti-peneliti lain bernama CFW Doebling (1988) meneliti prategang kawat baja pada pelat, J Mandl (1896) meneliti tegangan prategang akibat beban. Tetapi dari penelitian mereka masih mengalami kendala yang sama dengan peneliti-peneliti sebelumnya [3]. Disaat ini masih sangat sedikit sekali hasil penelitian mengenai sistem *post-tensioning* itu sendiri. Barulah di tahun 1900an, mulai bermunculan penelitian-penelitian baru yang hasilnya lebih signifikan antara lain M.Koenen (1907) meneliti mengenai kehilangan gaya prategang akibat *elastic deformation*, G.R.Steiner (1908) meneliti kehilangan gaya prategang akibat penyusutan beton, E.Freysinnet (1940) meneliti kehilangan gaya prategang dan memperkenalkan sistem penjangkaran dengan baji. Masih banyak peneliti lainnya seperti : G.Magnal, Y.Ouyon, P.Abeles, F. Leonhardt dan T.Y.Lin [4]. T.Y.Lin memperkenalkan *load-balancing method* untuk mempermudah proses analisis pada suatu struktur prategang. Sekarang ini, teknologi prategang telah berkembang pesat dan mendunia. Teknologi prategang ini sudah diaplikasikan pada struktur gedung, stuktur bawah tanah, *tower*, jembatan, struktur *offshores* dan struktur lainnya. Perkembangan ini adalah akumulasi dari pengembangan teknologi material, teknologi kabel baja prategang dan pengetahuan dalam perhitungan kehilangan gaya prategang baik jangka pendek dan jangka panjang yang dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya.

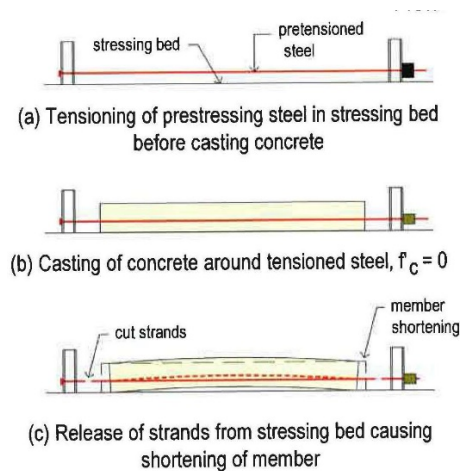
Dalam tulisan ini akan diuraikan secara singkat mengenai konsep beton prategang khususnya elemen balok beton prategang dari segi perencanaan, persyaratan dan detailing yang harus dipenuhi dengan menggunakan sistem *post-tensioning* berdasarkan studi literatur dan pengalaman penulis selama ini.

1.2 Isi/Pembahasan

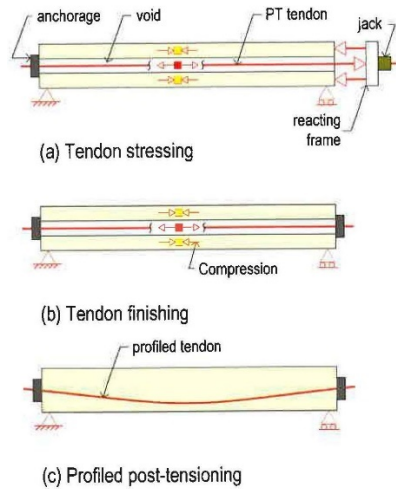
Konsep Dasar Beton Prategang

Definisi dari beton prategang menurut ACI 318-19M adalah beton yang diberikan suatu tegangan internal untuk mengimbangi tegangan eksternal pada beton akibat

beban-beban eksternal sedemikian rupa tegangan yang terjadi dapat direduksi tidak melebihi tegangan yang diijinkan [5]. Dimana tegangan internal awal ini disalurkan melalui tegangan tarik kabel baja prategang yang dapat berupa wire, strand dan bar. Ada 2 tipe prategang pada balok berdasarkan cara penarikan yaitu sistem pre-tensioning dan sistem post-tensioning. Sistem pre-tensioning adalah sistem prategang dimana gaya prategang diberikan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengecoran balok, sedangkan sistem post-tensioning adalah sistem prategang dimana gaya prategang diberikan setelah pengecoran balok dan telah mencapai mutu tertentu yang diisyaratkan. Untuk lebih jelasnya, skematik sistem prategang pre-tensioning dan sistem post-tensioning dapat dilihat pada Gambar 6.2 dan Gambar 6.3 berikut :



Gambar 6.2 Sistem prategang *pre-tensioning* [6]

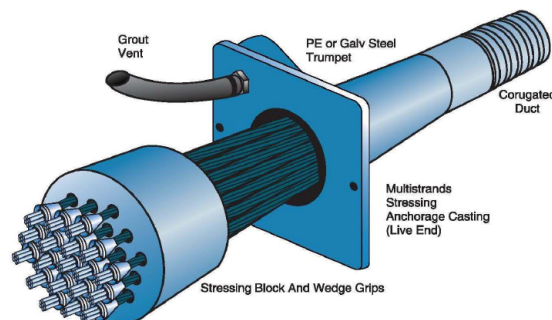


Gambar 6.3 Sistem prategang *post-tensioning* [6]

Umumnya sistem *pre-tensioning* dilakukan pengecorannya di precast-yard sedangkan pengecoran balok untuk sistem *post-tensioning* dapat dilakukan dimana saja baik di *precast yard* ataupun di lapangan (*on-site*). Karena pembahasan dalam tulisan ini mengenai balok prategang pada gedung, maka sistem prategang diasumsikan dalam tulisan ini menggunakan sistem prategang *post-tensioning*.

Komponen-komponen system prategang *post-tensioned*.

Adapun skematik sistem *post-tensioned* dapat dilihat pada Gambar 6.4 berikut :



Gambar 6.4 Skematik sistem *post-tensioned* (*Live Anchorage*).

Komponen-komponen sistem *post-tensioning* terdiri dari :

- *Stressing block* : komponen yang berfungsi mentransmisikan gaya tekan ke dalam penampang beton melalui bidang permukaan *anchorage casting*.
- *Wedge Grips* : komponen yang berfungsi mengunci kabel strand pada angkur supaya gaya tarik tertahan di *stressing block*.
- *Anchorage casting* : komponen yang dicor bersamaan dengan balok yang berfungsi mentransmisikan gaya tekan ke dalam beton melalui bidang kontak permukaan antara *anchorage casting* dan beton.
- *Trumpet* : bagian peralihan dari lubang *anchorage casting* ke lubang *duct* untuk jalur tendon /kabel *strand*.
- *Grout vent* : berfungsi sebagai lubang inlet dan outlet untuk injeksi material *grout* setelah pekerjaan *stressing* selesai dilaksanakan.
- *Corrugated Duct* : berfungsi sebagai jalur penempatan tendon/kabel *strand*. Trase dapat berbentuk parabola, *reversed* parabola, linier tergantung kebutuhan perencanaan.

Sistem angkur di atas seringkali disebut dengan sistem angkur hidup (*live-end anchorage*) dan pada angkur hidup kita dapat melakukan penarikan kabel. Sedangkan sistem angkur mati (*dead-end anchorage*) biasanya dibentuk dari *looping bare-strand* yang ditumpu dengan tulangan baja biasa ataupun pelat dan posisinya tertanam pada beton sehingga tidak dapat dilakukan penarikan (Gambar 6.5).



Gambar 6.5 Skematik sistem *post-tensioned* (*Dead Anchorage*).

Tentunya dalam perencanaan suatu balok prategang harus diperhatikan dimensi-dimensi dari masing-masing komponen tersebut di atas dalam penempatannya

pada elemen balok itu sendiri. Tentunya harus diatur sedemikian rupa tidak bertabrakan satu sama lain ataupun dengan komponen lain seperti penulangan non-prestressing pada balok dan kolom. Selain itu pemilihan tipe angkur yang dipasang harus optimal sedemikian rupa supaya setiap lubang pada stressing block terisi penuh oleh kabel strand.

Perencanaan dan Persyaratan Balok *Post-Tensioning*

Salah satu metode analisis yang umum digunakan untuk balok adalah menggunakan *simple frame method* (SFM) [6]. Adapun iterasi momen dianalisis secara freebody dengan mengikutsertakan kekakuan kolom baik di atas maupun dibawah balok yang berhubungan dengan balok yang dianalisis. Adapun langkah-langkah analisis beserta persyaratannya sebagai berikut :

a. Geometri dan Sistem Struktur

Langkah pertama adalah menentukan dimensi balok itu sendiri. Untuk balok prategang, tinggi balok minimum berkisar antara $1/18 L$ sampai dengan $1/22 L$. Kemudian perlu dicek adalah kondisi batas tumpuan balok tersebut. Apakah ada kolom atau tidak yang menumpu ke balok tersebut, dimensi dan tingginya. Sedangkan penampang balok dalam analisis menggunakan penampang dengan lebar flange efektif. Dalam ACI 318-19M [5], nilai dari lebar efektif harus memenuhi persyaratan-persyaratan berikut :

- kali tebal flange pada setiap sisi pinggir balok.
- $1/4$ panjang span balok
- Tributary balok

Apabila sistem slab menggunakan sistem *precast*, maka penampang balok dianalisis seperti balok persegi tanpa memperhitungkan lebar efektif di atas. Walaupun ada sistem fixity antara slab precast dengan balok yang ditumpu, tetapi konektifitas antara balok dan slab tidak sekuat seperti pada pengecoran bersamaan. Sehingga analisis penampang persegi dapat memberikan hasil yang

lebih konservatif.

b. Menentukan Properti Penampang Balok

Langkah kedua adalah menentukan properti penampang yang meliputi : luas penampang (A), modulus penampang baik terhadap serat atas (S_{top}) maupun serat bawah (S_{bot}) serta jarak titik berat penampang terhadap serat atas (y_t) dan serat bawah (y_b)

c. Menentukan Properti Material

Langkah ketiga adalah menentukan mutu material yang digunakan antara lain : beton, kabel prategang dan tulangan non-prategang yang digunakan. Untuk beton, mutu minimal (f'_c) yang disyaratkan dalam ACI 318-11 (Ch.18.14.4.3) adalah sebesar 28 MPa untuk *multistrand* tendon [7]. Untuk kabel strand bisa ditentukan grade material, diameter kabel serta nilai koefisien friksi dan wobble untuk keperluan perhitungan nantinya. Sedangkan tulangan non-prategang ditentukan mutu material bajanya untuk perhitungan pada kebutuhan minimal tulangan yang diperlukan dan pada kondisi ultimit.

d. Menentukan Beban

Langkah keempat adalah menentukan besarnya beban yang bekerja pada balok. Ada 3 macam beban umum yang diperhitungkan yaitu beban sendiri (balok dan slab), beban super imposed dead load dan beban hidup. Sangat penting ditentukan apakah beban tersebut bekerja pada kondisi *transfer* atau *service* pada saat *stressing* selesai dilaksanakan. Kondisi *transfer* adalah kondisi sesaat setelah *stressing* selesai dilaksanakan sedangkan kondisi *service* adalah kondisi layan ketika semua beban bekerja secara penuh. Pada kondisi transfer, kabel prategang hanya baru mengalami *short-term* loss saja, sedangkan pada kondisi *service*, diasumsikan kabel prategang telah mengalami kehilangan gaya prategang total (*short-term losses*+*long-term losses*). Untuk mendapatkan nilai maksimal desain akibat beban khususnya beban hidup perlu dilakukan pola

papan catur (*skip patterned*) dalam menentukan momen kritikal baik di lapangan maupun di tumpuan pada daerah balok.

e. Parameter Desain

Langkah kelima adalah memilih referensi peraturan yang digunakan seperti ACI, EuroCode, SNI dan peraturan lainnya. Tentunya didalam peraturan peraturan tersebut diatur persyaratan parameter desain yang harus dipenuhi, antara lain :

- Tegangan ijin (*allowable stress*)

Tegangan ijin kondisi transfer untuk tekan dibatasi tidak melebihi $0.60 f'c$ dan tarik dibatasi tidak melebihi $0.25 \sqrt{f'c}$. Sedangkan pada kondisi service untuk tekan dibatasi tidak melebihi $0.45 f'c$ (*sustained load*) / $0.60 f'c$ (*total load*) dan tarik dibatasi tidak melebihi $0.50 \sqrt{f'c}$ [7].

- Selimut beton untuk tulangan dan tendon.

Untuk selimut beton selain dibatasi dalam peraturan tentunya harus disesuaikan kembali dengan dimensi dari material prategangnya sendiri serta kompatibilitas masing-masing komponen elemen balok itu sendiri.

- Batasan lebar *crack*

Dalam ACI 318-11, ada 3 kondisi desain yaitu kelas U (*uncracked*), kelas T (*transition*) dan kelas C (*cracked*). Untuk masing-masing kondisi diatur dalam Chapter 18.3.3 dan 18.4.4 [7].

- Lendutan ijin

Batas lendutan ijin ditetapkan sebesar $L/240$ [7].

f. Menentukan Gaya Dalam Akibat Beban Mati dan Beban Hidup

Langkah ke-enam adalah menentukan nilai gaya dalam akibat masing-masing beban yang ditentukan dalam langkah ke-empat pada masing-masing span.

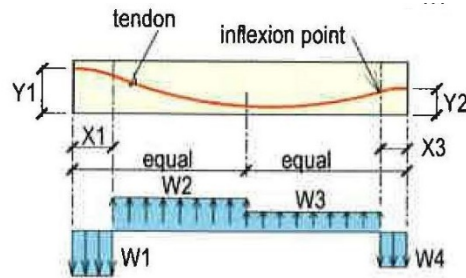
g. Menentukan Parameter Post-Tensioning

Langkah ke-tujuh adalah menentukan parameter-parameter tendon yang digunakan :

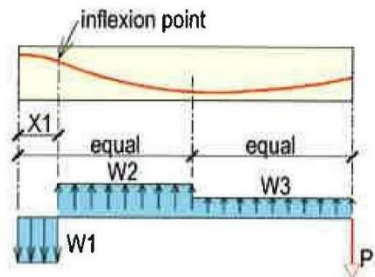
- Tipe tendon (*bonded* atau *unbonded*)
- Trase tendon (*simple parabola* atau *reversed parabola*)
- Penentuan tipe ankur tendon (*live-dead anchorage* atau *live-live anchorage*)

Dari pengalaman penulis selama ini, untuk tendon-tendon dengan bentang lebih kecil 35 meter, umumnya dilakukan dengan kombinasi ankur hidup-mati, sedangkan untuk bentang 35 meter sampai dengan 70 meter bisa dilakukan penarikan ankur hidup. Apabila lebih dari 70 meter, harus dilakukan penambahan ankur di titik-titik intermediate tendon. Tetapi parameter-parameter ini tetap harus memperhatikan *curvature* tendon serta jumlah span baloknya, karena makin besar perbedaan *curvature* tendon dan jumlah span, maka kehilangan gaya prategang di sepanjang bentang akan semakin besar.

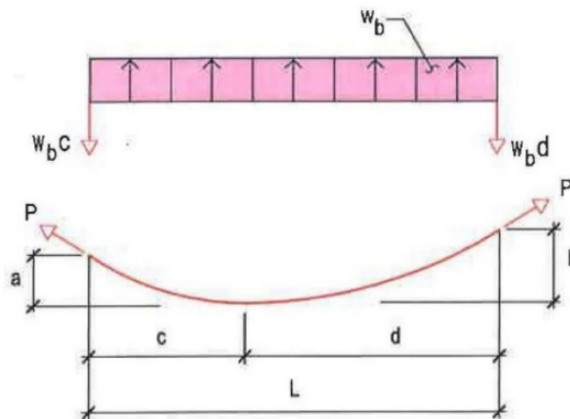
Umumnya untuk balok-balok dengan momen negatif dan positif, lebih baik menggunakan trase *reversed* parabola (Gambar 6.6) sedangkan untuk balok yang menumpu dibalok lainnya biasanya menggunakan trase *simple* parabola (Gambar 6.7).



(a) Reversed parabola with two inflexion points



Gambar 6.6 Trase Tendon *reversed* parabola.



Gambar 6.7 Trase Tendon *reversed* parabola.

Setelah menentukan trase tendon, maka dapat dicoba dengan iterasi gaya tendon dimulai dari 60%DL yang bekerja sampai mendapatkan gaya prategang yang memenuhi syarat yang ditentukan dalam langkah-5.

Dengan mendapatkan gaya prategang yang tetap maka dapat ditentukan jumlah strand yang diperlukan. Kemudian dapat dihitung kembali gaya efektif yang bisa dicapai oleh konfigurasi tendon tersebut dengan curvature tendon yang telah ditetapkan.

h. Pengecekan terhadap *Serviceability* dan Kondisi *Initial*

Dalam ACI 318-11 [7], untuk kombinasi beban yang disyaratkan untuk kondisi layan ada 2 kombinasi yakni :

Kondisi *total load* : $1.0 \text{ DL} + 1.0 \text{ LL} + 1.0 \text{ PTe}$

Kondisi *sustained load* : $1.0 \text{ DL} + 0.3 \text{ LL} + 1.0 \text{ PTe}$

Sedangkan untuk kondisi intial bisa dicek dengan kombinasi :

Kondisi *initial* : $1.0 \text{ DL} + 1.15 \text{ PTe}$

PTe adalah gaya prategang efektif dan 1.15 PTe adalah gaya prategang transfer, nilai konstanta 1.15 adalah nilai asumsi pendekatan awal. Apabila setelah didapatkan nilai yang tepat untuk besaran prategang, maka nilai kehilangan prategang *short-term* dan *long-term* [8] bisa dihitung untuk mendapatkan nilai pendekatan yang lebih akurat.

Kehilangan gaya prategang short-term diakibatkan oleh :

- Friksi
- *Elastic shortening*
- *Anchorage seating* akibat *draw-in*

Sedangkan kehilangan gaya prategang long-term umumnya disebabkan oleh sifat material itu sendiri dan tergantung pada fungsi waktu (*time dependent*) antara lain :

- *Shrinkage* pada beton
- *Creep* pada beton
- *Steel Relaxation* pada kabel strand.

i. Pengecekan tegangan

Dari gaya dalam dari langkah ke-6 dan 7 dimasukkan ke kombinasi beban di

langkah ke 8, maka akan didapatkan nilai gaya dalam kritikal pada masing-masing titik pada balok. Tegangan pada serat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kondisi } initial : \sigma = -\frac{P}{A} \mp \frac{M_D}{S_b^t}$$

$$\text{Kondisi } service : \sigma = -\frac{P}{A} \mp \frac{M_D + M_{SDL} + M_{LL}}{S_b^t}$$

$$\text{dengan} : S_b^t = \frac{I}{y_b^t}$$

j. Pengecekan tegangan

Setelah memenuhi kriteria serviceability, maka akan dicek dengan kondisi ultimit. Kombinasi beban ultimit menurut ACI 318-11 [7] adalah :

Kombinasi 1 : 1.2 DL + 1.6 LL + 1.0 HYP

Kombinasi 2 : 1.4 DL + 1.0 HYP

Dimana HYP adalah Momen sekunder (hiperstatik) akibat load balancing tendon yang ditetapkan pada langkah-7. Secara persamaan dapat dituliskan menjadi : $M_{hyp} = M_{PT} - P \cdot e(x)$ dimana $P \cdot e(x)$ adalah momen primer akibat eksentrisitas tendon [9]. Dengan kombinasi beban diatas, maka momen dan gaya lintang ultimit dapat ditentukan untuk pengecekan secara limit state.

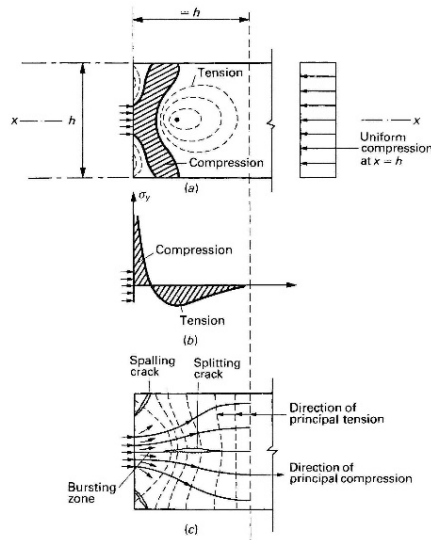
k. Persyaratan Lain

Uraian konsep perencanaan balok prategang di atas hanyalah persyaratan umum tanpa memperhatikan perilaku sistem struktur bangunan khusus seperti SRPMK. Apabila ada persyaratana tambahan dari perilaku struktur bangunan khusus, maka harus dicek kembali dengan persyaratan tambahan untuk memenuhi perilaku khusus sistem bangunan tersebut.

I. Masalah-masalah Detailing

Dalam uraian berikut ditampilkan beberapa kasus detailing yang umum dijumpai dalam konstruksi beton prategang di lapangan :

Gaya prategang dalam sistem *post-tensioning* ditransferkan melalui gaya tarik tendon ke dalam beton melalui *anchorage casting* sebagaimana yang ditunjukkan dalam sub-bab 6.3. Pada daerah beton dibelakang anchorage casting ini terjadi tegangan tekan yang sangat besar sehingga pada arah transversalnya akan timbul tegangan tarik yang sangat besar juga [10]. Ini dapat dilihat dalam ilustrasi berikut ini :



Gambar 6.9 End Zone

Compression stress transfer (b) Lateral stress distribution (c) Stress trajectories

Pada Gambar 6.9 hanya ditampilkan model tegangan dengan single tendon, tentunya dengan multi tendon, maka tegangan yang ditimbulkan akan saling berakumulasi dan ber-*superimposed*, sehingga berpotensi dalam menyebabkan kegagalan pada saat pemberian gaya prategang. Salah satu solusi untuk menangani masalah ini adalah memberikan tulangan *confinement* di daerah *end anchorage zone* tersebut untuk memikul tegangan tarik yang terjadi pada beton. Tulangan *confinement* tersebut dapat berupa tulangan sengkang

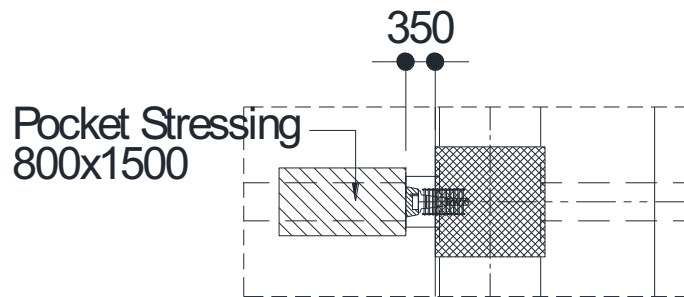
atau spiral dengan ukuran yang lebih besar sedikit dibandingkan ukuran anchorage casting pada umumnya ditempatkan pada daerah $0.2y_0$ sampai dengan $2 y_0$ (dimana y_0 adalah ukuran dimensi dari *anchorage casting*). Penulangan *confinement* pada daerah *end zone* ini juga sering disebut dengan *bursting steel reinforcement* seperti tampak pada Gambar 6.10. Untuk analisa perhitungan bisa dilakukan dengan teori *strut and tie* atau dengan menggunakan rumus-rumus empirikal didalam peraturan seperti ACI, British Standard dan lain-lain.



Gambar 6.10 Tulangan *Confinement* pada End Zone

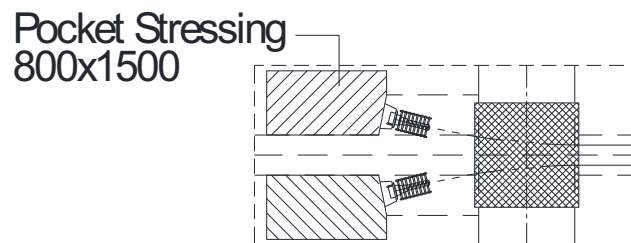
Selain penulangan pada daerah *end zone anchorage*, dalam pelaksanaan aktual dilapangan, maka detailing dari suatu desain balok prategang sangat penting dilakukan. Seringkali gambar perencanaan dari perencana hanya bersifat umum, padahal sebenarnya hal-hal detailing ini harusnya direncanakan sebelumnya, sehingga saat pelaksanaan tidak menemui kendala.

Salah satu contoh yang sering menjadi kendala adalah penempatan angkur hidup di lapangan. Seringkali ditemukan posisi angkur hidup ditempatkan pada kolom, padahal yang kita ketahui pada umumnya tulangan pada pertemuan balok kolom sangat rapat tulangannya, sehingga posisi angkur hidup tidak dapat ditempatkan di dalam kolom tersebut.



Gambar 6.11 Posisi Angkur Hidup Tunggal

Dari Gambar 6.11 di atas, terlihat desain menggunakan tendon tunggal, sehingga posisi angkurnya harus dimundurkan dari dalam kolom sejauh 35 cm untuk mengakomodasi penempatan angkur hidup supaya tidak bertabrakan dengan tulangan kolom struktur. Tetapi desain tersebut bermasalah secara pelaksanaan, karena menggunakan tendon tunggal menyebabkan posisi balok di belakang kolom tersebut terpaksa tidak bisa dikerjakan sebelum balok prategang tersebut lebih dahulu distressing. Apabila tidak ada balok di belakang kolom tersebut, seharusnya desain balok prategang ini tidak menjadi masalah.



Gambar 6.12 Posisi Angkur Hidup Ganda

Apabila desain tendon seperti Gambar 6.11 di atas dirubah menjadi 2 tendon seperti tampak pada Gambar 6.12, maka proses penarikan tidak akan mengganggu posisi balok di belakang kolom. Tentunya pendetailan seperti ini sangat penting direncanakan di awal, supaya pekerjaan di lapangan tidak terhambat.

1.3 Penutup

Perencanaan balok prategang prategang pada gedung harus dilakukan memenuhi syarat perencanaan yang diisyaratkan dalam peraturan baik dari segi kekuatan maupun kekakuan. Pemilihan trase dan konfigurasi tendon yang tepat supaya tegangan pada balok prategang tidak mengalami *overstress* pada saat kondisi transfer dan kondisi service. Selain persyaratan teknis perlu juga diperhatikan detailing komponen prategang terhadap komponen-komponen struktur lainnya supaya proses pelaksanaan di lapangan tidak mengalami masalah.

Referensi

- [1] Billington, D.P. , 2004, *Historical Perspective on Prestressed Concrete*, *PCI Journal*, Jan-Feb 2004, pp 14-30.
- [2] Aalami, B.O., 2007, *Critical Milestones in Development of Post-Tensioned Buildings*, ACI Concrete International, October 2007, pp 52-52.
- [3] Lin, T.Y., and Burns, N.H., 1981, *Design of Prestressed Concrete Structures 3rd Ed*, John Wiley & Sons, Newyork.
- [4] Lin, T.Y., 1963, *Load-Balancing Method for Design and Analysis of Prestressed Concrete Structures*, ACI Journal Proceedings, V.60, No.6.
- [5] American Concrete Institute, 2019, *ACI 318M-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, ACI, Michigan.
- [6] Aalami, B.O., 2014, *Post-Tensioned Buildings Design and Construction*, International Ed, ADAPT Corporation, China.
- [7] American Concrete Institute, 2011, *ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, ACI, Michigan.
- [8] Prestressed Concrete Institute, 2004, *PCI Design Handbook*, 6th ed, PCI, United States.
- [9] Nawy, E.G., 2009, *Prestressed Concrete A Fundamental Approach*, 5th ed, Prentince Hall, Minnesota.
- [10] Naaman, A.E., 2004, *Prestressed Concrete Analysis and Design*, 2nd ed, Techno Press 3000, Michigan.

Profil Penulis

Edison Leo, S.T., M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara. Memperoleh sertifikat Ahli Jembatan Madya dari PLPJK GATAKI. Setelah menyelesaikan studi S1 pada tahun 2001, penulis aktif sebagai praktisi pada bidang perencanaan struktur jembatan dan prategang hingga saat ini di PT Dinamik Struktural Sistem sebagai Design dan Marketing Manager. Sejak tahun 2015, penulis diangkat menjadi dosen tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil

Universitas Tarumagara dalam bidang Struktur & Konstruksi. Saat ini sedang menyelesaikan studi Doktor Teknik Sipil. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi analisa struktur, simulasi numerik, rekayasa struktur dan struktur beton prategang.

BAB 7

Konsep Perencanaan Konstruksi Baja Bangunan Gedung

Dewi Linggasari

Vincent

Kharistio Xavira

3Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Struktur baja merupakan salah satu elemen utama yang perlu diperhatikan dalam pembangunan bangunan gedung pada masa kini. Komponen struktur yang benar dapat mendukung terjadinya perencanaan bangunan yang berkeselamatan dan berkelanjutan. Adapun komponen yang diperhatikan dalam struktur baja adalah batang tarik, batang tekan, balok lentur, serta sambungan. Pengetahuan mengenai komponen-komponen ini diharapkan dapat membantu memahami fungsi komponen struktural lebih lanjut, seiring dengan perencanaan sesuai dengan aturan (peraturan) yang berlaku.

Kata kunci: Struktur baja, peraturan, pembebanan

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Perkembangan konstruksi saat ini telah berkembang pesat dengan banyaknya penelitian dan dipakainya berbagai bahan material konstruksi, berupa baja, beton dan kayu. Material konstruksi merupakan yang awal dalam suatu perencanaan, dengan mempertimbangkan dasar dari kekuatan (*tegangan*), kekakuan (*deformasi*) dan daktilitas (perilaku keruntuhan).

Material baja memiliki sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan beton dan kayu. Merencanakan konstruksi dengan menggunakan material baja secara optimal akan menghasilkan sistem pondasi yang lebih ringan dibandingkan konstruksi beton bertulang. Selain itu, bangunan baja menguntungkan dalam konstruksi bangunan tahan gempa, karena sifatnya ringan dan mempunyai sifat material yang daktil dan berkekuatan tinggi.

Baja merupakan bahan material konstruksi yang ketersediaannya sepenuhnya dari hasil industri. Agar perencanaan struktur baja bekerja dengan lancar, maka diperlukan informasi yang berisi tentang spesifikasi produk hasil industri dan ketersediaan di pasar. Ketersediaan baja di pasar meningkat disebabkan oleh pesatnya permintaan baja. Tidak heran jika kapasitas produksi baja di suatu negara dijadikan indikasi kemajuan ekonomi.

Pembuatan baja relatif kompleks dibandingkan material lain. Pada dasarnya baja adalah logam *alloy* (campuran) antara besi dan karbon yang menyatu akibat peleburan pada suhu tinggi dengan kandungan karbon mencapai 1,7% atau 85 kali lipat dibanding kandungan karbon pada besi tempa. [1]

Pengolahan baja cair dalam tunggu peleburan dipengaruhi komposisi kimianya sedangkan pengolahan baja padat (panas) dengan cara penggilingan (*rol*) mempengaruhi tingkat ketepatan dari bentuk profil baja.

Pembentukan profil baja diatur oleh peraturan (*peraturan*) dengan toleransi ijin

tertentu. Hasil profil baja yang dibentuk dengan penggilingan disebut profil *hot-rolled* atau profil canai panas yang berbentuk I, WF, channel atau C, siku, pelat datar dan lain-lain.

1.2 Isi/Pembahasan

Prinsip Dasar pada Konstruksi Baja

Filosofi Konsep untuk Konstruksi Baja

Perhitungan desain struktur harus mempunyai nilai yang dikaitkan dengan angka-angka numerik dan rumus-rumus yang implementasinya harus teliti dan akurat. Contohnya seperti sambungan baut pada baja, ukuran baut harus dalam milimeter (mm) agar dapat hasil dan konstruksi yang baik. Hal-hal tersebut dapat dikatakan bahwa pekerjaan di bidang teknik adalah eksak, kaku, perlu ketelitian tinggi (presisi) yang konsisten serta tidak menerima toleransi kesalahan. Kesan “eksak” dan “pasti” dalam hal desain baja ini sebenarnya kurang tepat. Perhitungan dan perencanaan desain baja harus sesuai peraturan perencanaan dalam hal ini biasa disebut SNI sesuai standar perencanaan. Meskipun begitu, tidak ada yang “pasti” dalam hal mendesain. Kalaupun ternyata dapat dianggap “pasti”, itupun tidak mutlak, relatif terbatas. Masih bisa terjadi sesuatu di luar rencana. Jadi yang dapat dilakukan adalah dengan memperkecil risiko. Sebab itu mengapa filosofi desain struktur baja memerlukan pendekatan berbasis statistik dan probabilitas, yang secara khusus disebut *Load Resistance Factor Design* atau LRFD. [1]

Dengan demikian, perencana perlu mengetahui aturan-aturan apa saja yang perlu dibaca dan dipahami untuk memastikan bahwa rancangannya telah memenuhi standar mutu tertentu. Karena peraturan pada dasarnya adalah suatu kesepakatan para insinyur, dan juga yang namanya bencana adalah suatu yang tidak terduga, maka materi peraturan setiap beberapa tahun sekali selalu diperbarui, yaitu agar tetap relevan dengan perkembangan jaman. Jadi dalam memakai suatu peraturan maka tahun terbitnya perlu dilihat juga. Untuk peraturan yang berlaku di Indonesia

saat ini , yaitu SNI 1729 dan yang terbaru adalah keluaran tahun 2020. Sebelumnya yang dipakai adalah keluaran tahun 2015.

Peraturan SNI Struktur Baja mengadopsi penuh dari peraturan America, yaitu *American Society of Civil Engineers* (ASCE) dan *American Institute of Steel Construction* (AISC). ASCE adalah peraturan untuk beban rencana pada perencanaan struktur, termasuk faktor beban dan kombinasi untuk mendapatkan kondisi batas (*ultimate*). Seandainya struktur dapat didesain kuat terhadap ketentuan ini, maka saat terjadi bencana (dalam batas rencana), akan aman kondisinya. AISC adalah perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung. yaitu mampu bekerja optimal pada kondisi beban kerja rencana. Syarat yang diperlukan adalah kuat (*strength*) dan kaku (*stiffness*), sedangkan persyaratan daktil (*ductility*) masih terbatas lokal setempat saja, seperti terbentuknya penampang plastis pada profil kompak, atau distribusi gaya secara inelastis pada sistem sambungan.

Beban-beban yang harus dihitung dalam merencanakan suatu bangunan:

- Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati terdiri dari berat semua bahan material konstruksi yang terdapat pada bangunan tersebut, tembok, lantai, atap, anak tangga, partisi pemisah yang permanen, atau apa-apa yang mendukung kepentingan arsitektur bangunan dan struktur itu sendiri. Untuk kepentingan perencanaan maka beban mati dapat dibagi menjadi elemen struktur dan non-struktur.

- Beban hidup (*Live Load*)

Besarnya beban hidup untuk struktur gedung dan struktur jembatan akan berbeda, termasuk faktor keamanan yang dipilih. Beban hidup untuk struktur gedung akan lebih terprediksi, jika dibanding jembatan.

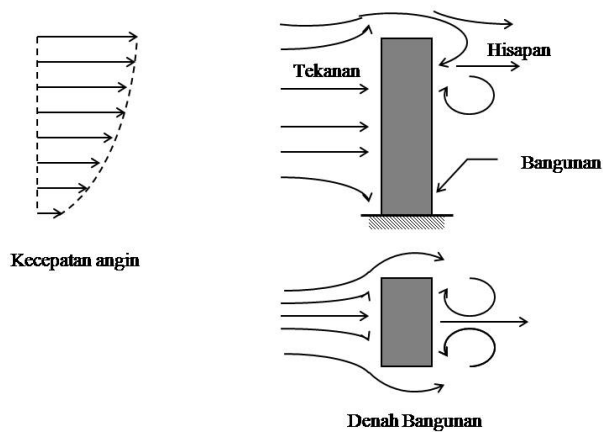
Tabel 7.1 **Beban desain minimum sesuai dengan fungsi bangunan [2]**

Hunian atau penggunaan	Merata, L_v psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang pribadi dan koridornya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor ruang publik					
Atap					
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Awning dan kanopi					
Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penutup layar penutup	5 (0,24) berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bengkel		-	-	2000 (8,90)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan				300 (1,33)	

Dapat dilihat pada Tabel 7.1 bahwa bangunan yang sangat penting melibatkan banyak manusia didesain lebih besar. Contoh untuk ruang *ballroom* harus didesain sebesar 4.79 kN/m².

- Beban angin (*Wind Load*)

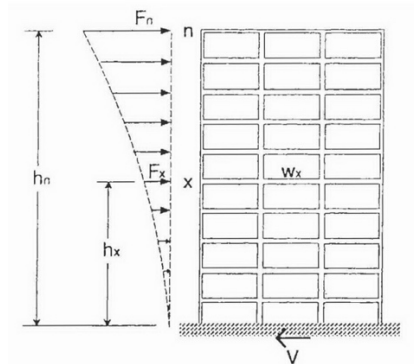
Dalam bangunan struktur yang lebih tinggi, angin merupakan massa udara yang kebanyakan bergerak secara horizontal dari area bertekanan udara tinggi ke area bertekanan udara rendah sehingga pada bangunan tinggi, tekanan tersebut dapat membuat gedung bergoyang apabila terjadi angin yang sangat kencang. Perhitungan desain beban angin sudah diatur berdasarkan ASCE pasal 26 [3] diadopsi oleh Indonesia dalam SNI 1727:2020 pasal 26. [2]



Gambar 7.1. Beban Angin [4]

- Beban Gempa (*Earthquake load*)

Indonesia merupakan daerah rawan gempa yang berada di Cincin Api Pasifik sehingga desain bangunan-bangunan yang ada di Indonesia harus berdasarkan *peraturan* perencanaan gempa yang diatur dalam SNI 1726:2019 yang terbaru [5]. Kerusakan bangunan akibat gempa yang terjadi sangat merugikan banyak pihak terutama orang-orang yang kehilangan tempat tinggal. Gempa yang terjadi di Indonesia terus berkembang dari yang terjadi gempa kecil hingga gempa besar yang terjadi di Aceh pada 26 Desember 2004. Sehingga peraturan perencanaan gempa juga diperbaharui terus sesuai desain rencana gempa. Di perencanaan 2019, Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %. [5]



Gambar 7.2. Beban Gempa [4]

Perencanaan struktur baja terdapat 2 ketentuan, yaitu Ketentuan standar LRFD (*Load Resistance Factor Design*) dan ketentuan standar ASD (*Allowable Stress Design*). Perencanaan struktur baja biasanya dilihat dari sisi kekuatan batas, maka LRFD yang sering digunakan atau dalam bahasa Indonesia Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK). Perencanaan LRFD dianggap memenuhi syarat jika kuat perlu, R_u lebih kecil dari kuat rencana, R_n dengan faktor tahanan yang nilainya bervariasi tergantung perilaku aksi komponen yang ditinjau atau biasa ditulis dengan persamaan berikut:

$$R_u \leq \phi R_n$$

R_u adalah nilai maksimum dari berbagai kombinasi beban, artinya kapasitas penampang baja dari berbagai berbagai tahanan, contohnya seperti tarik, tekan, atau lentur, lebih kuat dari nilai beban luarnya. Nilai ϕ pada baja tergantung tahanan yang dihitung.

Tabel 7.2 Nilai tahanan berdasarkan peraturan AISC [6]

Komponen Struktur	Faktor Tahanan (ϕ)
Lentur	0.90
Tarik aksial <ul style="list-style-type: none"> - Tarik leleh - Tarik fraktur 	0.90 0.75
Geser	0.90
Sambungan baut <ul style="list-style-type: none"> - Baut geser - Baut tarik - Kombinasi geser dan tarik - Baut tumpu 	0.75 0.75 0.75 0.75 0.75
Sambungan Las <ul style="list-style-type: none"> - Las tumpul penetrasi penuh - Las sudut/tumpul penetrasi Sebagian - Las pengisi 	0.90 0.75 0.75

Batang Tarik

Baja memiliki kemampuan untuk menerima gaya aksial tekan dan tarik, Tetapi baja lebih kuat untuk menerima gaya tarik. Untuk gaya tekan baja kurang mampu karena profil baja mempunyai bentuk tipis. Elemen struktur baja yang terlihat "relatif langsing" dibanding elemen lainnya dapat dipastikan akan berfungsi sebagai batang tarik. Karena mutu material baja relatif tinggi, dimensi batang tariknya bisa sangat langsing. Secara teoritis, kondisi kelangsingan hanya diperhitungkan untuk elemen tekan, untuk mengantisipasi tekuk. Tetapi kelangsingan untuk batang tarik disarankan berdasarkan pengalaman praktis segi ekonomis, kemudahan pembuatan, dan risiko rusak yang kecil selama konstruksi maka

$$\frac{L}{r} \leq 300$$

Nilai r adalah jari-jari inersia penampang. Selain itu, elemen yang sangat langsing biasanya cenderung bergoyang atau bergetar, dan itu membuat tidak nyaman bagi

penghuninya. Saran tidak berlaku jika batang tariknya struktur penggantung (*hanger*) atau jika memakai penampang pejal (*rod*).

Contoh pada batang tarik, yaitu pada struktur gantung, jembatan rangka batang (sebagian ada yang tarik), ikatan angin, dll. Pada batang tarik, Kondisi pembebanan menyebabkan batangnya selalu mengalami prategang. Itu akan meningkatkan kekakuannya, fenomena seperti yang terjadi pada senar gitar yang dikencangkan. Oleh sebab itu pada struktur gantung, jembatan rangka batang, ikatan angin dapat bekerja efektif sebagai batang tarik, dan sekaligus mempertahankan geometrinya untuk tetap lurus.



Gambar 7.3. Rangka Batang struktur jembatan [11]

Sambungan pada rangka batang biasanya berupa lubang-lubang yang diisi baut. Baut tersebut berada di ujung-ujung sambungan pada rangka batang untuk menyambungkan antar rangka. Untuk itu sebaiknya perencanaan batang tarik dan sambungannya harus bersamaan, sebab saling berhubungan.

- Reduksi luas penampang

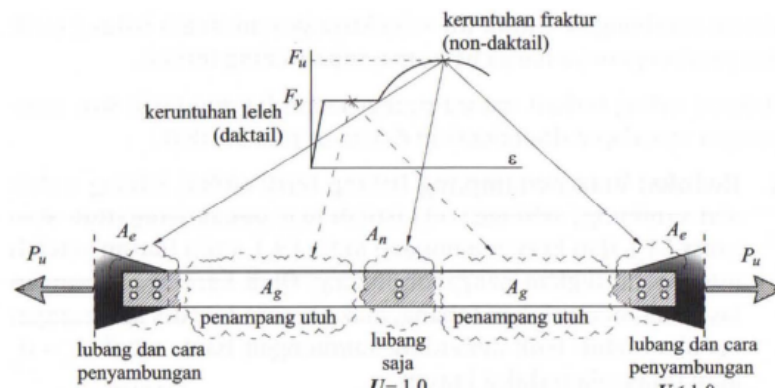
Penampang diberi lubang membuat luas penampang menjadi berkurang. sehingga ada istilah luas penampang utuh atau *gross* (A_g) dan luas penampang netto (A_n), yaitu luasan setelah dikurangi lubang. Karena sambungan las tidak memerlukan lubang, maka secara teoritis sambungan las akan lebih baik

dibanding sambungan baut, sebab $A_u = A_s$ atau tidak ada reduksi luasan.

- Efektivitas Sambungan

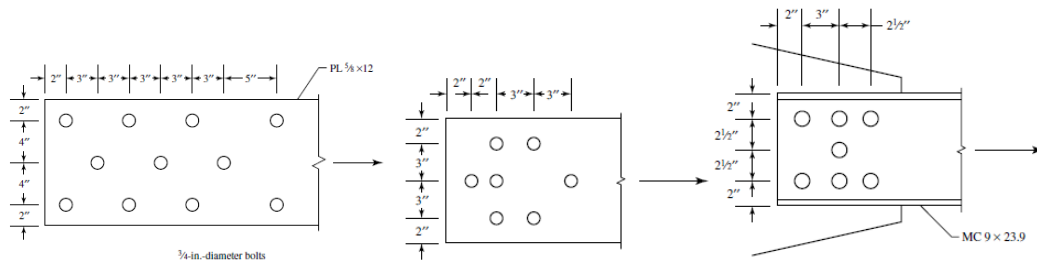
Agar gaya dapat disalurkan maka elemen batang harus disambung ke bagian elemen yang lain. Untuk kemudahan pelaksanaan atau keterbatasan alat sambungnya, maka bidang permukaan penampang batang tarik tersebut tidak semuanya tersambung secara sempurna. Sehingga menimbulkan aliran tegangan yang tidak merata yang disebut efek *shear lag* yang harus diperhitungkan[4] .

Ketentuan diatas berlaku pada batang tarik. Konsep perencanaan batang tarik dapat digambarkan sebagai berikut:

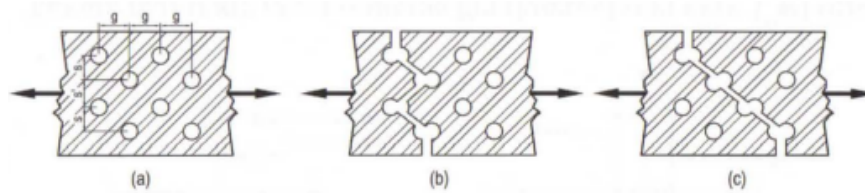


Gambar 7.4. Konsep perencanaan batang Tarik [4]

Diameter lubang baut relatif kecil dibanding dimensi penampang, tetapi jika jumlahnya banyak dan berdekatan tentu berpengaruh. Lubang-lubang segaris, tegak lurus arah gaya, maka A_n adalah luas penampang terkecil pada potongan dengan lubang terbanyak. Pada kasus lain, jika jumlah baut-bautnya banyak, penempatan lubang dapat memakai pola *staggered* atau zigzag. Agar dengan luasan sama, dapat memuat lebih banyak baut.



Gambar 7.5. Contoh pelubangan staggered untuk baut [1]

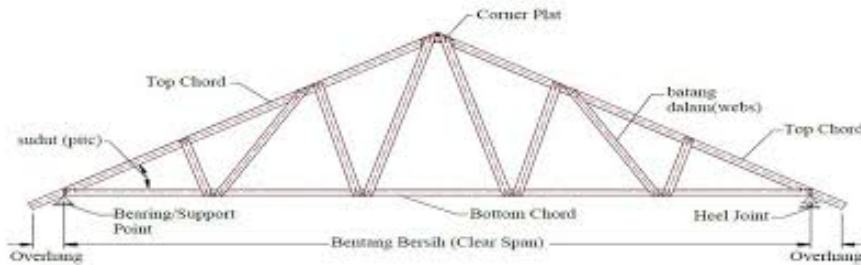


Gambar 7.6. Contoh keruntukan pada lubang *staggered* [4]

Pola keruntuhan yang harus dihitung dalam perencanaan batang tarik ada 3, yaitu:

- Pola keruntuhan leleh $\rightarrow \phi P_n = 0.9 \times A_g \times f_y$
- Pola keruntuhan fraktur $\rightarrow \phi P_n = 0.75 \times A_e \times f_u$
- Geser blok, yaitu pola kegagalan geser pada baut

Perencanaan batang tarik baja harus memenuhi ketiga kondisi tersebut yaitu kapasitas profil dan bautnya. Meskipun batang tarik bisa dibuat sekecil mungkin dan optimal, tetapi kekuatannya ditentukan juga oleh sistem sambungan yang digunakan. Jika dipakai sambungan baut mutu tinggi, ada bagian dari batang tarik tersebut yang dilubangi dan itu mempengaruhi kekuatan batang tarik. Pengaruh adanya lubang pada batang tarik masuk pada parameter luas penampang netto (A_n). Selain itu cara batang tarik disambung, apakah semua elemen dapat tersambung baik atau hanya sebagian saja, dapat menyebabkan efek shear lag yang mengurangi kapasitasnya. Pengaruhnya diperhitungkan memakai parameter luas penampang efektif (A_e). [6]



Gambar 7.7. Contoh rangka batang yang biasa digunakan untuk kuda-kuda atap [4]

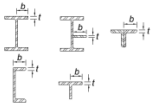
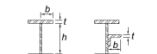
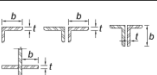
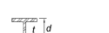





Batang Tekan

Batang tekan merupakan suatu komponen struktur yang memikul beban aksial tekan sentris tepat pada titik berat penampang atau pada kolom dengan gaya aksial saja. Momen akan tetap timbul pada tumpuan jika terdapat ketidak lurusan batang atau ketidak tepatan pembebanan. Namun dapat diabaikan jika relatif kecil.

Parameter material pada batang tekan hanya f_y yang harus diperhatikan sedangkan f_u jarang tercapai. Parameter geometri atau konfigurasi bentuk fisik juga mempengaruhi batang tekan, yaitu luas penampang, pengaruh bentuk penampang terhadap kekakuan lentur (I_{min}) dan panjang batang dan kondisi pertambatan atau tumpuan, yang diwakili oleh panjang efektif (KL) atau dapat disimpulkan pengaruh parameter geometri merupakan rasio kelangsingan batang (KL/r_{min}) dimana r_{min} adalah radius girasi pada arah tekuk.

Komponen struktur tekan perlu dianalisa untuk diketahui apakah penampang diklasifikasikan ke dalam penampang tidak langsing atau langsing dengan cara mengevaluasi rasio lebar-tebal (b/t) tiap elemen-elemen penampang.

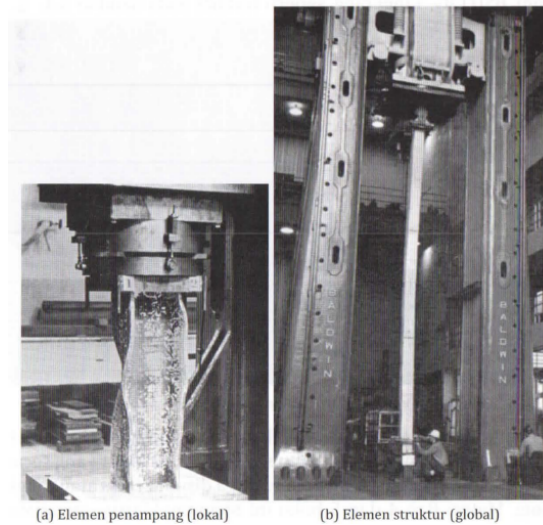
Tabel 7.3 Klasifikasi elemen pada batang tekan aksial [8]

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap T ebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal λ (nonlangsing /langsing)	Contoh
Elemen tidak diperkaku	1	Sayap Profil I gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap kanal, dan sayap T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	2	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ [a]	
	3	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	4	Badan T	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
Elemen diperkaku	5	Badan profil I simetris ganda dan penampang profil I tersusun dan kanal	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	6	Dinding PSR persegi panjang	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	8	Semua elemen diperkaku lainnya	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	9	PSR bulat	D/t	$0,11 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	

[a] $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,35 atau lebih besar dari 0,76 dalam perhitungan.

Syarat kestabilan dalam mendesain komponen struktur tekan sangat perlu diperhatikan, mengingat adanya bahaya tekuk (*buckling*) pada komponen-komponen tekan yang langsing [9].

Tekuk merupakan suatu proses dimana struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya akibat pembebanan yang berlebih. Tekuk dapat dibedakan menjadi dua, yaitu tekuk lokal pada elemen penampang dan tekuk global pada kolom atau batang tekan secara menyeluruh. Tekuk hanya terjadi pada elemen langsing dan menerima gaya tekan.

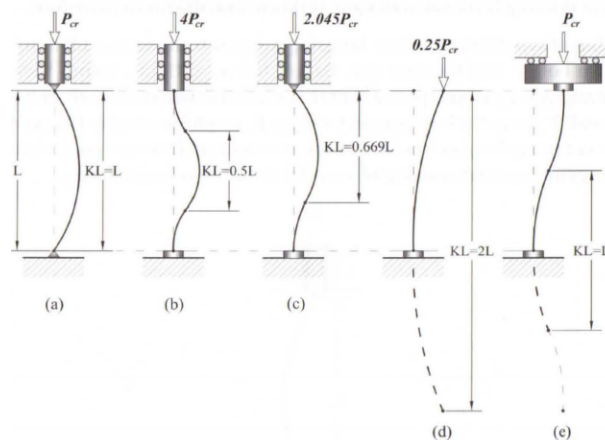


Gambar 7.8. Fenomena *buckling* pada kolom baja [4]

Dalam memprediksi kekuatan kolom diperlukan panjang efektif kolom atau KL dengan cara mencari bentuk tekuk yang berkesesuaian dengan rumus Euler menjadi: [1]





$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{KL^2}$$

Kemudian disederhanakan pada ilustrasi berikut sesuai tipe perletakkannya.



Gambar 7.9. Konsep panjang efektif dan daya dukung kolom [4]

Penentuan nilai K untuk kolom berdiri sendiri dapat dilihat pada gambar berikut.

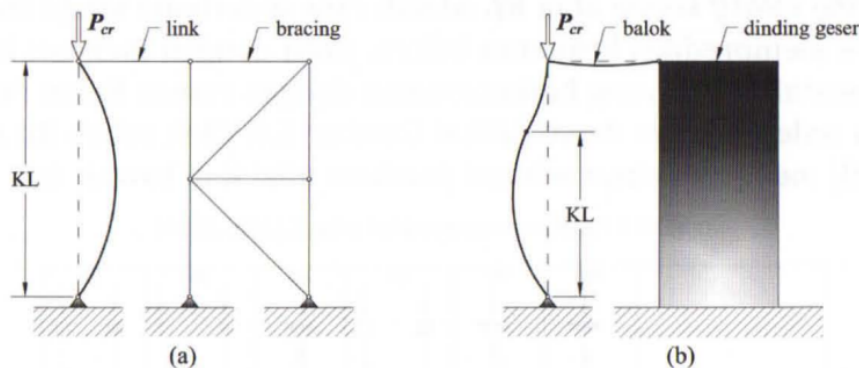
<p align="center">TABLE C-C2.2 Approximate Values of Effective Length Factor, K</p>						
Buckled shape of column is shown by dashed line.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code	 Rotation fixed and translation fixed  Rotation free and translation fixed  Rotation fixed and translation free  Rotation free and translation free					

Gambar 7.10. Panduan nilai K (faktor panjang efektif) [6]

Dalam hal ini, struktur dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori berdasarkan nilai K, yaitu:

- Rangka tidak bergoyang: $0,5 \leq K \leq 1,0$

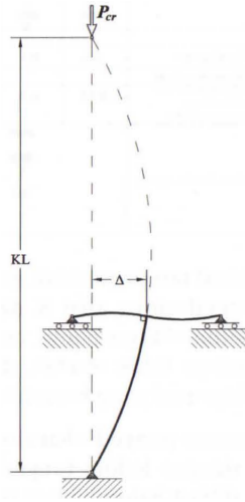
Terjadi jika nodal ujung-ujung kolom tidak berpindah saat dibebani.



Gambar 7.11. Rangka tidak bergoyang [4]

- Rangka bergoyang: $1,0 \leq K \leq \infty$

Terjadi jika nodal mengalami perpindahan saat dibebani.

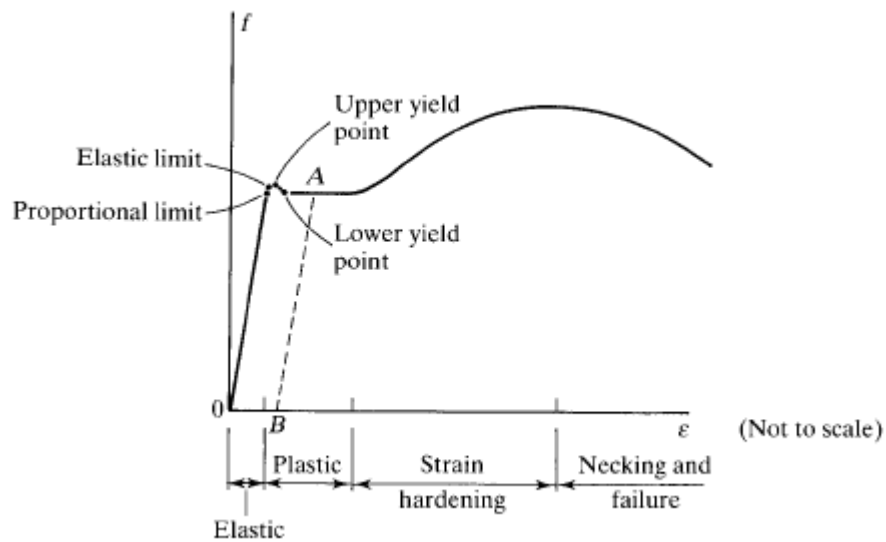


Gambar 7.12. Rangka bergoyang [4]

Balok Lentur

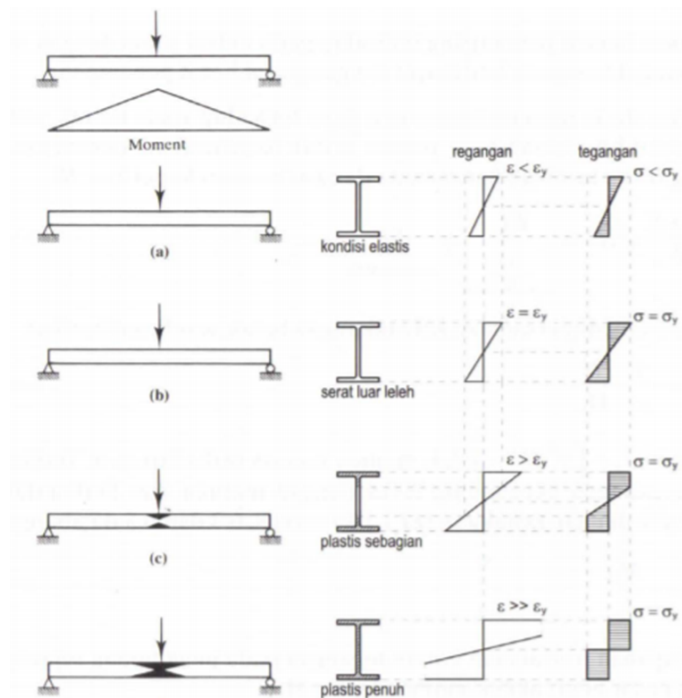
Untuk menentukan kekuatan balok lentur adalah menentukan perilaku patah elemen struktur bila dibebani. Seperti yang ditunjukkan oleh kurva tegangan-regangan ketika mencari sifat mekanik suatu material, perilaku elemen tegangan-tarik relatif sederhana. Dalam kasus deformasi yang sangat besar di bawah kondisi beban konstan, kekuatan tarik tergantung pada tegangan leleh (F_y). Kekuatan tarik pada kondisi ini sangat penting dalam menentukan daktilitas suatu struktur. [4]

Dalam kondisi leleh dan pembebanan tetap ditambahkan, maka material akan meningkatkan daya dukung (*strain-hardening*), tetapi pada akhirnya akan mencapai kekuatan maksimumnya jika dipaksa sepanjang fenomena *necking* (luas penampang menyusut) sehingga pada akhirnya apabila dipaksa akan mencapai kekuatan ultimit (F_u). Setelah itu, terjadinya keretakan (retak) mulai muncul dan akhirnya rusak (rapuh).



Gambar 7.13. Perilaku keruntuhan batang tarik baja daktail [1]

Perilaku plastis balok lentur dapat dilihat ketika momen ditingkatkan, tegangan serat luar mencapai tegangan leleh. Pada saat terjadi plastis, maka terjadi deformasi permanen. Perilaku balok penampang kompak dan ikatan lateral cukup yang dibebani sampai terjadi penampang plastis. [4]



Gambar 7.14. Pembebanan Elastis Akibat Momen [4]

Kondisi elastis berakhir pada saat serat terluar mencapai leleh (F_y) akibat momen (M_y) (Gambar 7.14). Selain itu, perilaku plastik dimulai. Jika terus ditekankan, tegangannya konstan (F), tetapi ada peningkatan deformasi (rotasi) dan perambatan tegangan leleh ke serat lain. Akhirnya, semua bagian mengalami leleh dan dibentuk oleh penampang plastis (Gambar 7.14). Kekakuan lentur sudah tidak ada dalam kondisi tersebut. Sehingga jika sedikit beban ditambahkan, maka akan menimbulkan rotasi yang besar. Perilaku seperti itu juga disebut sebagai pembentukan sendi plastis.

M_y adalah momen balok yang menyebabkan serat penampang sisi luar tepat mencapai leleh. Parameternya adalah S_x atau modulus penampang elastis sehingga $M_y = S_x \cdot F_y$. Adapun M_p adalah momen balok yang menyebabkan adanya penampang plastis. Parameternya adalah Z_x atau modulus penampang plastis sehingga $M_p = Z_x \cdot F_y$. Terkait fenomena elastis-plastis balok, plastis mulai

terbentuk.

Sambungan

Struktur baja terdiri dari elemen-elemen kecil berupa profil baja dengan bentuk dan ukuran relatif yang digabung satu dengan lainnya hingga membentuk elemen struktur yang lebih besar. Proses penggabungan di bengkel kerja dilakukan dengan alat bantu yang presisi, serta mudah diawasi agar mutunya terkontrol. Elemen struktur ini diangkut ke lapangan untuk kemudian dirakit sesuai rencana setelah selesai dirakit. Terdapat dua jenis sambungan yang umum digunakan yaitu baut dan las. Penggunaan baut mutu tinggi [10] dipasang dengan kunci pas biasa tanpa prategang (mekanisme tumpu). Bentuk dan ukuran lubang baut yang dipilih sangat penting dalam penentuan kinerjanya, khususnya untuk sambungan tipe geser. Adanya ukuran lubang yang sedikit lebih besar merupakan penyebab terjadinya slip pada sambungan tipe geser ini.

Esensi penting perencanaan sambungan adalah dapat memastikan elemen-elemen yang disambung memenuhi kriteria perencanaan. Bagian paling menentukan adalah alat sambung itu sendiri, yang relatif terbatas dan tertentu, yaitu baut. Meskipun distribusi gaya-gaya yang bekerja bervariasi, sesuai konfigurasi dari tata letaknya, tetapi untuk perencanaan dianggap terbagi rata pada semua baut. Asumsi ini bisa dan benar jika baut tidak hanya kuat dan kaku tetapi juga harus bersifat daktail. Perilaku daktail menyangkut kondisi inelastis-nonlinier, tidak tergantung dari material penyusunnya saja, tetapi juga proses selama pembuatannya. Itu alasan mengapa sistem sambungan struktur utama hanya boleh dengan baut mutu tinggi.

Sambungan las adalah sambungan antara dua atau lebih permukaan logam dengan cara mengaplikasikan pemanasan lokal pada permukaan benda yang disambung. Perkembangan teknologi pengelasan saat ini memberikan alternatif yang luas untuk penyambungan komponen mesin atau struktur. Las (welding) jika dilakukan

secara benar, merupakan suatu cara penyambungan logam yang relatif sempurna. Logam sambungan seakan-akan menjadi seperti satu kesatuan lagi. Oleh karena itu las menjadi satu-satunya cara yang dipakai untuk menyambung pipa logam [6]. Perencanaan kedua jenis sambungan ini perlu didesain dengan berbagai pertimbangan sesuai dengan aturan yang berlaku agar dapat mempertahankan konsep keselamatan dan berkelanjutan.

1.3 Penutup

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa elemen dari struktur baja terdiri dari elemen-elemen dan perannya dalam struktur bangunan sebagai berikut:

1. Batang tarik

Sebagai penahan bentuk geometri struktur. Pada perencanaan batang tarik harus memenuhi kondisi dari pola keruntuhan leleh, fraktur, dan geser blok.

2. Batang tekan

Sebagai pemikul beban tekan sentris pada titik berat penampang dengan syarat kestabilan yang perlu diperhatikan karena adanya bahaya tekuk (buckling)

3. Balok lentur

Dalam balok lentur perlu dipertimbangkan kekuatan tarik balok karena sangat menentukan daktilitas suatu struktur.

4. Sambungan

Pada sambungan terdapat jenis sambungan menggunakan baut dan las akibat adanya keterbatasan ukuran yang dapat dibawa oleh moda transportasi, sehingga dilakukan penyambungan bagian-bagian baja. Sambungan baut umumnya dipakai dalam rangka batang yang dipasang dengan kunci pas biasa tanpa prategang dengan beban statis dan tanpa getaran. Sambungan las memberikan alternatif yang luas untuk penyambungan komponen mesin atau struktur dan tergolong cara penyambungan logam yang relatif sempurna jika dilakukan secara benar.

Referensi

- [1] W. T. Segui, *Steel Design* (5th ed.), 2012.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1727: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta, 2020.
- [3] American Society of Civil Engineers, *ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, 2017.
- [4] W. Dewobroto, *Struktur Baja Perilaku Analisis & Desain - AISC 2010*, Lumina Press, 2015.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1726: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*, Jakarta, 2019.
- [6] American Institute for Steel Construction, *Specification for Structural Steel Buildings*, 2020.
- [7] E. Mulyandari, "Mengenal Bagian Struktur Atap Baja," 22 Juli 2010. [Online]. Available: <https://ernimulyandari.wordpress.com/2010/07/22/mengenal-bagian-struktur-atap-baja/>. [Accessed 7 September 2021].
- [8] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1729: Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Jakarta, 2020.
- [9] A. Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Jakarta, 2008.
- [10] ASTM A325-14, *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*, ASTM International, 2014.

Profil Penulis

Ir. Dewi Linggasari, M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara, Desember 1984, Lulus magister Teknik Sipil Untar 2004, menjadi dosen Universitas Tarumanagara tahun 1985. Bekerja di PT. Dacrea pada 1984–1986. Menjabat sebagai Structural Engineer pada Pelabuhan Laut Balik Papan dan Banjarmasin bersama PT. Diagram dan Pacific Consultant Engineer (Japan) pada tahun 1984–1985. Tahun 1985–1986 melakukan review ulang drainase Bandar Udara Soekarno-Hatta. Menjabat sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Sipil periode 2012–2018 dan Sekretaris Program Studi Sarjana Teknik Sipil periode 2018 sampai sekarang di Universitas Tarumanagara. Mengajar mata kuliah Struktur Baja.

Vincent

Mahasiswa angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Pada saat ini sedang menjalani semester 7 mengambil kerja praktik dan magang.

Kharistio Xavira

Mahasiswa angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara. Saat ini aktif dalam organisasi IMASTA sebagai anggota dan sedang kerja praktik bangunan bertingkat.kompeten dan relevan dengan dunia industri dan praktisi. Berkompetensi dalam bidang desain eksibisi, furniture dan desain interior. Tertarik dalam topik-topik penelitian terkait faktor manusia (antropometri, ergonomi dan proksemik) dan sustainable design seperti material *bio-degradable* dan *recycle* untuk perancangan furniture. Produk yang

dihasilkan dan dipamerkan diantaranya adalah Larvae Bench dan Renjana Chair.

BAB 8

Perencanaan Konstruksi baja Bangunan Gedung

Arif Sandjaya

Maria Kevinia Sutanto

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

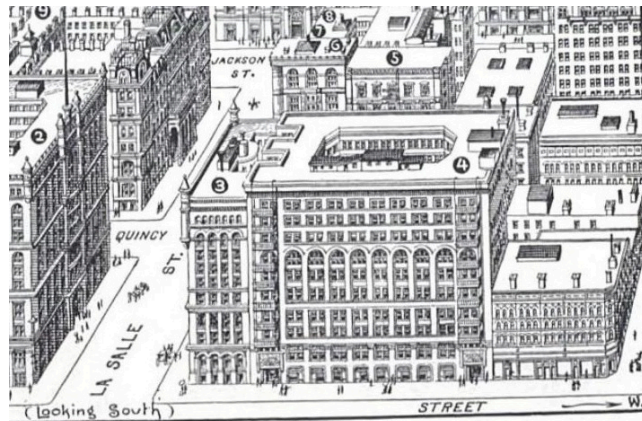
Abstrak

Pada perencanaan struktur bangunan banyak menggunakan elemen baja sebagai salah satu komponen. Seperti yang telah diketahui, baja sendiri memiliki sifat yang kuat terhadap tarik dan lemah terhadap tekuk. Dalam mendesain suatu bangunan, tentu tidak terlepas dari kekuatan, kekakuan, dan kestabilan yang dapat disebut sebagai prinsip dasar desain. Oleh karena itu tulisan ini akan membahas mulai dari prinsip desain, serta yang berkaitan seperti beban lateral, *braced*, efek $P-\Delta$ dan selanjutnya dapat digunakan analisis statis pushover untuk menjamin bahwa bangunan yang didesain aman dan berkelanjutan.

Kata kunci: baja, kestabilan, efek $P-\Delta$, *braced*, analisis *pushover*.

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman dengan dibantu kemajuan teknologi, bangunan tinggi merupakan suatu bentuk kemajuan peradaban umat Manusia. Pertumbuhan ekonomi dan budaya masyarakat membuat bangunan tinggi menjadi fokus utama untuk mengembangkan tujuan dan komersial. Bangunan tinggi pertama kali berkembang di daerah barat, khususnya Amerika yang menjadi landasan utama perkembangan bangunan tinggi. Bangunan pencakar langit pertama berada di Chicago pada tahun 1885 merupakan bangunan 10 lantai setinggi 42 meter. Sejak itu, pembangunan bangunan tinggi digalakkan dengan membuat bangunan yang lebih tinggi dari sebelumnya. Gedung dengan struktur kerangka baja pertama, yaitu gedung Rand McNally yang berada di Chicago pada tahun 1889 (Gambar 8.1) [1].



Gambar 8.1. Gedung Rand McNally di Chicago [1].

Keinginan manusia membangun gedung tinggi untuk memenuhi kebutuhan hidup yang lebih baik, seperti kantor, hotel, dll. Ketersediaan material dan teknologi konstruksi menjadi kunci untuk memenuhi hal tersebut. Material yang sangat umum digunakan adalah baja dan beton. Penemuan dan ide konstruksi oleh para *engineer* pada saat itu membuat gagasan-gagasan baru dan tantangan dalam membangun *multi-story building* dimana gagasan tersebut dipakai sampai

sekarang, seperti penggunaan *lift* dan eskalator untuk naik ke lantai yang lebih tinggi. Pada awal tahun 1931, merupakan kejayaan gedung pencakar langit di Amerika, yaitu pada gedung *Empire State Building* (Gambar 8.2) yang terdiri dari 102 lantai setinggi 381 meter. Struktur gedung tersebut terbuat dari baja dengan *braced* [1].

Untuk struktur bangunan tinggi, gaya vertikal seperti berat sendiri dan fungsi layan ditahan oleh kolom dan dinding, sedangkan gaya horizontal seperti beban angin (*wind load*) dan beban gempa (*earthquake*) ditahan oleh *braced* atau *out-trigger*. Semakin tinggi suatu gedung, maka beban horizontal yang akan mempengaruhi adalah beban angin, apalagi bangunan yang berada di daerah angin kencang. Maka dalam perencanaan harus diperhitungkan beban angin sesuai peraturan untuk mendesain gedung [1].

Dalam hal kekuatan dan kekakuan, bangunan baja lebih unggul daripada material beton bertulang. Tetapi baja sangat rentan terhadap tekuk (*buckling*) karena baja terbuat dari pelat yang tipis jika dilihat dari perbandingan tebal dan tinggi pelat. Selain terhadap tekuk, baja sangat lemah terhadap suhu tinggi misalkan akibat panas dari kebakaran. Panas pada api membuat baja meleleh sehingga kekuatan baja, modulus elastisitas dan kekakuan akan berkurang meskipun suhu leleh baja mencapai 1400°C [1].



Gambar 8.2. Gedung Empire State di New York [1].

1.2 Prinsip Perencanaan Konstruksi Baja

Filosofi Perencanaan Konstruksi Struktur Baja pada Bangunan Gedung

Perancangan struktur bangunan harus direncanakan dengan memenuhi persyaratan tertentu, yaitu kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), dan daktilitas (*ductility*). Meskipun begitu, struktur juga harus memiliki stabilitas. Dalam mencapai persyaratan tersebut tidaklah mudah dan perlu dilakukan pengembangan spesifikasi perencanaan yang sesuai dengan batasan keamanan, reliabilitas (keandalan), dan probabilitas (kemungkinan) terjadi keruntuhan. Tinjauan berupa kemungkinan berkurang kekuatan struktur, besarnya kerusakan yang timbul akibat kegagalan komponen struktur, akurasi dalam analisis gaya yang bekerja pada struktur dan komponen pendukung, serta pertimbangan lainnya [1].

Struktur harus didesain untuk menahan beban, baik beban statik maupun dinamik. Beban statik pada bangunan merupakan berat sendiri bangunan, beban hidup, dan beban tambahan, sedangkan beban dinamik pada bangunan adalah beban angin dan gempa. Besar dari beban-beban tersebut tergantung dari ukuran, bentuk, dan lokasi bangunan. Sehingga diperlukan perancangan bangunan dengan menggunakan kombinasi beban terbesar pada bangunan gedung. Besar beban pada gedung tinggi berbeda dengan gedung rendah, terutama pada ketinggian tingkat

bangunan yang menyebabkan gaya gravitasi dan beban lateral pada struktur akan sangat besar [1].

Perencanaan struktur baja harus didesain berdasarkan peraturan (*code*) untuk menghasilkan rancangan yang baik. Sebab rancangan akan dikatakan gagal apabila tidak memenuhi standar batas berupa batas *ultimate* dan batas layan yang tercantum dalam peraturan. Dalam hal ini, di Indonesia, peraturan baja yang berlaku adalah SNI 1729:2020 yang merupakan adopsi dari *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360-16 [2]. Kondisi batas tersebut sangat penting sebab mempengaruhi keamanan dan kenyamanan dari pengguna suatu bangunan. Dalam menerapkan kondisi batas tersebut, peraturan menetapkan dua metode desain yang dapat diikuti, yaitu metode *allowable strength design* (ASD) atau tegangan izin dan *load and resistance factor design* (LRFD) atau kekuatan [3].

Adapun acuan normatif yang diadopsi di dalam SNI 1729:2020, yaitu SNI 7860:2015 [4], SNI 7972:2013 [5], SNI 8369:2016 [6], SNI 2847:2019 [7], dan SNI 1727:2013 [8]. LRFD memiliki ketentuan dalam kombinasi pembebanan dalam analisis struktur. Kombinasi pembebanan tersebut diatur dalam SNI 1727:2020 tentang Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Pada pasal 2.3.1, diberikan kombinasi dasar untuk desain LRFD (Persamaan 1 – 5). Kemudian pada pasal 2.3.6, diberikan kombinasi dasar dengan efek beban seismik (Persamaan 6 – 7) [9].

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$
6. $1,2D + E_v + E_h + L + 0,2S$
7. $0,9D - E_v + E_h$

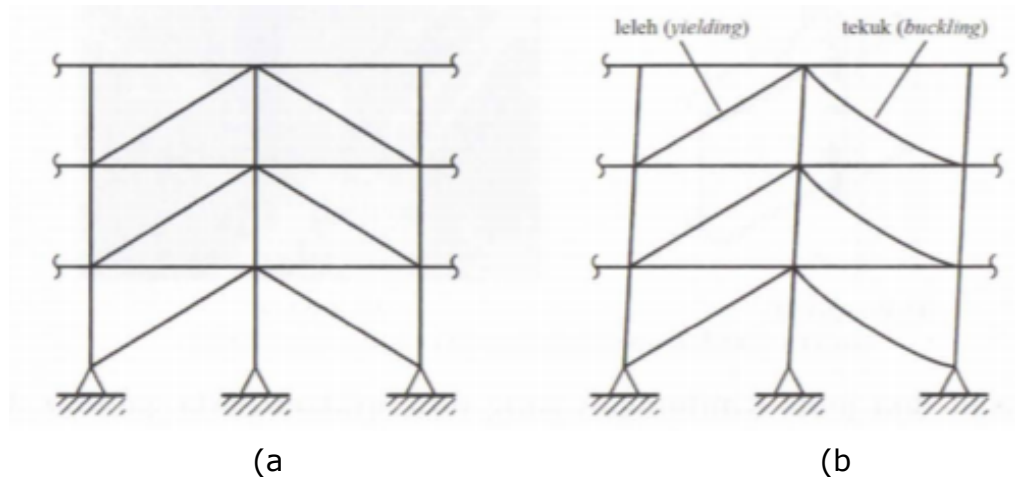
Pada SNI 1729:2020, desain untuk stabilitas diatur pada bab C. Stabilitas harus dipenuhi untuk struktur secara keseluruhan dan untuk setiap elemen. Efek yang diperhitungkan adalah deformasi (akibat lentur, geser, aksial, dan sambungan) yang memberikan kontribusi terhadap struktur, efek orde ke dua (efek $P-\Delta$ dan $P-\delta$), ketidaksempurnaan geometri, reduksi kekakuan (inelastisitas dan efek leleh parsial yang mungkin dipengaruhi tegangan sisa), dan ketidakpastian dalam kekuatan dan kekakuan sistem struktur (termasuk sambungan). Metode yang disarankan untuk menghitung semua efek tersebut adalah *direct analysis method* (DAM) atau metode analisis langsung [3].

Pengaku Baja (*Braced*)

Pengaku baja biasanya ditempatkan dalam bentang yang sejajar secara vertikal. Sistem ini memungkinkan untuk memperoleh peningkatan kekakuan yang besar dengan berat tambahan minimal. Sistem *braced* dikategorikan dalam 3 bagian yaitu sistem *braced* konsentris khusus, *braced* konsentris, dan *braced* eksentrik [10].

- a. Sistem Rangka *Braced* Konsentris Khusus atau *Special Concentrically Braced Frames* (SCBF) [10].

Struktur yang menganut SCBF (Gambar 8.3) dikonfigurasi sedemikian sehingga *braced* bekerja sebagai sekering (*fuse*) melalui aksi leleh tarik atau tekuk tekan batang diagonal ketika terjadi gempa besar.



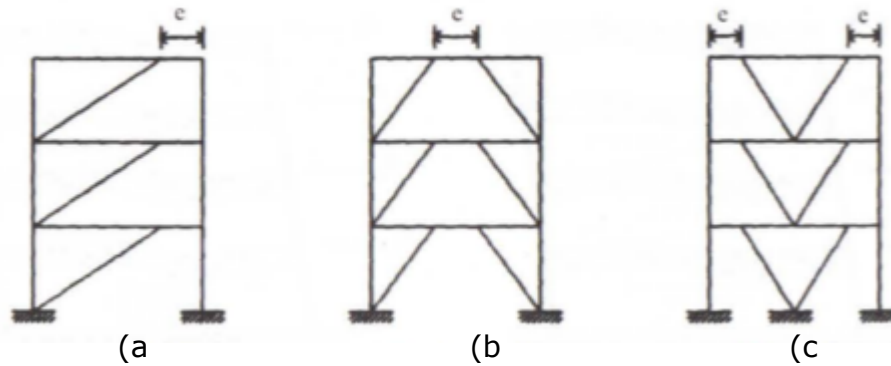
Gambar 8.3. Mekanisme Inelastis pada Sistem Rangka *Braced* Konsentris Khusus. (a) Rangka saat sebelum gempa, (b) Rangka setelah gempa besar [10]

- b. Rangka *Braced* Konsentris atau *Ordinary Concentrically Braced Frames* [10]. Bekerja seperti sistem SCBF, yaitu mengandalkan perilaku aksial pada elemen-elemen struktur. Oleh sebab itu sistem rangka ini relatif kaku, sehingga dapat dianggap sebagai rangka tidak bergoyang. Meskipun demikian, sistem ini hanya andal jika berperilaku elastik saat gempa besar, sehingga hanya cocok (ekonomis) jika digunakan pada struktur yang didominasi beban gravitasi atau minimal beban-beban rencana yang sudah memiliki posisi pasti.

Penguatan konsentris juga meningkatkan kekakuan lateral rangka sehingga meningkatkan frekuensi alami dan juga biasanya menurunkan simpangan tingkat lateral. Namun, peningkatan kekakuan dapat menarik gaya inersia yang lebih besar karena gempa bumi. Selanjutnya, sementara *braced* mengurangi momen lentur dan gaya geser dalam kolom dan mereka meningkatkan kompresi aksial di kolom yang terhubung.

- c. Sistem *braced* eksentrik atau *Eccentrically Braced Framed* (EBF) [10]. Cara kerja rangka jenis EBF (Gambar 8.4) mirip dengan SCBF hanya saja *fuse*

atau *link* diharapkan bekerja secara inelastik memanfaatkan adanya leleh geser atau leleh lentur atau kombinasi keduanya.



Gambar 8.4. Berbagai variasi konfigurasi EBF, (a) *D-braced* EBF, (b) *Split-K-braced* EBF, (c) *V-braced* EBF [10].

Sistem dan meningkatkan kapasitas disipasi energi. Kekakuan lateral sistem tergantung pada sifat kekakuan lentur balok dan kolom, sehingga mengurangi kekakuan lateral rangka. Komponen vertikal gaya *braced* akibat gempa menyebabkan beban terpusat lateral pada balok pada titik sambungan *braced* eksentrik [10].

Berbagai variasi konfigurasi EBP Dari tiga konfigurasi rangka sistem EBF di atas, maka jenis *Split-K-braced* merupakan konfigurasi EBF yang terbaik karena momen terbesar yang akan menyebabkan kondisi plastik tidak terjadi di dekat kolom. Jadi dipastikan tidak akan terjadi kegagalan kolom akibat kondisi inelastis yang terjadi [10].

Efek P- Δ

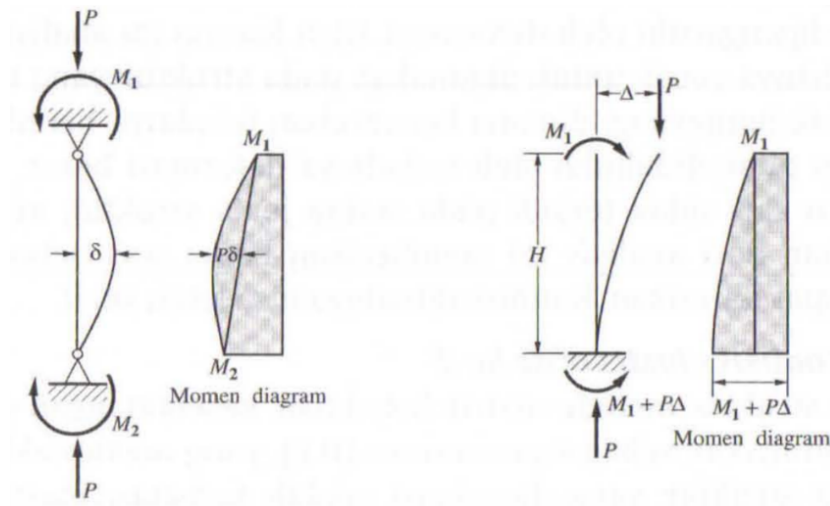
Jika suatu struktur memiliki deformasi yang relatif besar, akan menyebabkan perubahan pada Konfigurasi geometri sehingga hasil analisis menjadi tidak valid. Kasus tersebut harus diselesaikan dengan analisis non-linier geometri dengan menyertakan pengaruh deformasi struktur atau disebut juga analisis struktur elastis

orde kedua.

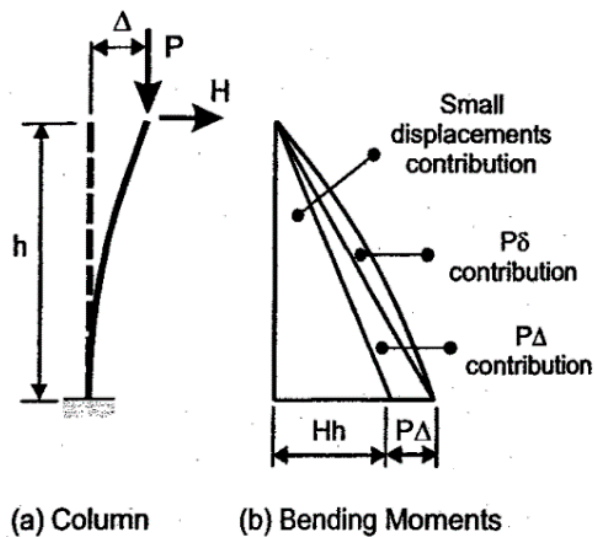
Pengaruh deformasi pada elemen batang dengan gaya aksial yang besar akan menimbulkan momen sekunder yang dikenal dengan efek $P-\Delta$. Momen yang terjadi pada rangka tidak bergoyang dan rangka bergoyang yang diilustrasikan pada Gambar 8.5 [11].

Pada rangka tidak bergoyang, titik penghubung elemen tidak mengalami perpindahan akibat dari struktur rangka ditahan oleh sistem penahan lateral. Pada kasus ini, efek $P-\Delta$ yang terjadi disebut juga $P-\delta$, dimana deformasi (δ) terjadi pada bagian elemen itu sendiri. sedangkan pada rangka bergoyang, terdapat perpindahan ada titik nodal penghubung akibat pembebanan. Kontribusi efek $P-\delta$ hanya bersifat lokal dan terjadi pada penampang langsing. Sedangkan efek $P-\Delta$ bersifat global atau keseluruhan struktur. Adapun perbedaan kontribusi pada $P-\delta$ dan $P-\Delta$ dapat dijelaskan pada ilustrasi pada kolom kantilever berikut (Gambar 8.6) [11].

Berdasarkan Ilustrasi, *small displacement contribution* merupakan diagram momen dengan mengabaikan efek P -delta, $P-\Delta$ *contribution* merupakan defleksi pada puncak kolom, dan $P-\delta$ *contribution* merupakan bentuk defleksi yang terukur dari garis lurus. Besar kontribusi $P-\delta$ sekitar 18% dan $P-\Delta$ sekitar 82%. Meskipun terdapat perbedaan yang jauh, kontribusi antara kedua perpindahan harus dipertimbangkan dalam analisis beban [11].



Gambar 8.5. Ilustrasi momen yang terjadi akibat efek P- Δ . (a) Rangka tidak bergoyang, (b) Rangka bergoyang [11].



Gambar 8.6. Kegagalan bangunan akibat lentur dan tekuk [11].

Analisis orde kedua boleh mengabaikan efek P- δ pada respons struktur apabila terpenuhi [9]:

1. Struktur menahan beban gravitasi melalui kolom, dinding atau rangka vertikal secara nominal
2. Rasio *drift* orde kedua maksimum terhadap *drift* orde pertama maksimum
3. Tidak lebih dari sepertiga beban gravitasi total pada struktur yang diterima kolom yang merupakan bagian dari rangka penahan momen struktur yang dalam arah translasi yang ditinjau.
4. Dalam analisa struktur, diperlukan prosedur pendekatan dalam menghitung efek orde kedua (efek P-Δ) pada struktur dengan memperbesar kekuatan perlu struktur dari dua analisis elastis pertama, yaitu faktor penggali B₁ dan B₂. Faktor B₁ merupakan pengaruh beban terhadap deformasi elemen antara dua nodal atau P-δ yang dihitung menggunakan rumus:

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{e1}} \geq 1$$

sedangkan faktor B₂ merupakan pengaruh beban terhadap adanya perpindahan lateral titik nodal atau P-Δ yang dihitung menggunakan rumus:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \alpha P_{\text{story}} / P_{e \text{ story}}} \geq 1$$

dengan: $\alpha = 1,0$ (LRFD) atau $1,6$ (ASD)

C_m = faktor momen seragam yang ekuivalen

P_{e1} = kekuatan tekuk kritis elastis pada komponen struktur pada bidang lentur, (N)

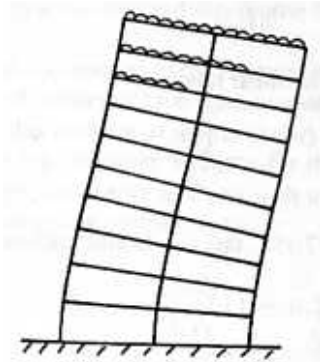
P_{story} = beban vertikal total yang dipikul oleh tingkat tersebut dengan menggunakan kombinasi beban LRFD atau ASD, (N)

$P_{e \text{ story}}$ = kekuatan tekuk kritis elastis untuk tingkat tersebut dalam arah translasi yang sedang ditinjau, (N)

Stabilitas

Material baja mempunyai rasio perbandingan kekuatan terhadap berat sendirinya yang relatif tinggi, sehingga konstruksi dari baja atau struktur baja yang dihasilkan cenderung bersifat langsing. Untuk jenis struktur langsing seperti itu, maka masalah stabilitas kadang kala menjadi dominan sifatnya, sehingga jika diabaikan tentu akan berbahaya. Bisa-bisa pada pembebanan yang relatif kecil, struktur dapat mengalami keruntuhan. Oleh sebab itu kemampuan memprediksi kekuatan struktur yang dipengaruhi oleh perilaku stabilitasnya tentu sangat penting. Pada analisis struktur elastis linier yang umum dipelajari para calon sarjana insinyur sipil, belum dapat memperhitungkan pengaruh perilaku non-linier tersebut. Itulah mengapa pada perencanaan struktur baja, untuk mengatasi hal tersebut memerlukan cara khusus, misal metode panjang efektif atau faktor K atau *Effective Length Method* (ELM). Bagaimanapun cara tersebut pada dasarnya adalah cara pendekatan, sehingga penggunaan menjadi terbatas. Cara pendekatan tidak dapat dipakai untuk struktur jika perilaku deformasi akibat efek $P-\Delta$ relatif besar, yaitu jika rasio *drift* orde ke-2 terhadap *drift* orde ke-1 adalah lebih besar dari 1.5.

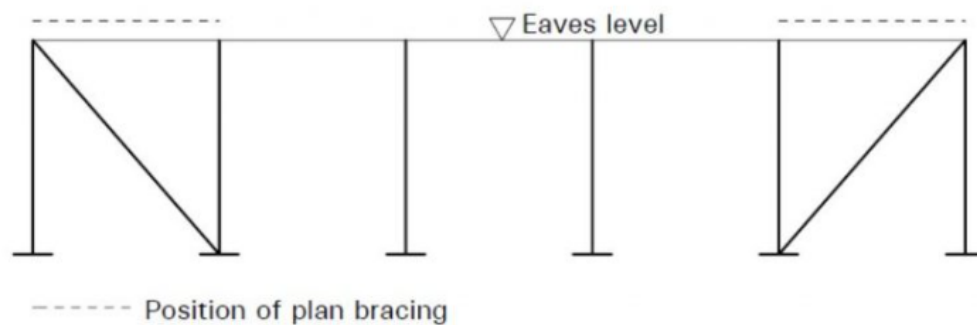
Beban gravitasi pada bangunan yang tinggi tidak terlalu membuat bangunan mengalami *buckling* atau tekuk maupun *flexure* atau lentur. yang terlalu berpengaruh adalah beban gravitasi yang menyebabkan beban gravitasi yang tidak simetris. Hal tersebut dapat menyebabkan struktur tidak stabil yang membuat bangunan bergeser ke kanan sehingga bisa terjadi *buckling* (Gambar 8.7). Oleh karena itu, di bangunan tinggi baja harus diperhatikan efek $P-\Delta$ yang sangat signifikan.



Gambar 8.7. Kegagalan bangunan akibat lentur dan tekuk.

Efek pada kegagalan bangunan struktur *buckling* (tekuk) bisa terjadi karena geser dan lentur atau bisa terjadi keduanya. Untuk mengatasi hal tersebut kekakuan pada kolom dibantu dengan diberi struktur dinding. Efek dari orde ke 2 berupa efek $P-\Delta$ menyebabkan bangunan translasi. Perkiraan penambahan momen dalam efek $P-\Delta$ dapat memakai metode pembesaran momen. Dalam kasus, bangunan yang memiliki beban berat seperti gudang atau perpustakaan, analisis orde kedua wajib diperhitungkan.

Selain perhitungan efek $P-\Delta$, dalam bangunan baja biasanya diperkuat dengan menggunakan *braced* dan dipasang secara vertikal. Hal itu memberikan stabilitas, baik selama ereksi dan di gedung yang sudah selesai. Selain itu penggunaan *braced* dapat menahan beban angin ke arah longitudinal dan jangkar yang memadai untuk *purlins* dan *railing* dalam fungsinya menahan *rafter* dan kolom. Kekakuan dan stabilitas portal-portal angin ini harus dipertimbangkan secara hati-hati. Portal-portal angin semacam ini (Gambar 8.8) dapat membatasi lebar bukaan pintu, sehingga hal ini harus dipertimbangkan saat tahap desain konseptual [1].



Gambar 8.8. Contoh penggunaan braced pada struktur baja [1].

Analisis Gempa dengan Metode *Pushover Analysis*

Pushover adalah metode analisis statis-non-linier dimana suatu struktur dikenai beban gravitasi dan pola beban lateral yang dikendalikan perpindahan monotonik yang terus meningkat melalui perilaku elastis dan inelastis sampai tercapai kondisi *ultimate*. Beban lateral dapat mewakili rentang geser dasar yang disebabkan oleh beban gempa, dan dengan konfigurasi sebanding distribusi massa bersama dengan tinggi bangunan, bentuk mode, atau cara praktis lainnya [12].

Pushover menghasilkan kurva dorong-statis yang memetakan parameter berbasis kekuatan terhadap defleksi. Misalnya, kinerja dapat menghubungkan tingkat kekuatan yang dicapai pada komponen struktur tertentu dengan perpindahan lateral di bagian atas struktur, atau momen lentur dapat diplot terhadap rotasi plastis. Hasil memberikan wawasan tentang kapasitas daktail sistem struktur dan menunjukkan mekanisme, tingkat beban, dan defleksi di mana kegagalan terjadi.

Menurut ATC-40 terdapat tingkatan kinerja elemen struktural (Gambar 9) dari sebuah bangunan, yaitu sebagai berikut [13]:

1. SP – 1, *Immediate Occupancy*

Kinerja struktur tertinggi tingkat SP – 1 adalah *immediate occupancy* (IO) atau segera huni merupakan kondisi dimana setelah gempa terjadi, daerah yang mengalami kerusakan masih tetap aman untuk ditempati.

2. SP – 2 *Damage Control*

Kinerja struktur di tingkat SP – 2 adalah *damage control* (DC) atau kontrol kerusakan, yang didefinisikan sebagai kerusakan antara tingkat kinerja SP – 3 *Life Safety* (LS) atau keselamatan hidup dan tingkat kinerja SP – 1 *Immediate Occupancy* (IO) atau segera huni.

3. SP – 3 *Life Safety*

Kinerja struktural di tingkat SP – 3 adalah *Life Safety* (LS) atau keselamatan hidup dimana terjadi kerusakan komponen struktural setelah gempa terjadi, tetapi masih dalam batas tidak timbul keruntuhan parsial atau total.

4. SP – 4 *Limited Safety*

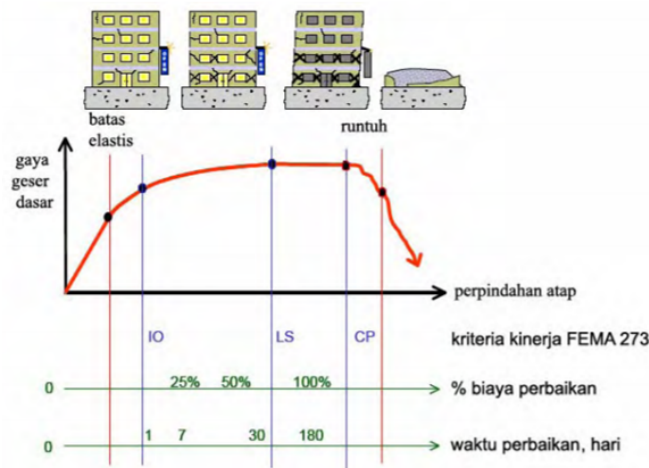
Kinerja struktur tingkat SP – 4 adalah *Limited Safety* atau keamanan terbatas, yang didefinisikan sebagai kerusakan antara tingkat SP – 3 *Life Safety* atau keselamatan hidup dan SP – 5 *Collapse Prevention* (CP) atau pencegahan runtuh.

5. SP – 5 *Collapse Prevention*

Kinerja struktur tingkat SP – 5 adalah *Collapse Prevention* (CP) atau pencegahan keruntuhan merupakan kondisi dimana setelah gempa terjadi, kerusakan pada komponen struktural seperti struktur penahan beban gravitasi akan tetapi masih dalam batas runtuh sesuai dengan standar yang telah ditetapkan tingkat kinerja struktur.

6. SP – 6 *Not Considered*

Kinerja bangunan yang tidak membahas struktur harus diklasifikasi sebagai kinerja struktur yang tidak dipertimbangkan



Gambar 8.9. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja [13].

1.3 Penutup

Perancangan struktur bangunan terutama gedung tinggi harus direncanakan dengan memenuhi persyaratan tertentu, yaitu kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), daktil (*ductility*), dan struktur yang stabil. Struktur harus didesain untuk menahan beban, baik beban statik (beban mati dan beban hidup) maupun dinamik beban angin dan beban gempa). Untuk meningkatkan kekuatan pada bangunan biasanya digunakan pengaku baja yang ditempatkan dalam bentang yang sejajar secara vertikal. Sistem ini memungkinkan untuk memperoleh peningkatan kekakuan yang besar dengan minimal berat tambahan. Untuk mengetahui apakah suatu bangunan sudah aman untuk digunakan, maka bisa menggunakan analisis *pushover* yang merupakan metode analisis statis-non-linier dimana suatu struktur dikenai beban gravitasi dan pola beban lateral yang dikendalikan perpindahan monotonik yang terus meningkat melalui perilaku elastis dan inelastis sampai tercapai kondisi ultimit. *Output*-nya menghasilkan kurva dorong-statis yang memetakan parameter berbasis kekuatan terhadap defleksi. Hasil tersebut akan memberikan wawasan tentang kapasitas daktil sistem struktur dan menunjukkan mekanisme, tingkat beban, dan defleksi di mana kegagalan terjadi.

Referensi

- [1] S. Bryan Stafford and A. Coull, *Tall Building Structures Analysis and Design*. John Wiley and Sons Inc., 1991.
- [2] American Institute of Steel Construction, *Specification for Structural Steel Buildings*. 2010.
- [3] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, *SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*. 2020.
- [4] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, *SNI 7860:2015 Ketentuan seismik untuk bangunan gedung baja struktural*. 2015.
- [5] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, *SNI 7972:2013 Sambungan terprakualifikasi untuk rangka momen khusus dan menengah baja pada aplikasi seismik (ANSI/AISC 358-16, IDT)*. 2013.
- [6] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, *SNI 8369:2016 Praktik baku bangunan gedung dan jembatan baja (ANSI/AISC 303-16, IDT)*. 2013.
- [7] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. 2019.
- [8] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, *SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, 2013.
- [9] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. 2020.
- [10] W. Dewobroto, *Struktur Baja Perilaku Analisis & Desain - AISC 2010*. Lumina Press, 2015.
- [11] G. H. Powell, *Modeling for Structure Analysis: Behavior and Basics*. Computers and Structures Inc., 2010.
- [12] W. Dewobroto, "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover," *Semin. Bid. Kaji.*, 2005, [Online]. Available: http://blog.ub.ac.id/bagoestif/files/2010/03/wiryanto_di_soegijapranata.pdf.
- [13] Applied Technology Council, *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. 1996.

Profil Penulis

Arif Sandjaya, S.T., M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara tahun 2012 dan Magister Teknik Sipil Universitas Tarumanagara tahun 2016. Menjadi dosen tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara sejak 2016, bidang struktur baja.

Maria Kevinia Sutanto

Mariana, Alumni dari Desain Interior dan Magister Arsitektur Universitas Tarumanagara. Mengawali karier di industri desain interior sejak lulus sebagai sarjana desain pada tahun 2005, dan kini bergabung di 1+8 Architech sebagai Interior Designer. Kecintaan pada mengajar telah dimulai sejak tahun 2007, aktif mengajar sebagai asisten dosen di Program Studi Desain Interior UNTAR.

BAB 9

Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa

Giovanni Pranata

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang tergolong rawan terhadap gempa bumi, hal tersebut erat kaitannya dengan letak geografis Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia. Selama dua dekade terakhir sedikitnya terjadi enam gempa bumi yang tercatat cukup dahsyat mengguncang Indonesia sehingga para ahli mengupayakan untuk terus melakukan pembaharuan peta gempa Indonesia. Pembaharuan peta gempa berdampak pada perubahan standar perencanaan bangunan tahan gempa. Dengan mengikuti standar perencanaan yang telah ditetapkan, diharapkan bangunan yang direncanakan mampu menahan gaya gempa sehingga dapat meminimalisir kerugian materi atau korban jiwa akibat kegagalan bangunan saat gempa.

Kata kunci: bangunan, SNI 1726, tahan gempa, peta gempa, peraturan

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang tergolong rawan terhadap gempa bumi, hal tersebut erat kaitannya dengan letak geografis Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia. Lempeng Eurasia yang bertumbukan langsung dengan Lempeng Indo Australia membentuk tunjangan lempeng tektonik yang melintasi dari barat Sumatera melalui selatan Jawa hingga Nusa Tenggara. Bagian timur Indonesia merupakan pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Philipina, Pasifik, dan Australia.

Selama dua dekade terakhir sedikitnya terjadi enam gempa bumi yang tercatat cukup dahsyat mengguncang Indonesia, yaitu di Aceh pada tahun 2004, Nias pada tahun 2005, Pangandaran pada tahun 2006, Yogyakarta pada tahun 2006, Padang pada tahun 2009, dan Donggala, Palu pada tahun 2018. Kerugian yang ditimbulkan oleh gempa bumi tersebut bukan hanya korban jiwa tetapi juga material lain seperti kerusakan dan runtuhnya bangunan menjadi persoalan yang cukup besar. Dengan tingkat kerawanan gempa yang cukup besar tersebut maka menjadi penting sebuah perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa berdasarkan peraturan gempa yang berlaku.

1.2 Isi/Pembahasan

Sejarah Peraturan Gempa di Indonesia

Peraturan Gempa digunakan untuk sebagai persyaratan minimum perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung maupun non gedung. di Indonesia sendiri peraturan mengenai persyaratan ketahan gempa sudah banyak mengalami perubahan, di antaranya sebagai berikut:

a. Peraturan Muatan Indonesia (PMI) 1970

Peta gempa yang terdapat dalam PMI 1970 hanya membagi wilayah Indonesia menjadi 3 daerah gempa. Perencanaan dilakukan dengan cara elastik. Karena kombinasi pembebanan gempa dengan beban mati dan beban hidup yang direduksi dianggap sebagai beban sementara, maka tegangan yang diijinkan dapat dinaikkan.

b. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (PPTGIUG) 1981

Peraturan ini sudah mengikuti pola peraturan modern yang menggunakan respon spektra percepatan untuk menentukan percepatan gempa yang harus diperhitungkan dalam merencanakan bangunan tahan gempa. Beberapa hal baru diperkenalkan dalam peraturan ini, yaitu mengenai daktilitas struktur, konsep keruntuhan yang aman (strong column weak beam), dan perencanaan kapasitas (Analisa beban statik ekuivalen, ragam respon spektrum, dan respon riwayat waktu).

Peraturan ini mendasarkan respon spektra yang digunakan kepada gempa dengan periode ulang 200 tahun (kemungkinan terjadi 10% dalam jangka waktu kira-kira 20 tahun). Peraturan ini kemudian berubah nama menjadi pedoman Perencanaan Ketahanan Gedung untuk Rumah Tahan Gempa, SKBI_1.3.53.1987, lalu menjadi Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung, SNI 03-1726-1989 tanpa ada perubahan isi.

c. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, SNI 03-1726-2002

Peraturan ini memperbaharui peta gempa yang ada pada peraturan sebelumnya (SNI 03-1726-1989), tetapi tetap menggunakan enam daerah gempa. Respon spektra yang digunakan adalah respon spektra gempa yang kemungkinan terjadinya 10% dalam kurun waktu 50 tahun, yaitu gempa dengan periode ulang 500 tahun.

d. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, SNI 03-1726-2012

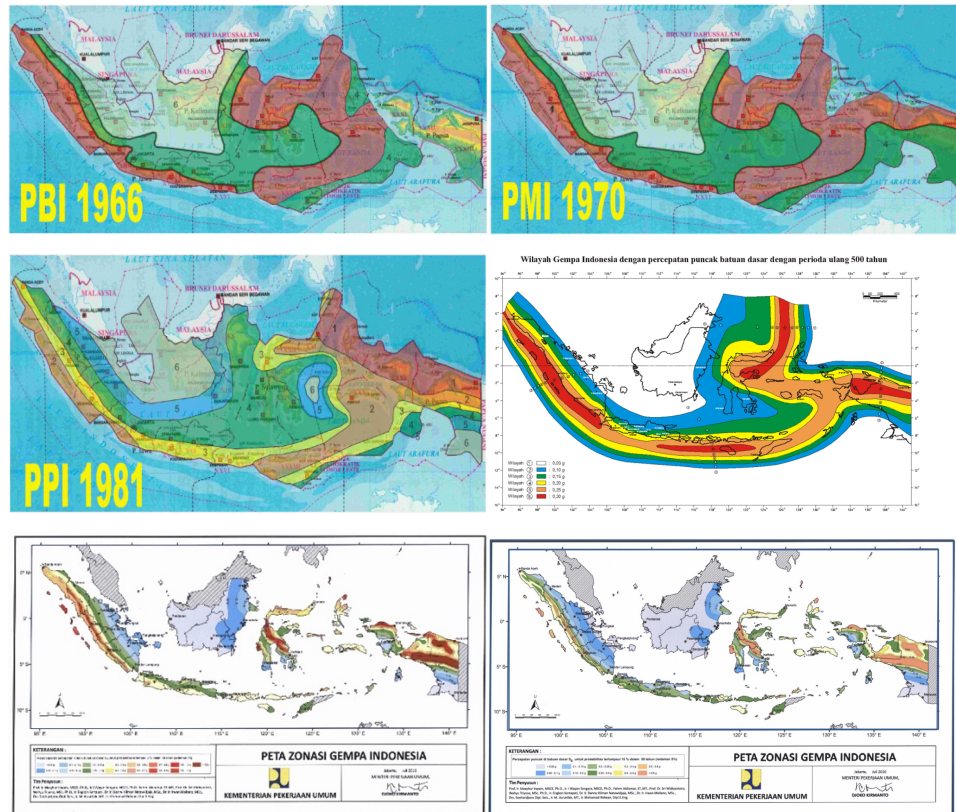
Sejak diterbitkannya SNI 03-1726-2002, telah terjadi beberapa kejadian gempa besar di Indonesia yang memiliki magnitudo lebih besar dari magnitudo sebelumnya. Hal ini membuat peta Gempa pada tahun 2002 dinilai kurang relevan lagi. Standar ini revisi dari SNI 03-1726-2002, cukup banyak perubahan mendasar pada SNI gempa 2012 ini, selain dari pembaharuan peta gempa,

penentuan respon spektrum gempa juga berbeda. Pada SNI gempa 2012, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa kemungkinan terlewati besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 2% atau gempa dengan periode ulang 2500 tahun.

- e. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, SNI 03-1726-2019 Peraturan tahun 2019 ini mengadopsi dari ASCE 7-16 dan akan resmi digunakan pada tahun 2022. Pada SNI gempa 2019, peta gempa yang dipakai berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2017.

Peta Gempa di Indonesia

Hingga saat ini Indonesia telah memiliki beberapa peta gempa yang telah digunakan sebagai dasar perhitungan gempa. Peta gempa yang paling terbaru merupakan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang dipergunakan dalam SNI 03-1726-2019. Peta gempa 2017 ini merupakan hasil pemutakhiran peta gempa tahun 2010. Peta Gempa 2010 diperbaharui dengan pertimbangan antara lain peta telah berumur lebih dari 5 tahun, adanya identifikasi sumber kegempaan yang baru dari sisi geologi, seismologi, dan geodesi, peningkatan keakuratan estimasi parameter penting dalam mengkonstruksi peta gempa serta pendetailan sumber gempa menggunakan persamaan atenuasi gelombang gempa terkini. Peta Gempa 2017 ditemukan banyak sesar aktif yang muncul di berbagai wilayah di Indonesia, yang mana sebelumnya pada Peta Gempa 2010 hanya terdapat 81 sesar aktif namun pada Peta Gempa 2017 terdapat 295 sesar aktif. Perbandingan peta gempa di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 9.1.



Gambar 9. 1 Perubahan peta gempa di Indonesia

Perhitungan dan Parameter Gempa

Menurut SNI 03-1726-2019, dalam merencanakan gaya gempa pada suatu bangunan dibutuhkan beberapa parameter di antaranya adalah:

a. Kategori risiko untuk gedung

Sebelum melakukan analisa gempa terhadap gedung maka sebelumnya ditentukan dahulu kategori risiko dari gedung yang ingin dirancang (Tabel 9. 1). Dari kategori risiko ini akan menentukan besarnya nilai keutamaan gempa (Tabel 9. 2) dan prosedur analisis yang diizinkan untuk dipakai (Tabel 9. 3).

Tabel 9. 1 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan 	IV

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

Tabel 9. 2 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Tabel 9. 3 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekivalen	Analisis spektrum respons ragam	Prosedur respons riwayat waktu seismik
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori resiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat di atas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5T_l$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

b. Penentuan kelas situs (SA-SF)

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs dapat diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, dan SF. Penentuan kelas situs ini berdasarkan hasil investigasi tanah di lapangan.

Tabel 9. 4 Klasifikasi situs

Kelas situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralinir $s_u < 25$ kPa		
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

c. Penentuan parameter percepatan gempa

Parameter batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun.

Untuk menentukan respons spektra percepatan gempa di permukaan tanah, maka diperlukan faktor amplikasi gempa. Faktor amplikasi terdiri dari faktor

amplifikasi getaran terkait percepatan getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili periode 1 detik (F_v). Nilai faktor amplifikasi F_a dan F_v dapat dilihat pada Tabel 9. 5 dan Tabel 9. 6. Parameter respons spektra percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan (9-1) dan (9-2):

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (9-1)$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (9-2)$$

Tabel 9. 5 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Tabel 9. 6 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_l					
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l = 0,5$	$S_l \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

d. Penentuan respons spektrum

Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan dengan persamaan (9-3) dan (9-4) berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (9-3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (9-4)$$

Untuk kurva respons spektra desain mengacu pada SNI 1726-2019 dengan ketentuan dalam membuat kurva sebagai berikut:

a. Untuk $T < T_0$. S_a dihitung menggunakan persamaan (9-5).

$$S_a = S_{DS} (0,4 \times 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (9-5)$$

b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, maka spektrum respons percepatan desain menggunakan persamaan (9-6).

$$S_a = S_{DS} \quad (9-6)$$

c. Untuk $T_s \leq T \leq T_L$. S_a dihitung menggunakan persamaan (9-7).

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \quad (9-7)$$

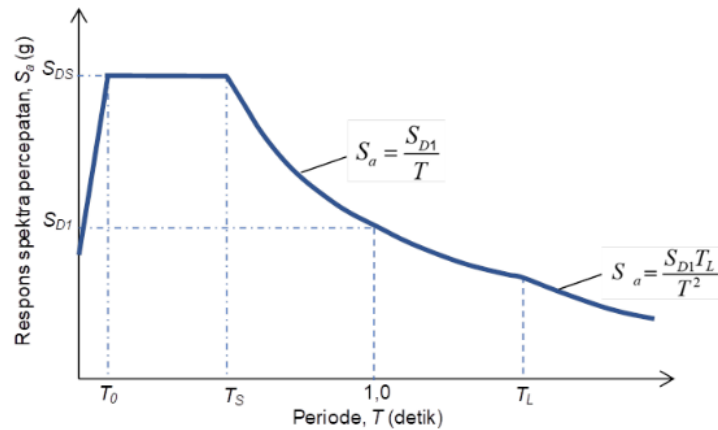
d. Untuk $T > T_L$. S_a dihitung menggunakan persamaan (9-8).

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (9-8)$$

Dimana:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (9-9)$$

Hasil grafik respons spektrum dapat dilihat pada Gambar 9. 2. Untuk memudahkan dalam membuat respons spectrum, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat telah membuat aplikasi Desain Spektra Indonesia yang dapat diakses pada <http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/>.



Gambar 9. 2 Spektrum respons desain

e. Kategori desain seismik

Kategori desain seismik adalah kategori gempa berdasarkan parameter respons percepatan pada periode gempa yang ditentukan sesuai lokasi bangunan akan dibuat. Kategori desain seismik dibagi menjadi dua tipe sesuai dengan SNI 1726 2019, yaitu:

- Berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}) seperti terlihat pada Tabel 9. 7
- Berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (S_{D1}) seperti terlihat pada Tabel 9. 8.

Tabel 9. 7 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 9. 8 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A

$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

f. Penentuan periode fundamental struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019, periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan maksimum periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 9. 9 dengan periode fundamental pendekatan (T_a). Periode bangunan pendekatan (T_a) harus ditentukan dari persamaan (9-10) hingga (9-12) :

$$T \leq T_{maks} \quad (9-10)$$

$$T \leq C_u \times T_{min} \quad (9-11)$$

$$T \leq C_u \times (C_t \times h_n^x) \quad (9-12)$$

Dimana h_n^x adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan Tabel 9. 10.

Tabel 9. 9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 9. 10 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x .

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik: • Rangka baja pemikul momen • Rangka beton pemikul momen	0,0724 0,0466	0,8 0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75

Tipe Struktur	C _t	x
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Jika periode hasil analisis melebihi periode maksimum yang dihitung menurut SNI maka periode yang digunakan adalah periode maksimum menurut SNI. Sebagai alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan (9-13) untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m.

$$T_a = 0,1N \quad (9-13)$$

g. Gaya geser gempa dasar

Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan (9-14):

$$V = C_s \cdot W \quad (9-14)$$

Dimana nilai C_s ditentukan sesuai dengan persamaan (9-15):

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} \quad (9-15)$$

Dan nilai C_s yang dihitung dengan persamaan (9-15) tidak perlu melebihi persamaan (9-16) hingga (9-18):

$$\begin{aligned} &\text{Untuk } T \leq T_L \\ C_s &= \frac{S_{DS}}{T(R/I_e)} \end{aligned} \quad (9-16)$$

$$\begin{aligned} &\text{Untuk } T > T_L \\ C_s &= \frac{S_{DS} \times T_L}{T^2(R/I_e)} \end{aligned} \quad (9-17)$$

$$\begin{aligned} &\text{Cs tidak kurang dari} \\ C_s &= 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \end{aligned} \quad (9-18)$$

h. Simpangan antar tingkat (Δ)

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) sebagaimana yang ditentukan pada sebagai berikut:

Tabel 9. 11 Simpangan antar tingkat izin (Δ_a).

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata.	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya.	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya.	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

1.3 Penutup

Banyaknya peristiwa gempa yang terjadi di Indonesia beberapa tahun terakhir ini menandakan bahwa lempeng tektonik di Indonesia cukup aktif, sehingga para ahli mengupayakan untuk melakukan pembaharuan peta gempa Indonesia paling lambat setiap lima tahun. Pembaharuan peta gempa berdampak pada perubahan standar perencanaan bangunan tahan gempa. Dengan mengikuti standar perencanaan yang telah ditetapkan, diharapkan bangunan yang direncanakan mampu menahan gaya gempa sehingga dapat meminimalisir kerugian materi atau korban jiwa akibat kegagalan bangunan saat gempa.

Referensi

- [1] ASCE, 2017, *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers.
- [2] Badan Standarisai Nasional, 2019, *SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*, BSN, Jakarta.
- [3] Badan Standarisai Nasional, 2012, *SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*, BSN, Jakarta.
- [4] Puskim, 2012, *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2012*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- [5] Puskim, 2019, *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2019*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- [6] Pusat Studi Gempa Nasional, 2017, *Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung.
- [7] Moehle, J., 2015, *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*, McGraw-Hill, United States.
- [8] S. Sutjipto, 2018, *Perbandingan Spektrum Respons Desain RSNI 1726:2018 dan SNI 1726-2012 Pada 17 Kota Besar Di Indonesia*, Konfrensi Nasional Teknik Sipil ke-12 2018.
- [9] Wight, J.K., 2016, *Reinforced Concrete Mechanics and Design 7th Ed.*, Pearson, United States.
- [10] B. N. Dini dan A. A. Masagala, 2019, *Studi Komparasi Perencanaan Struktur Gedung Berdasarkan SNI 1726-2012 Menggunakan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 dan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017*.

Profil Penulis

Giovanni Pranata, S.T., M.T.



Menempuh gelar Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara. Setelah menyelesaikan studi S1 pada tahun 2008, penulis aktif sebagai praktisi pada bidang perencanaan struktur bangunan hingga saat ini. Sejak tahun 2015, penulis diangkat menjadi dosen tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumagara dalam bidang Struktur & Konstruksi. Minat penelitian dan pengabdian kepada

masyarakat meliputi analisa struktur, simulasi numerik dan rekayasa struktur tahan gempa.

BAB 10

Penyelidikan Tanah untuk Bangunan Gedung Bertingkat

Aniek Prihatiningsih

Monica Michelle Susanto

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Fondasi merupakan bagian dasar dari struktur bangunan yang memegang peranan penting dalam menopang dan menunjang keberlangsungan struktur di atasnya. Dalam menentukan desain fondasi yang aman dan ekonomis, diperlukan sebuah investigasi terhadap sifat fisik dan mekanik tanah yang ada di lokasi dimana fondasi akan dibangun. Data-data terkait sifat dan karakteristik tanah dapat diperoleh melalui serangkaian kegiatan observasi yang disebut penyelidikan tanah (Soil Investigation). Penyelidikan tanah dilakukan mulai dari tahap penyelidikan awal, penyelidikan lapangan, pengujian laboratorium, dan pemeriksaan kesesuaian dengan kondisi lapangan. Hasil dari penyelidikan tanah berupa rangkaian parameter tanah yang nantinya menjadi acuan perancang dalam menganalisis dan mendesain struktur fondasi yang relevan.

Kata kunci: penyelidikan tanah, uji laboratorium, uji lapangan karakteristik tanah, fondasi

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu komponen penting yang harus dipertimbangkan dalam membangun suatu struktur. Jenis tanah yang berbeda tentu saja akan memerlukan perlakuan dan desain fondasi yang berbeda. Fondasi merupakan elemen bangunan yang langsung berhubungan dengan tanah. Fondasi juga merupakan elemen fundamental struktur yang berperan sebagai penopang bangunan dan berfungsi meneruskan beban konstruksi atas (*upper structure*) ke tanah. Desain fondasi yang tidak sesuai standar dapat mengakibatkan kegagalan fondasi yang akhirnya juga akan berujung pada kegagalan bangunan yang dibangun di atasnya. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa kepadatan dan daya dukung tanah di lokasi pembangunan benar-benar memadai untuk dibangun fondasi di atasnya. Kondisi tanah yang memadai tentu akan mendukung struktur fondasi dan secara langsung mendukung struktur bangunan yang kokoh sehingga memberikan rasa aman bagi penggunanya.

Data-data yang menyangkut daya dukung dan karakteristik tanah dapat diperoleh dengan melakukan penyelidikan tanah (*Soil Investigation*). Penyelidikan tanah merupakan tahapan yang mutlak harus dilakukan sebelum perencanaan dan pelaksanaan pembangunan proyek berskala besar, seperti proyek bangunan gedung bertingkat dan jalan raya. Karakteristik tanah yang diobservasi tersebut umumnya meliputi sifat tanah, susunan lapisan, kondisi geologi, serta kekuatan daya dukung tanah di lokasi pembangunan. Data-data tersebut nantinya akan digunakan sebagai pedoman perencanaan jenis fondasi, dimensi fondasi, jenis perkerasan jalan raya, maupun perkuatan guna menemukan desain yang paling efektif dan ekonomis untuk diterapkan. Data teknis dari penyelidikan juga akan digunakan untuk menentukan jenis perlakuan yang tepat agar tanah dapat mendukung jenis fondasi yang akan digunakan. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa hasil penyelidikan tanah yang diperoleh benar-benar merepresentasikan kondisi tanah yang relevan dengan pekerjaan yang akan dilaksanakan.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan lubang uji (*test pit*), pengeboran, maupun uji secara langsung di lapangan (*insitu test*). Pemilihan

metode dan penentuan titik-titik penyelidikan harus didasarkan pada studi literatur dan inspeksi lapangan yang sesuai. Titik-titik tanah yang dipilih harus mencerminkan variasi kondisi tanah, batuan, dan air tanah dari keseluruhan tanah pada lokasi pengujian. Data teknis penyelidikan tanah umumnya dihasilkan dari tahap penyelidikan lapangan dan tahap pengujian laboratorium. Apabila tersedia waktu dan biaya yang cukup, maka dapat dilakukan penyelidikan secara bertahap yang meliputi penyelidikan awal untuk menentukan posisi dan perancangan awal bangunan, penyelidikan tahap perencanaan, dan pemeriksaan kesesuaian hasil penyelidikan.

Penyelidikan yang dilakukan baik di lapangan maupun di laboratorium sebenarnya didesain untuk meniru semirip mungkin keadaan asli yang dialami oleh tanah di lapangan. Hal ini bertujuan untuk mempelajari efek beban terhadap perubahan sifat teknis yang akan terjadi pada tanah di lapangan. Tingkat akurasi data yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah sangat bergantung dari banyak faktor mulai dari ketika pertama kali proses penyelidikan dilaksanakan sampai dilakukannya pengujian di laboratorium [1]. Keberhasilan penyelidikan tanah dapat tercapai apabila sampel tanah yang diambil hanya terganggu sesedikit mungkin sehingga sifat dan karakteristiknya masih sesuai dengan keadaan aslinya di lapangan serta diselidiki di laboratorium dengan mengacu pada standar prosedur yang berlaku [2].

1.2 Tahapan Penyelidikan Tahan

Penyelidikan Awal

Apabila dibutuhkan, penyelidikan awal dapat dilakukan sebelum penyelidikan tahap perancangan dilakukan. Tahap penyelidikan awal biasanya ditiadakan pada proyek yang berskala kecil. Tahap ini dilakukan dengan tujuan untuk merencanakan penyelidikan tanah yang lebih lanjut serta untuk studi kelayakan lokasi penyelidikan. Oleh karena itu, penyelidikan awal harus direncanakan dengan baik sehingga dari hasil observasi dapat diperoleh data yang relevan untuk menilai stabilitas global dan kesesuaian umum lapangan; untuk menilai kesesuaian

lokasi proyek dibandingkan dengan alternatif lokasi yang lainnya; menilai kesesuaian posisi bangunan; untuk mengevaluasi efek yang mungkin timbul dari proses konstruksi terhadap lingkungan, seperti bangunan di sekitar situs pembangunan, struktur, dan lokasi bangunan; untuk mengidentifikasi daerah sumber material untuk konstruksi; untuk mempertimbangkan kemungkinan metode pembuatan fondasi dan perbaikan tanah yang dibutuhkan; serta untuk merencanakan penyelidikan tahap perancangan maupun penyelidikan tambahan, termasuk identifikasi zona tanah yang mungkin dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap perilaku struktur bangunan [3].

Hasil penyelidikan tanah awal juga harus menyediakan perkiraan data tanah yang diperlukan seperti data jenis tanah atau batuan dan stratifikasinya; data informasi kedalaman muka air tanah atau profil tekanan air pori; informasi awal mengenai kekuatan dan sifat deformasi tanah dan batuan; serta potensi terjadinya kontaminasi pada tanah atau air tanah yang mungkin dapat merusak daya tahan bahan konstruksi. Apabila dari penyelidikan awal tidak dapat menyediakan cukup informasi untuk menilai aspek-aspek tersebut, maka penyelidikan tambahan akan dilaksanakan pada tahap perancangan [3].

Penyelidikan Tahap Perancangan

Secara umum, penyelidikan tahap perancangan meliputi penyelidikan lapangan dan pengujian di laboratorium. Dari kedua tahapan tersebut, akan dihasilkan data-data teknis sampel tanah yang kemudian akan dipelajari dan digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menganalisa kapasitas dukung dan penurunan tanah. Penyelidikan lapangan dilakukan untuk mendapatkan data kekuatan tanah, sedangkan pengujian di laboratorium dilakukan terhadap contoh tanah yang diambil pada kedalaman tertentu di lapangan dan bertujuan untuk mengidentifikasi sifat fisik tanah, sifat deformasi tanah, dan sebagainya. Tingkat ketelitian penyelidikan tanah umumnya disesuaikan dengan besarnya beban bangunan, kondisi lapisan tanah, biaya yang tersedia, dan tingkat keamanan yang diinginkan.

a. Penyelidikan Lapangan

Hal-hal yang diinvestigasi dalam penyelidikan lapangan harus mencakup data-data mengenai rencana lokasi titik penyelidikan beserta jenis penyelidikan yang akan dilakukan; kedalaman penyelidikan; jenis sampel tanah (kategori, dan lainnya) yang akan diambil, termasuk didalamnya kriteria spesifikasi jumlah dan kedalaman pada lokasi dimana contoh tanah harus diambil; spesifikasi pengukuran air tanah; jenis peralatan yang digunakan; serta standar aturan yang akan diterapkan dalam penyelidikan. Ada beberapa jenis penyelidikan di lapangan yang sering diterapkan, antara lain uji lapangan (misalkan Cone Penetration Test (CPT), Standard Penetration Test (SPT), uji penetrasi dinamis, uji pressuremeter, uji dilatometer, uji pembebanan pelat, uji geser baling lapangan, dan uji permeabilitas); pengambilan contoh tanah dan batuan untuk deskripsi serta uji laboratorium; pengukuran air tanah; penyelidikan geofisika (seperti uji seismik, uji radar, pengukuran tahanan tanah, dan pengukuran kecepatan rambat gelombang pada tanah); dan uji skala besar seperti menentukan daya dukung atau perilaku langsung pada elemen struktur tertentu, misalnya angkur [3].

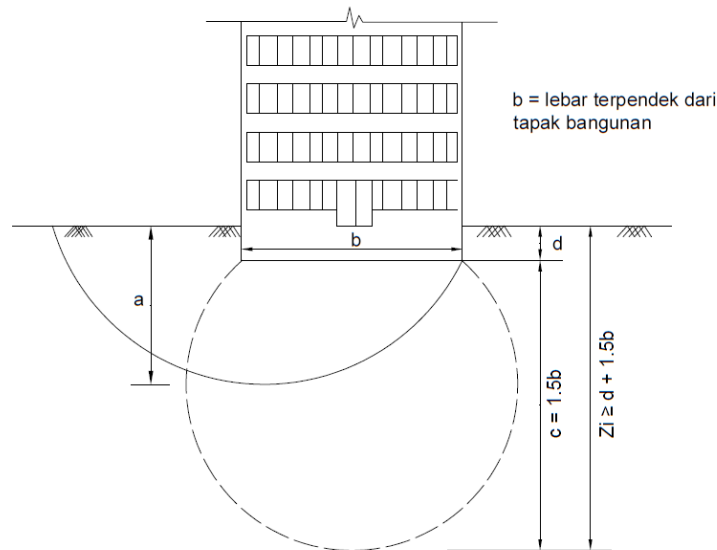
Bila memungkinkan, sebelum melakukan penyelidikan lapangan sebaiknya perancang dapat mengumpulkan data-data terkait kondisi topografi lokasi pekerjaan; lokasi-lokasi bangunan yang terpendam di dalam tanah seperti kabel telepon, pipa-pipa, saluran air kotor dan air bersih; pengalaman setempat terkait kerusakan-kerusakan bangunan yang sering terjadi di sekitar lokasi pekerjaan; kondisi tanah secara global, muka air tanah, dan kedalaman batuan; keadaan iklim, elevasi muka air banjir, erosi, dan besaran gempa yang sering terjadi; ketersediaan material alam dan kualitasnya; data geologi yang mencakup keterangan mengenai proses pembentukan lapisan tanah dan batuan, serta kemungkinan terjadinya penurunan tanah maupun bangunan akibat penurunan muka air tanah; hasil penyelidikan laboratorium pada contoh-contoh tanah dan batuan; foto kondisi lapangan dan bangunan di dekatnya; susunan dan jarak antar kolom serta beban bangunan yang akan dibangun; atau tipe rangka bangunan dan bentangnya. Selain itu, indikasi atau potensi kontaminasi tanah

atau gas tanah harus dianalisa dan diperhitungkan terlebih dahulu dengan mengandalkan sumber-sumber yang relevan. Jika pada saat penyelidikan terdeteksi terdapat kontaminasi tanah ataupun gas, maka harus dilaporkan kepada klien dan pihak yang berwenang.

Penyelidikan lapangan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pengeboran atau penggalian lubang uji guna pengambilan contoh tanah, pengukuran muka air tanah, dan uji lapangan.

- Pengeboran atau penggalian lubang uji dan pengambilan contoh tanah
Pemilihan lokasi dan kedalaman titik penyelidikan harus dilakukan berdasarkan kondisi geologi yang diperoleh dari studi meja maupun penyelidikan awal serta dimensi struktur dan masalah teknis yang akan dihadapi. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam menentukan lokasi titik penyelidikan adalah titik penyelidikan harus diatur dalam pola yang sedemikian lupa sehingga stratifikasi tanah yang melintasi lokasi pembangunan dapat diperoleh; titik penyelidikan untuk bangunan atau struktur harus ditempatkan pada titik-titik kritis tergantung dari bentuk, perilaku struktural dan distribusi beban yang diharapkan (misalnya pada sudut-sudut area fondasi); untuk struktur linear, titik penyelidikan harus diatur pada jarak yang cukup terhadap sumbu bangunan, tergantung pada lebar keseluruhan struktur, seperti tapak timbunan atau galian; untuk struktur pada atau dekat lereng dan pada medan bertangga (termasuk galian), titik penyelidikan juga harus dirancang sampai di luar area proyek, sehingga stabilitas lereng atau galian dapat dievaluasi; apabila dipasang angkur, pertimbangan harus diberikan pada tegangan yang akan terjadi pada zona transfer beban; titik penyelidikan harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan bahaya bagi struktur, pekerjaan konstruksi, atau lingkungan (misalnya sebagai akibat dari perubahan kondisi tanah dan air tanah); area penyelidikan tanah harus meliputi daerah yang berdekatan sampai pada jarak dimana tidak ada pengaruh bahaya pada struktur yang berdekatan; serta untuk titik pengukuran air tanah, penggunaan alat yang dapat memantau secara

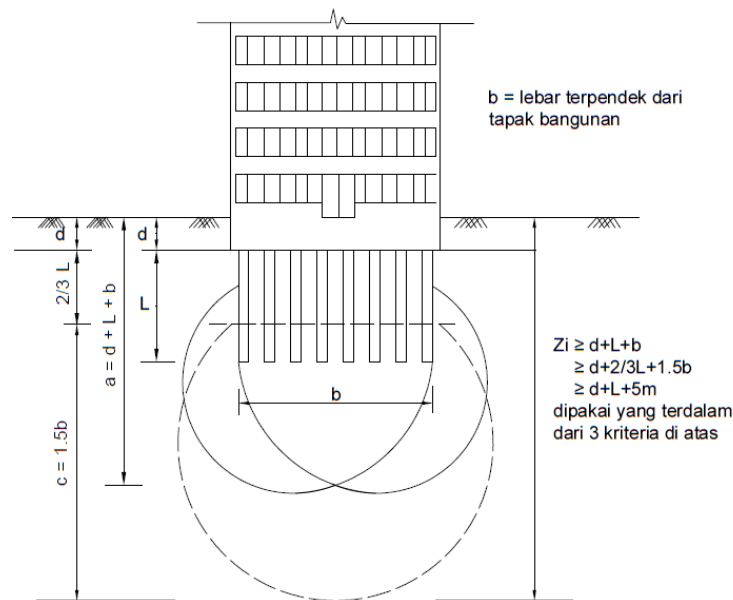
kontinu selama penyelidikan tanah sampai pasca masa konstruksi dipertimbangkan.



Gambar 10.1 Petunjuk kedalaman penyelidikan tanah untuk bangunan [2]

Dalam menentukan jarak titik penyelidikan, apabila tanah dalam kondisi yang relatif seragam atau tanah memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup, maka dapat ditentukan jarak titik penyelidikan yang lebih jauh atau jumlah titik penyelidikan yang lebih sedikit. Pemilihan opsi ini juga harus dijustifikasi dengan mengacu pada pengalaman setempat. Apabila di lokasi tertentu direncanakan akan dilakukan lebih dari 1 penyelidikan (misalnya CPT dan pengambilan contoh dengan tabung piston), maka jarak titik penyelidikan harus dibuat cukup jauh. Sedangkan apabila kombinasi penyelidikan tanah akan dilakukan, misalnya CPTs dan pengeboran, maka CPTs harus dilakukan terlebih dahulu sebelum pengeboran. Jarak antara CPT dan pengeboran harus dibuat cukup jauh sehingga lubang bor tidak akan memotong lubang CPT. Jika pengeboran dilakukan sebelum CPT, maka CPT harus dilakukan pada jarak sekurang-kurangnya 2 meter dari lubang bor. Kedalaman penyelidikan tanah yang direncanakan harus mencakup seluruh lapisan yang akan mempengaruhi dan terpengaruh oleh

pekerjaan konstruksi. Lokasi titik-titik penyelidikan tanah harus diusahakan sedekat mungkin dengan letak dimana fondasi akan dibangun, terutama apabila bentuk lapisan tanah pendukung fondasi tidak beraturan. Denah bor biasanya disusun dalam bentuk segiempat apabila denah struktur belum tersedia ketika penyelidikan lapangan dilakukan.



Gambar 10. 2 Petunjuk Kedalaman Penyelidikan Tanah untuk fondasi bangunan dengan tiang [2]

Untuk konstruksi bangunan gedung bertingkat dengan 8 atau lebih tingkat, jumlah minimum penyelidikan tanah yang dianjurkan adalah satu titik setiap 300 m². Titik yang dipilih harus membentuk pola grid dengan jarak 10 m sampai 30 m dengan minimum 3 (tiga) titik per blok menara. Apabila terdapat beberapa menara yang terletak berdekatan, maka dapat dijadikan satu kesatuan dan digunakan kaidah yang sama. Untuk konstruksi bangunan gedung dengan 4 sampai 7 lantai, jumlah minimum penyelidikan tanah yang dianjurkan adalah satu titik setiap 400 m² dan harus membentuk pola grid

dengan jarak 15 m sampai 40 m dengan minimum 2 titik per gedung. Jika beberapa gedung terdapat berdekatan, maka diperbolehkan untuk dijadikan satu kesatuan. Untuk kedua jenis struktur tersebut, penambahan titik penyelidikan dapat dilakukan apabila ternyata hasil investigasi menunjukkan adanya anomali lapisan tanah.

Pengambilan contoh tanah dan jumlah contoh yang diambil harus disesuaikan dengan tujuan penyelidikan, geologi lapangan, dan kompleksitas struktur geotekniknya. Pengambilan contoh tanah dapat dilakukan dengan cara pengeboran maupun dengan galian. Pengambilan sampel tanah dengan bor bertujuan untuk mengetahui lapisan tanah pendukung yang dilakukan secara visual, mengukur muka air tanah, sekaligus untuk melakukan uji SPT yang akan menghasilkan nilai N-SPT [4].

Pengambilan dengan pengeboran dilakukan dengan menekan tabung contoh tanah (sampler) yang dipasang pada ujung bawah batang bor secara hati-hati untuk memperoleh sampel tanah undisturbed. Contoh tanah dapat diperiksa di dalam pipa bor yang ditarik keluar pada waktu pengeboran dilakukan. Apabila ditemukan adanya perubahan jenis tanah pada tahap ini, maka kedalaman perubahan jenis tanah akan dicatat beserta dengan kedalamannya, dan akan diambil contoh tanah tambahan. Untuk lapisan-lapisan yang penting diketahui karakteristik tanahnya, pengambilan contoh kontinu (continuous sampling) mungkin dilakukan. Bila pengeboran dilakukan pada lapisan batuan seperti inti batu (rock core), maka sampel diambil dengan menggunakan bor putar (rotary drill).

Teknik pengambilan sampel tanah juga harus dibedakan antara jenis tanah yang kohesif, jenis tanah yang non-kohesif, dan jenis tanah berpasir. Pengambilan contoh tanah asli dilakukan dengan mempergunakan tabung

yang telah diolesi dengan oli pada bagian dalamnya agar tanah tidak lengket pada dinding bor ketika tabung ditekan ke dalam tanah [5]. Untuk tanah kohesif (kelempungan) atau cemented, contoh tanah asli masih dapat diambil dengan mudah dengan menerapkan berbagai metode pengambilan yang ada. Untuk tanah berpasir, jarang sekali dapat diperoleh contoh tanah yang benar-benar asli. Hal ini karena tanah berpasir rentan mengalami perubahan volume ketika proses pengeboran, penanganan pengambilan contoh tanah itu sendiri, maupun dari getaran yang terjadi selama mobilisasi sampel dari lokasi pengambilan ke laboratorium. Tanah berpasir memiliki butiran lepas dan mudah longsor. Tanah berpasir juga memiliki butiran-butiran yang kasar sehingga menyebabkan perubahan kerapatan tanah tersebut. Hal ini akan menjadi kendala dalam proses identifikasi sifat, karena sifat teknis dari tanah berpasir sangat bergantung pada kerapatannya. Oleh karenanya, sifat teknis dari tanah berpasir umumnya didapat dari pelaksanaan uji langsung maupun tidak langsung di lapangan. Contoh asli tanah berpasir umumnya dapat dikesampingkan karena tanah berpasir merupakan jenis tanah yang mudah meloloskan air dan mudah dipadatkan sehingga umumnya tidak menimbulkan kesulitan dalam analisis jenis fondasi yang cocok untuk jenis tanah ini. Contoh tanah berpasir yang benar-benar asli hanya diperlukan apabila terjadi masalah likuifaksi sewaktu terjadi gempa atau pengaruh seismik lainnya.

Setelah sampel tanah berhasil diambil, maka sampel tanah harus benar-benar dijaga kondisinya untuk mencegah sampel tanah terkena gangguan luar. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kondisi contoh tanah dapat berupa perubahan kondisi tegangan dari lapangan, perubahan kadar air tanah dan angka pori, perubahan susunan butir tanah, dan perubahan kandungan bahan kimia tanah. Penanganan sampel tanah dilakukan dengan cara membersihkan dan menutup bagian ujung tabung contoh tanah dengan lilin setelah tabung dikeluarkan dari lubang bor. Hal ini bertujuan agar kadar air tanah tidak berubah serta untuk mencegah tanah terkena gangguan yang

mungkin timbul dalam perjalanan ke laboratorium. Selain itu, bagian ujung atas dan ujung bawah tanah harus ditandai dengan benar sehingga ketika akan dilakukan pengujian di laboratorium, dapat diketahui ke arah mana contoh tanah harus dikeluarkan dari tabung [6]. Contoh tanah asli sangat diperlukan guna mendapatkan parameter kekuatan, sifat, deformasi, maupun sifat permeabilitas tanah. Meskipun demikian, contoh tanah yang sudah terganggu juga masih dapat digunakan dalam menentukan jenis, klasifikasi, serta uji kimia yang diperlukan.

Untuk kepentingan indentifikasi dan klasifikasi, perlu disediakan minimal satu lubang bor atau galian uji (test pit) dengan pengambilan contoh tanah. Contoh tanah yang diambil juga harus diperoleh dari setiap lapisan tanah yang mungkin berpengaruh pada perilaku struktur. Pengambilan contoh tanah dapat diganti dengan uji lapangan jika terdapat data berdasarkan pengalaman setempat yang memadaitentang korelasi uji lapangan dengan kondisi tanah untuk memastikan penafsiran yang tidak ambigu terhadap hasilnya.

a. Pengukuran muka air tanah

Pengukuran muka air tanah bertujuan untuk menentukan kedalaman muka air tanah atau profil tekanan air beserta fluktuasinya. Data kedalaman air tanah yang diobservasi harus benar-benar akurat dan diperiksa dengan teliti. Kesalahan pada data muka air tanah yang diperoleh dapat menimbulkan kendala pada saat pembangunan fondasi karena mempengaruhi perhitungan atau analisis stabilitasnya.

Pengukuran air tanah harus dievaluasi agar sesuai dengan aspek-aspek seperti kondisi geologi dan geoteknik lapangan, keakuratan setiap pengukuran, fluktuasi tekanan air pori terhadap waktu, durasi periode observasi, musim pengukuran dan kondisi iklim selama dan sebelum

periode tersebut. Hasil evaluasi pengukuran air tanah harus mencakup ketinggian maksimum dan minimum muka air tanah yang diamati, atau tekanan air pori, serta periode pengukurannya; batas atas dan bawah dari kondisi ekstrim dan normal harus diperoleh dari data yang terukur, dengan menambah atau mengurangi fluktuasi yang diharapkan atau bagian dari fluktuasi, terhadap kondisi ekstrim atau normal yang bersangkutan. Kurangnya data yang dipercaya untuk selang waktu setelah pengukuran mengharuskan kehati-hatian dalam penggunaan data pengukuran yang didapatkan dari informasi terbatas yang ada. Kebutuhan untuk melakukan pengukuran lebih lanjut, atau memasang stasiun pengukuran tambahan harus dipertimbangkan untuk dilakukan selama penyelidikan lapangan dan dituangkan dalam laporan penyelidikan tanah.

b. Uji lapangan

Sebelum melaksanakan uji lapangan, data-data mengenai profil tanah, kedalaman penyelidikan, dan elevasi permukaan tanah serta kedalaman air tanah harus disediakan terlebih dahulu. Jika hasil penyelidikan tidak sesuai dengan informasi awal tentang lokasi penelitian dan/atau tujuan penyelidikan, maka diperlukan pengujian tambahan atau perubahan metode pengujian dan harus segera diinformasikan kepada klien. Pengevaluasian hasil uji lapangan harus bisa mempertimbangkan setiap informasi tambahan tentang kondisi tanah, terutama dalam hal menjabarkan parameter geoteknik.

Kemungkinan pengaruh dari peralatan yang digunakan terhadap parameter geoteknik juga harus dipertimbangkan. Jika korelasi digunakan dalam menjabarkan parameter geoteknik, maka harus dipertimbangkan relevansinya terhadap jenis pekerjaan yang dilakukan. Dalam hal menggunakan korelasi, maka harus dipastikan bahwa kondisi tanah di

lapangan yang meliputi jenis tanah, indeks konsistensi, koefisien keseragaman, dan sebagainya benar-benar sesuai dengan kondisi batas yang dibutuhkan untuk penggunaan korelasi tersebut. Pengalaman lokal atau hasil penyelidikan sebelumnya juga harus dipertimbangkan jika ada.

Uji lapangan yang dilakukan dapat berupa uji penetrasi standar (Standard Penetration Test, SPT), uji sondir (CPT, CPTU, CPTM), uji pressuremeter (PMT), uji dilatometer datar (Flat Dilatometer Test, DMT), uji geser baling lapangan (Field Vane Shear Test, FVT), uji pembebanan pelat (Plate Loading Test, PLT), dan uji pendugaan dinamis (Dynamic Probing Test).

- Uji penetrasi standar (Standard Penetration Test, SPT)

Uji SPT bertujuan untuk menentukan besar tahanan tanah pada dasar lubang bor terhadap penetrasi dinamis dari split barrel sampler (konus padat) dan memperoleh contoh tanah terganggu untuk tujuan identifikasi tanah. Uji SPT digunakan terutama untuk menentukan kekuatan dan sifat deformasi tanah berbutir kasar. Alat yang digunakan dalam pengujian SPT adalah Standard Split Barrel Sampler atau tabung belah standar yang dimasukkan ke dalam Bore Hole setelah dibor terlebih dahulu dengan alat bor. Alat ini kemudian akan diturunkan bersama-sama dengan pipa bor hingga ujungnya menumpu ke tanah dasar. Kemudian, alat ini akan dipukul dengan alat pemukul yang beratnya 63.5 kg yang ditarik naik turun dengan tinggi jatuh 76.2 cm. Pada pukulan pertama, tabung belah standar dipukul sedalam 15 cm. kemudian dilanjutkan dengan pemukulan tahap kedua sedalam 30.48 cm. Jumlah pukulan tahap kedua ini akan muncul nilai “N” yang menyatakan jumlah pukulan yang diperlukan untuk membuat tabung belah standar mencapai kedalaman 30.48 cm. Nilai “N” ini nantinya akan digunakan sebagai indikasi kemungkinan model keruntuhan

fondasi yang akan terjadi [7]. Hubungan antara nilai N dengan kerapatan relatif berdasarkan teori Terzaghi dan Peck adalah sebagai berikut:

Tabel 10.1 Hubungan nilai N dengan kerapatan relatif untuk *coarse grained soil*

Nilai N	Kerapatan Relatif (Dr)
<4	Sangat Tidak Padat
4 – 10	Tidak Padat
10 – 30	Kepadatan Sedang
30 – 50	Padat
<50	Sangat Padat

Tabel 10.1 Hubungan nilai N dengan konsistensi untuk *fine grained soil* [8]

Nilai N	Konsistensi
<2	Sangat lunak
2 – 4	Lunak
4 – 8	Konsistensi sedang
8 – 15	Kaku
15 – 30	Sangat Kaku
> 30	Keras

- Uji sondir (CPT)

Pengujian sondir atau CPT (Cone Penetration Test) dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan (penetrasi quasi statik). Parameter perlawanan tersebut berupa perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s), angka banding geser (R_f), dan geseran total tanah (T_f). Parameter tanah tiap lapisan dapat diperoleh dan dianalisis dengan pengujian sondir atau CPT. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus (q_c) dari hasil pengujian dapat digunakan untuk mengestimasi kapasitas dukung tanah [9]. Data CPT tersebut nantinya dapat digunakan untuk menetapkan kapasitas dukung yang diperbolehkan dan untuk merancang fondasi. Data-data tersebut juga dapat digunakan untuk menguatkan metode-metode pengujian lain dan dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi tanah.

- Uji Pressuremeter (PMT)

Uji pressuremeter (PMT) adalah uji lapangan yang terdiri dari probe silinder panjang yang dikembangkan secara radial di dalam tanah sekelilingnya, dengan menggunakan sejumlah cairan bertekanan pada waktu pemompaan probe. Ada empat jenis alat yang umumnya tersedia, antara lain Pre-bored pressuremeter (PBP) misalnya test dilatometer fleksibel (FDT); Menard pressuremeter (MPM), bentuk spesifik dari PBP; Self-boring pressuremeter (SBP); dan Full-displacement pressuremeter (FDP). Prinsip dasar dari pengukuran ini adalah untuk menghasilkan tekanan radial terhadap sisi lubang dengan menggunakan tekanan di measuring cell pada probe dan pembacaan volume terekam di volumemeter. Membran (selaput) dikembangkan berlawanan dengan tanah dengan air dan gas minyak dibawah tekanan. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara tekanan yang digunakan dengan deformasi tanah. Besaran deformasi tanah diperoleh dari pencatatan volume fluida yang dimasukkan ke tengah pressuremeter. Selama pengukuran, tekanan dan perpindahan volume akan dipertahankan selama pengukuran. Data-data tersebut akan digunakan untuk menghasilkan kurva tekanan terhadap pergantian volume. Dari pengukuran ini, akan dihasilkan parameter berupa limit pressure dan modulus elastisitas tanah.

Tabel 10.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir [10]

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc (kg/cm ²)	fs	
6,0	0,15 – 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 – 10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20 – 0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc (kg/cm ²)	fs	
	0,10	Kerikil lepas
10,0 – 30,0	0,10 – 0,40	Pasir lepas
	0,40 – 0,60	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80 – 2,00	Lempung agak kenyal
30 - 60	1,50	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 – 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
	1,0	Kerikil kepasiran lepas
60 – 150	1,0 – 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150 – 300	1,0 – 2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar, pasir kelanauan sangat padat

- Uji dilatometer datar (*Flat Dilatometer Test*, DMT)

Uji dilatometer datar (DMT) dilakukan untuk mengukur kekuatan dan deformasi sifat tanah lapangan. Alat ini berupa sebuah pisau (blade) dengan lebar 95 mm, panjang 240 mm, dan tebal 15 mm dan ditengahnya terdapat suatu membrane pelat bundar yang dapat bergerak ke luar secara horizontal jika dikembangkan dengan tekanan [11]. Dari hasil dilatometer akan diperoleh data yang biasa disebut 3 (tiga) indeks parameter dilatometer [12], yaitu modulus dilatometer, indeks tegangan lateral, dan indeks material.

- Uji geser baling lapangan (*Field Vane sheat test*, FVT)

Uji geser baling lapangan dilakukan guna mengukur tahanan terhadap rotasi lapangan dari baling-baling yang dipasang pada tanah lunak berbutir halus. Pengujian ini bertujuan menentukan kuat geser lempung tak terdrainase dan sensitivitas secara in situ. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah Vane Shear Test (VST). Prosedur pengujian dilakukan dengan memasang VST pada ujung bor, kemudian kipas

beserta tangkainya ditekan ke dalam tanah dan diputar dengan kecepatan 6 sampai 12 derajat per menit. Besarnya torsi yang dibutuhkan untuk memutar kipas diukur karena tanah akan tergeser menurut bentuk silinder vertikal yang terjadi di pinggir baling-baling. Jika dimensi dan gaya puntiran tanah diketahui, maka tahanan geser tanah dapat dihitung. Pengukuran dilakukan sepanjang kedalaman tanah yang diselidiki dengan jarak interval sekitar 30 cm. Bila lubang dari alat bor digunakan dalam pengukuran, maka kipas ditancapkan dalam jarak minimal 3 kali diameter lubang bor diukur dari dasarnya. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan penyelidikan pada tanah yang tidak terganggu oleh kegiatan pengeboran. Kuat geser tanah yang telah berubah susunan tanahnya (remolded) dapat pula dilakukan dengan mengukur torsi minimum yang dibutuhkan untuk memutar baling-baling secara cepat dan kontinu.

- Uji pembebanan pelat (*Plate Loading Test, PLT*)

Uji pembebanan pelat dilakukan untuk menentukan deformasi vertikal dan kekuatan dari suatu massa tanah dan batuan di lapangan melalui pencatatan beban dan penurunan saat pelat kaku yang dimodelkan sebagai fondasi membebani tanah. Uji pembebanan pelat cocok dilakukan untuk penyediaan tanah timbunan atau tanah yang mengandung banyak kerikil atau batuan dimana uji-lapangan sulit dilakukan. Pengujian ini menggunakan pelat berbentuk lingkaran. Diameter pelat antara 30, 24, 18, dan 12 inci. Pelat diposisikan sesuai ukurannya, dengan pelat diameter terbesar di posisi yang paling bawah, sedangkan beban akan dikenakan pada pelat dengan diameter paling kecil. Sistem pembebanan yang digunakan dapat berupa sistem beban kontra yang berupa meja beban yang di atasnya diletakkan tumpukan beban dan sistem angker, yaitu berupa tiang angker dari baja atau beton yang tertanam dalam tanah dan ditempatkan di sekitar tanah uji. Beban

ini akan disalurkan pada pelat di bawahnya dan dihubungkan ke ari baja atau beton yang tertanam dalam tanah dan ditempatkan di sekitar tanah uji. Beban ini akan disalurkan pada pelat di bawahnya dan dihubungkan ke *hydraulic jack*. Defleksi yang terjadi kemudian diukur melalui *dial gauges* yang diletakan pada beberapa titik di atas pelat dengan posisi sepertiga dari bagian terluar pelat. Beberapa pelat umumnya digunakan untuk menambah kekakuan.

- Uji pembebanan dinamis (*Dynamic Probing Test, DP*)

Uji pendugaan dinamis dilakukan untuk menentukan tahanan dari tanah dan batuan lunak di lapangan akibat penetrasi dinamis konus. Hasil uji pendugaan dinamis harus digunakan terutama untuk penentuan profil tanah bersama dengan hasil pengambilan contoh menggunakan pengeboran dan penggalian atau sebagai perbandingan relative pengujian lapangan yang lainnya. Pengujian ini juga dapat digunakan untuk menentukan kekuatan dan deformasi sifat tanah yang umumnya berbutir kasar, tetapi juga dapat digunakan untuk tanah berbutir halus dengan menggunakan korelasi yang sesuai. Selain itu, hasil pengujian juga dapat digunakan untuk menentukan kedalaman lapisan tanah yang sangat padat yang menunjukkan misalnya panjang tahanan ujung tiang.

b. Pengujian Laboratorium

Sebelum melakukan pengujian di laboratorium, perlu dilakukan inspeksi visual pada contoh tanah dan galian uji (test pit) dan dibandingkan dengan data bor sehingga diperoleh profil tanah awal. Untuk contoh tanah, inspeksi visual juga harus didukung oleh uji manual sederhana guna identifikasi dan memberi informasi awal mengenai konsistensi dan sifat mekanik tanah. Profil tanah harus dibagi lagi menjadi dua lapisan apabila ditemukan perbedaan yang signifikan pada sifat antara bagian yang berbeda dari satu strata. Pengujian harus dilakukan terhadap benda uji

yang mewakili tiap lapisan tanah. Untuk memastikan hal tersebut, dapat dilakukan uji klasifikasi pada tanah atau benda uji yang dipakai.

Jumlah benda uji harus ditetapkan berdasarkan tingkat homogenitas tanah, kualitas, dan jumlah pengalaman pada tanah tersebut disesuaikan dengan kategori permasalahan geoteknik. Benda uji tambahan juga perlu disediakan untuk mengantisipasi tanah yang bermasalah, benda uji yang rusak, serta faktor-faktor lain. Untuk timbunan atau lapisan pasir atau kerikil, dapat digunakan benda uji yang dibentuk ulang (*reconstituted specimens*) dengan syarat memiliki komposisi, kepadatan, dan kadar air yang kurang lebih sama dengan material yang asli di lapangan.

Berdasarkan American Standard Testing and Material (ASTM), pengujian sampel tanah di laboratorium meliputi uji Indeks Properties; uji kuat geser tanah; uji kompresibilitas; uji permeabilitas; uji kompaksi; dan uji California Bearing Ratio [13]. Namun dalam penerapannya, pengujian laboratorium yang dibutuhkan dalam penyelidikan tanah bangunan hanya mencakup uji indeks properties, uji kuat geser tanah, dan uji konsolidasi.

- Uji Indeks Properties

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter sifat-sifat fisik tanah yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah serta memberikan hubungan dengan sifat-sifat mekanis seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembang serta permeabilitas tanah. Pengujian ini terdiri dari pengujian kadar air, berat jenis, berat isi, uji saringan, uji hidrometer, dan uji batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*).

Pengujian kadar air (*Moisture Content*) bertujuan untuk mencari besaran kadar air dalam contoh tanah. Kadar air adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah. Nilai kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%).

Pengujian berat jenis (*Specific Gravity*) bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis yang merupakan fungsi perbandingan antara berat isi butir tanah terhadap berat isi air pada temperatur 4°C dan tekanan 1 atmosfer. Berat jenis tanah dipengaruhi oleh sifat mineralogi tanah [14]. Berat jenis tanah digunakan pada hubungan fungsional antara fase udara, air, dan butiran dalam tanah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan botol Erlenmeyer.

Pengujian berat isi (*Bulk Density*) dilakukan untuk mendapatkan nilai perbandingan antara berat tanah per-satuan volume. Sedangkan pengujian berat isi kering (*Dry Density*) dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara berat tanah kering per satuan volume.

Uji saringan (*Grain Size Analysis*) bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah dengan mencari persentase berat dari tiap-tiap butir tanah. Agar pengujian laboratorium yang lain dapat berguna secara efektif, penentuan distribusi ukuran butir tanah sangat penting dilakukan karena sifat ini berkaitan erat dengan perilaku teknis tanah [15]. Pengujian ini dilakukan pada tanah berbutir kasar dengan menggunakan prinsip analisa saringan. Benda uji akan diayak dengan menggunakan satu set saringan dengan ukuran lubang yang berbeda-beda, untuk kemudian dihitung berat tanah yang tertinggal dalam setiap saringan dan dihitung persentasenya terhadap berat kumulatifnya.

Uji hidrometer (*Hydrometer Analysis*) bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah untuk tanah yang berbutir halus. Pengujian ini menggunakan prinsip kecepatan pengendapan butiran pada larutan suspensi tanah. Hukum stokes digunakan sebagai dasar pengujian, dimana tanah yang ukuran butirannya lebih besar akan mengendap lebih

cepat dibandingkan tanah yang butirannya lebih kecil. Analisis terhadap komposisi ukuran butir tanah ini juga dapat digunakan untuk mengetahui potensi kehancuran tanah [16].

Pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) bertujuan untuk mencari besaran perbandingan berat air yang mengisi ruang pori dengan berat tanah kering pada kondisi batas cair/plastis. Batas-batas Atterberg yang dicari meliputi batas susut (*shrinkage limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas cair (*liquid limit*) serta indeks plastisitas (*plasticity index*).

- Uji Kuat Geser Tanah

Pengujian kuat geser tanah meliputi uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression*), uji triaksial (*Triaxial Unconsolidated Undrained*), dan uji geser langsung (*Direct Shear*).

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan untuk mendapatkan parameter nilai kuat tekan bebas (q_u), khususnya pada tanah kohesif atau lempung. Kuat tekan bebas (q_u) adalah besarnya tegangan aksial maksimum per satuan luas yang dapat ditahan oleh benda uji silindris mengalami keruntuhan geser atau ketika regangan aksial mencapai 20%. Percobaan ini dilakukan pada sampel tanah dalam keadaan asli maupun buatan (*remolded*). Dari kuat tekan bebas, dapat diketahui berapa besarnya kekuatan geser *undrained* (C_u) dan derajat kepekaannya.

Pengujian triaksial konvensional dilakukan dengan mengbungkus benda uji silinder dengan membran karet dan meletakkannya di dalam sel triaksial untuk diberi tekanan fluida. Beban aksial kemudian akan diberikan dan ditingkatkan sampai keruntuhan terjadi. Pada kondisi tersebut, tegangan minor dan pertengahan, masing-masing σ_3 dan σ_2 , sama dengan tekanan fluida; tegangan utama mayor, σ_1 , disediakan oleh

baik tekanan fluida dan tegangan aksial yang diberikan oleh piston beban. Ada tiga kondisi drainase selama pemberian tekanan sel dan beban aksial yang menjadi dasar klasifikasi umum tes kompresi triaksial, yaitu tak terkonsolidasi dan tak terdrainase (UU), terkonsolidasi-tak terdrainase (CU), dan terkonsolidasi-terdrainase (CD).

Pengujian *Direct Shear* bertujuan untuk mendapatkan besaran kekuatan geser tanah dengan mengubah tegangan aksial atau normal pada beberapa contoh tanah. Hasil pengujian *Direct Shear* dapat digunakan untuk menganalisa stabilitas lereng, daya dukung fondasi, analisis dinding penahan tanah, dan sebagainya.

- Uji Konsolidasi

Ketika suatu lapisan lempung jenuh dibebani oleh suatu massa di atasnya, maka akan timbul tiga jenis penurunan, yaitu penurunan awal, penurunan konsolidasi, dan pemampatan sekunder (konsolidasi). Pengujian konsolidasi di laboratorium biasanya digunakan untuk mengevaluasi penurunan konsolidasi dan pemampatan sekunder yang terjadi. Uji konsolidasi bertujuan untuk menentukan sifat kemampuan tanah dan karakteristik konsolidasinya sebagai fungsi dari permeabilitas tanah. Sifat kemampuan tanah dapat dinyatakan dengan koefisien kemampuan volume (m_v) atau dengan indeks kompresi (C_c), sedangkan karakteristik konsolidasi dinyatakan dengan koefisien konsolidasi (C_v) yang menyatakan kecepatan kompresi tanah terhadap waktu.

Pemeriksaan Kesesuaian Hasil Penyelidikan Selama Konstruksi

Apabila diperlukan, dapat dilakukan sejumlah pemeriksaan dan uji tambahan selama konstruksi guna memeriksa dan memastikan apakah kondisi tanah asli di lapangan sudah relevan dengan hasil penyelidikan tahap perancangan.

Pemeriksaan dan uji tambahan ini juga dimaksudkan untuk menentukan apakah sifat-sifat material konstruksi serta pekerjaan konstruksi sudah sesuai dengan yang sudah diantisipasi berdasarkan hasil penyelidikan sebelumnya.

Pemeriksaan kesesuaian antara kondisi lapangan dengan penyelidikan sebelumnya dapat dilakukan melalui langkah-langkah seperti memeriksa profil tanah saat membuat galian, inspeksi dasar galian, mengukur tinggi muka air tanah atau tekanan air pori dan fluktuasinya, mengukur perilaku bangunan atau fasilitas sipil sekitar pembangunan, dan mengukur perilaku kegiatan konstruksi yang sedang dilakukan. Dari hasil pemeriksaan tersebut, harus dilakukan analisa ulang dan dibandingkan dengan perancangan yang telah disusun berdasarkan penyelidikan awal. Apabila diperlukan, perubahan rancangan desain dapat dilakukan jika ditemukan ketidaksesuaian antara hasil penyelidikan awal dengan temua-temuan yang baru.

1.3 Penutup

Penyelidikan tanah merupakan kegiatan yang mutlak dilakukan sebelum konstruksi suatu struktur direncanakan dan dilaksanakan. Kegiatan penyelidikan tanah dimulai dari tahap penentuan titik-titik lokasi dan kedalaman pengambilan sampel tanah. Penentuan titik penyelidikan harus diusahakan sedekat mungkin dengan titik dimana fondasi akan dibangun sehingga hasil penyelidikan dapat merepresentasikan kondisi dan perilaku tanah asli di lapangan serta dapat digunakan sebagai acuan desain fondasi atau perkuatan yang diperlukan. Data-data parameter tanah untuk desain dapat diperoleh dari hasil pengujian baik di lapangan maupun di laboratorium, menyesuaikan dengan keperluan konstruksi bangunan yang bersangkutan. Seluruh tahapan dalam penyelidikan tanah harus dilakukan secara hati-hati dan teliti serta mengacu pada standar atau aturan yang telah ditetapkan. Kekeliruan dan kelalaian dalam penentuan data teknis tanah dapat menimbulkan kesalahan pada perhitungan analisa fondasi atau bahkan mengancam keberlangsungan bangunan yang berada di atasnya. Oleh karena itu, diperlukan tenaga ahli dan perancang yang benar-benar berkompeten dan kredibel

untuk melaksanakan kegiatan penyelidikan tanah. Hasil dari penyelidikan tanah pada awal perencanaan desain juga harus diperiksa ulang pada saat tahap konstruksi dilaksanakan. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa desain fondasi yang telah dibuat benar-benar dapat diterapkan, aman, dan relevan dengan kondisi profil tanah di lokasi pembangunan.

Referensi

- [1] Simorangkir, S. P. (2021). Analisis Penyelidikan Tanah Perencanaan Pembangunan Pasar Baru di Penyabungan Kabupaten Mandailing Sumatera Utara. *Buletin Utama Teknik*, 16, 186-194.
- [2] Indonesia. Direktorat Jenderal Bina Marga. *Laporan Mekanika Tanah*. <http://dw.binamarga.pu.go.id/invit/dokumen/LAPORAN%20MEKANIKA%20TANA H.pdf>
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: BSN.
- [4] Juliana, N. & Tarbiyatno (2019). Hubungan Daya Dukung Tanah Berdasarkan Hasil Sondir, SPT, dan Laboratorium Pada Rencana Pembangunan Gedung Multi Lantai di Lokasi Balige. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 5, 45-49.
- [5] Sandjaja, G. S. & Prihatiningsih, A. (2018). *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah*. Jakarta: Universitas Tarumanagara.
- [6] Aidie, S. (2009, Agustus 5). *Penyelidikan Tanah di Lapangan*. Retrieved from Mata Kuliah : <http://teorikuliah.blogspot.com/2009/08/penyelidikan-tanah-di-lapangan.html>
- [7] Terzaghi, Karl & Peck, R. B. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: John Wiley & Sons.
- [8] Vidayanti, D. & Widyawaty, N. (2016). The Mapping of Soil Bearing Capacity and The Depth of Hard Stratum For Supporting Pile Based on N-SPT Value in Jakarta. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11, 14361-14368.
- [9] Ali, F., Najib N., & Ali, R. K. (2018). Kajian Geoteknik untuk Perencanaan Pembangunan Pemukiman Baru pada Kawasan Handil Berkat Makmur, Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 1, 50-58.
- [10] Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. (N. E. Mochtar dan I. B. Mochtar, Terjemahan). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [11] Moeno, H. U. (2011) Penentuan Parameter Geoteknik Tanah Residual Tropis Melalui Pengujian Dilatometer. *Jurnal Teknik Sipil*, 18, 91-102.
- [12] Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G., & Calabrese, M. (200,1). The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations, *A Report by the ISSMGE Committee*. 41 pp. Reprinted in Proc. DMT 2006, Washington D.C.

- [13] Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, *Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah*
- [14] Kalinski, Michael E., 2011, *Soil Mechanics Lab Manual 2nd Edition*. Lexington: John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Mallo, S. J., & Akuboh, I. N. (2012). Geotechnical Investigation of Soils: A Case Study of Gombe Town (Sheet 152NW), North Eastern Nigeria. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2, 4280-4286.
- [16] Prihatiningsih, A., Susilo, A. J., & Sentosa, G. S. (2019). Potensi Kehancuran Tanah Lanau Kelempungan Yang Dipadatkan di Laboratorium Dengan Kandungan Lempung Yang Berbeda. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 3, 137-144.

Profil Penulis

Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M.



Adalah dosen tetap Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara sejak tahun 1990, lulus sarjana Teknik sipil dari Universitas Tarumanagara tahun 1988, studi Magister Manajemen diselesaikannya di Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi IPWIJA tahun 2000. Dalam pengalamannya sebagai dosen telah mengajar mata Matematika, Analisis Numerik, kuliah Mekanika Tanah, Rekayasa Fondasi, Rekayasa Geoteknik, membimbing praktikum di

Laboratorium Mekanika Tanah, membimbing skripsi mahasiswa tingkat sarjana. Pengalaman meneliti telah dilakukan sejak mengabdikan sebagai dosen, bersama Tim Peneliti memperoleh dana penelitian dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan pada tahun 2013 (sebagai ketua), 2014 (sebagai ketua), 2015 (sebagai ketua dan anggota), 2016 (sebagai anggota). Tahun 2018, salah satu karya penelitian bersama Tim Penelitinya yang dipublikasikan dalam Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 12 (KoNTekS 12) di Batam mendapat penghargaan sebagai Best Paper bidang Geoteknik. Terdaftar sebagai anggota HATTI dari tahun 1994 hingga sekarang. Pada periode tahun 2009-2012 telah dipercaya mengelola Program Studi Teknik Sipil di tempatnya berkarya sebagai Sekretaris Jurusan. Tahun 2017 ditunjuk sebagai kepala Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Universitas Tarumanagara hingga saat ini.

Monica Michelle Susanto

Adalah mahasiswa Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara angkatan tahun 2018. Menjadi Asisten Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tarumanagara sejak 2020 dan Asisten Laboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Tarumanagara sejak 2021. Menerima beasiswa prestasi akademik untuk periode semester genap tahun 2020/2021 dari Universitas Tarumanagara. Saat ini terdaftar sebagai Badan Pengurus Harian Inti Ikatan Mahasiswa Sipil Tarumanagara (IMASTA) sebagai sekretaris umum dan berperan aktif dalam berbagai kegiatan organisasi kemahasiswaan.

BAB 11

Klasifikasi Tanah untuk Penentuan Respons Spektrum

Alfred J. Susilo

Kenny Erick

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Indonesia adalah salah satu negara yang rawan terhadap gempa karena letaknya yang berada di antara tiga pertemuan lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Gempa dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan akibat adanya gerakan pada tanah. Oleh karena itu, perlu dilakukan antisipasi dalam mencegah kerusakan bangunan akibat gempa. Salah satu antisipasi yang dilakukan oleh Indonesia adalah membuat peraturan dalam merancang bangunan tahan gempa, yaitu SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Salah satu bahasan pada SNI 1726-2019 dalam menganalisis pengaruh gempa terhadap struktur bangunan adalah menggunakan respons spektrum. Respons spektrum adalah cara pendekatan yang menggunakan nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa yang mungkin terjadi berdasarkan riwayat gempa yang pernah terjadi. Dengan demikian, tanah menjadi salah satu parameter paling penting dalam penentuan respons spektrum. Pada penelitian ini, akan dibahas klasifikasi tanah dalam penentuan respons spektrum bangunan akibat gempa.

Kata kunci: klasifikasi tanah, kelas situs, kuat geser tanah niralir, tahanan penetrasi standar, kecepatan rambat gelombang

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara yang rawan terhadap gempa karena letaknya yang berada di antara tiga pertemuan lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara mendadak dari dalam bumi yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi pada umumnya terjadi pada sesar atau patahan (*fault*) akibat adanya pergeseran lempeng bumi hingga mengakibatkan pecahnya pinggiran lempeng tersebut secara tiba-tiba. Gempa bumi merupakan fenomena alam yang merusakkan dan merugikan. Gempa bumi dengan kekuatan yang besar dapat meruntuhkan struktur bangunan dan dapat menimbulkan korban jiwa. Untuk mencegah adanya korban jiwa akibat gempa bumi, maka banyak penelitian yang dilakukan untuk menganalisis beban gempa terhadap kekuatan, keamanan, dan kenyamanan struktur.

Beban gempa merupakan beban dinamik yang memiliki periode relatif panjang dan terjadi secara bolak balik. Salah satu model analisis yang dapat dilakukan untuk menghitung pengaruh gempa terhadap struktur adalah menggunakan respons spektrum. Cara analisis dengan menggunakan respons spektrum adalah cara pendekatan yang menggunakan nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa yang mungkin terjadi berdasarkan riwayat gempa yang pernah terjadi. Respons spektrum digambarkan dalam sebuah grafik antara periode getar struktur terhadap respons struktur (umumnya percepatan/akselerasi). Desain respons spektrum pada penelitian ini akan didasarkan pada peraturan SNI 1726:2019 yang berisi mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Dalam analisa ini, salah satu langkah yang harus dilakukan adalah menentukan karakteristik tanah. Karakteristik tanah ini yang kemudian akan menentukan kelas situs dari bangunan tersebut, dimana kelas situs ini mempengaruhi parameter spektral dari desain respons spektrum.

Indonesia adalah negara yang memiliki hampir semua jenis tanah, mulai dari tanah batuan, tanah lunak, tanah gambut, tanah ekspansif dan lain sebagainya. Jenis tanah batuan umumnya banyak ditemukan di daerah Ambon, Maluku sedangkan

jenis tanah lempung lunak banyak ditemukan di daerah Jakarta. Tanah aluvial di Indonesia banyak tersebar di Sumatera, Kalimantan, Papua dan Jawa [20]. Tanah gambut di Indonesia dominan berada di provinsi Papua dan Kalimantan [19]. Tanah ekspansif di Indonesia bisa ditemukan di Pulau Jawa.

Penentuan klasifikasi tanah ini masing-masing negara mempunyai peraturan tersendiri yang disesuaikan dengan kondisi lapisan tanah yang dominan di negara tersebut, misalnya di Amerika Serikat diatur di dalam ASTM D2487 untuk klasifikasi tanah di laboratorium dan ASTM D2488 untuk klasifikasi tanah di lapangan [5][6].

1.2 Isi/Pembahasan

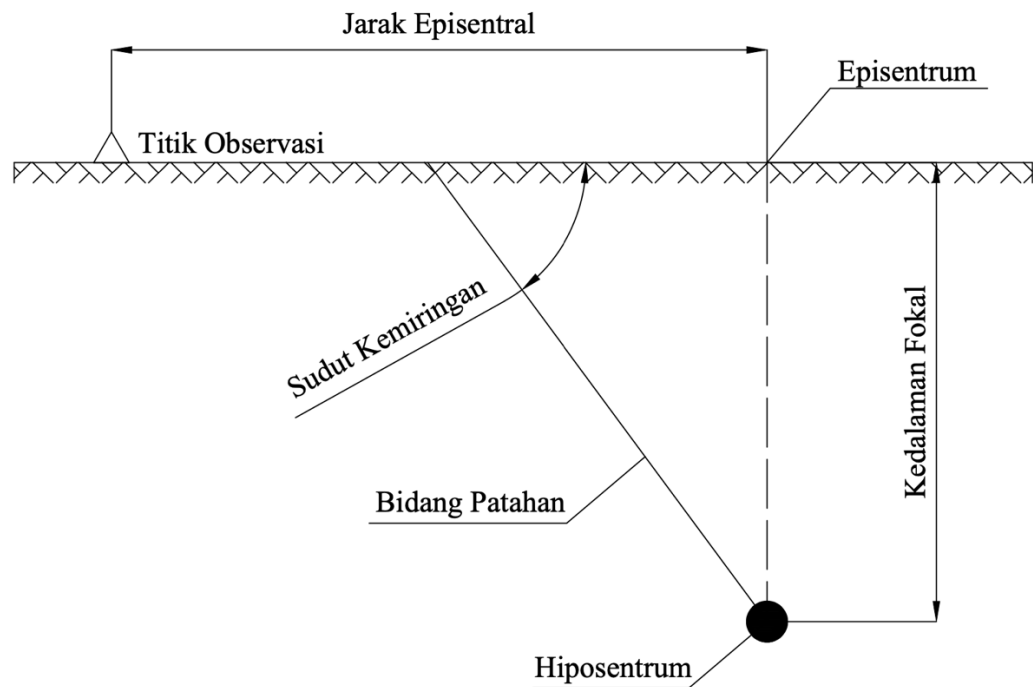
Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara mendadak dari dalam bumi yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi hampir selalu terjadi di sesar atau patahan (*fault*). Sesar atau patahan adalah bidang rekahan atau diskontinuitas dalam batuan yang disertai dengan perpindahan relatif antar bagian sebagai akibat dari gerakan massa batuan. Gempa bumi yang terjadi disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan dari lempengan bumi yang bergerak tersebut. Gempa bumi dengan kekuatan yang besar dapat meruntuhkan struktur bangunan dan dapat menimbulkan korban jiwa.



Gambar 11.1 Kerusakan bangunan akibat gempa di Palu tahun 2018

Pada gempa tektonik, gelombang seismik merambat dari sumber gempa di bawah permukaan tanah tempat patahan terjadi pertama kali ke permukaan tanah. Pusat gempa dibawah permukaan tanah ini disebut juga dengan hiposentrum atau fokus. Titik lokasi gempa umumnya dideskripsikan oleh posisi geografis dari episentrum dan kedalaman fokal (*focal depth*). Episentrum adalah titik di permukaan bumi tepat di atas hiposentrum, sedangkan kedalaman fokal adalah jarak antara episentrum dan hiposentrum (lihat Gambar 11.). Dalam istilah gempa, jarak antara suatu lokasi dengan episentrum disebut jarak episentral dan jarak antara suatu lokasi dengan hiposentrum disebut jarak hiposentral.

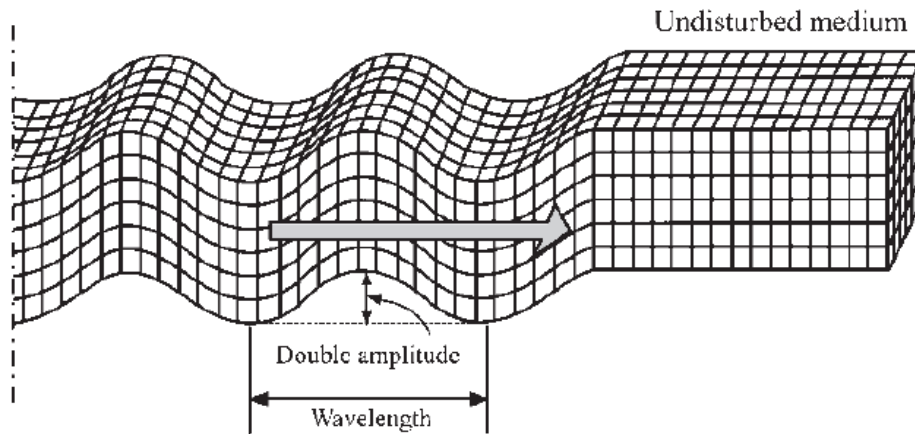


Gambar 11.2 Terminologi Gempa [7]

Parameter Kelas Situs

a. Kecepatan Gelombang Geser (v_s)

Gelombang geser/sekunder disebut juga gelombang *shear*/gelombang transversal. Gelombang sekunder memiliki kecepatan lebih lambat dibandingkan gelombang primer, dan hanya dapat merambat pada medium padat. Gelombang ini tegak lurus terhadap arah rambatnya



Gambar 11.3 Gelombang-S [8]

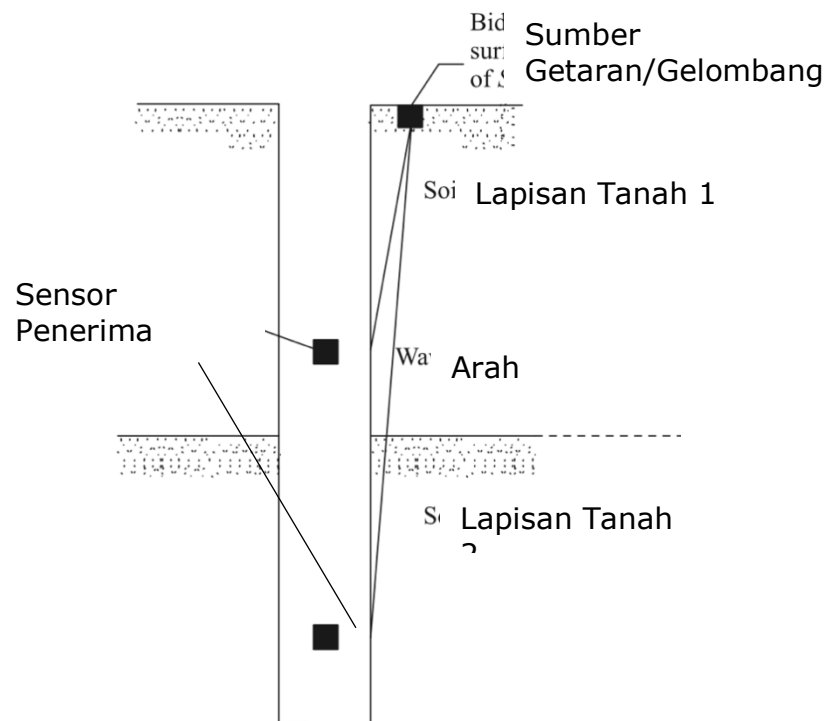
Nilai v_s pada suatu tanah bisa didapat dengan melakukan beberapa pengujian sebagai berikut:

- *Shooting Up the Hole*

Dalam pengujian ini dilakukan penggalian lubang lebih dulu, detektor dipasang di permukaan tanah. Kemudian pada titik-titik kedalaman tertentu diberi getaran (ledakan). Waktu lintasan langsung *body waves* (P dan S) langsung diukur, sehingga v_p dan v_s untuk berbagai kedalaman dapat diukur. Alat yang digunakan pada pengujian ini bernama *geophone* [4].

- *Shooting Down the Hole*

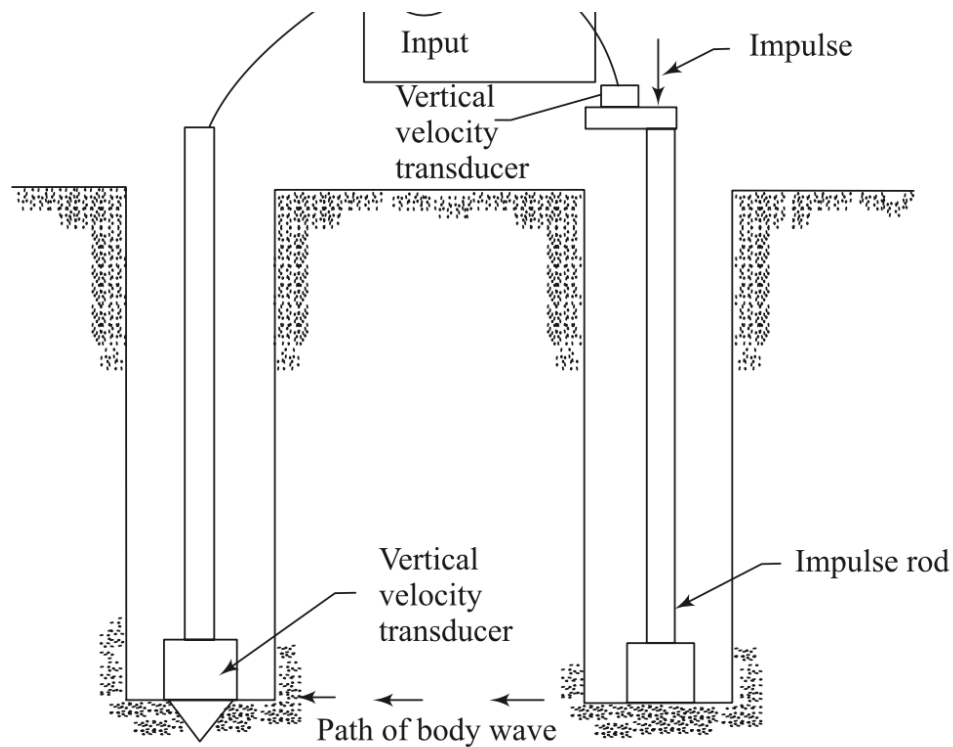
Dalam pengujian ini yang diukur adalah interval waktu tempuh gelombang SH melintasi lapisan tanah. Sumber getaran dua arah untuk rambatan gelombang SH dipicu di permukaan tanah dekat lubang bor. Transduser yang dapat mengukur/mendeteksi gelombang horizontal diletakkan pada kedalaman-kedalaman tertentu. Gelombang getar S dapat diukur dengan membagi selisih kedalaman tanah dengan perubahan waktu tempuh gelombang geser (S) dari sumber getaran di permukaan sampai titik transduser dipasang [4]. Gambar skematik pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 11..



Gambar 11.4 Metode pengujian gelombang seismik *down-hole* [4]

- *Cross-Hole Shooting*

Pengujian ini dilakukan dengan menggali dua lubang pada jarak tertentu. Pengujian ini mengandalkan pada gelombang SV. Gelombang SV dipicu di dasar lubang bor dengan memberi pukulan vertikal yang memicu getaran di dasar lubang bor. Gelombang SV akan merambat melintasi lapisan tanah dan tiba di lubang bor yang lain. Pada dasar lubang bor yang lain dipasang transduser yang dapat mengukur/mendeteksi gelombang horizontal yang dapat mendeteksi tibanya gelombang getar S tersebut. Kecepatan gelombang S dihitung dengan membagi jarak antara dua lubang bor dengan waktu tepuh gelombang S melintasi lapisan tanah [4]. Gambar skematik pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11.4 Skema diagram teknik survei *cross-hole* [4]

b. Tahanan Penetrasi Standar Lapangan (N-SPT)

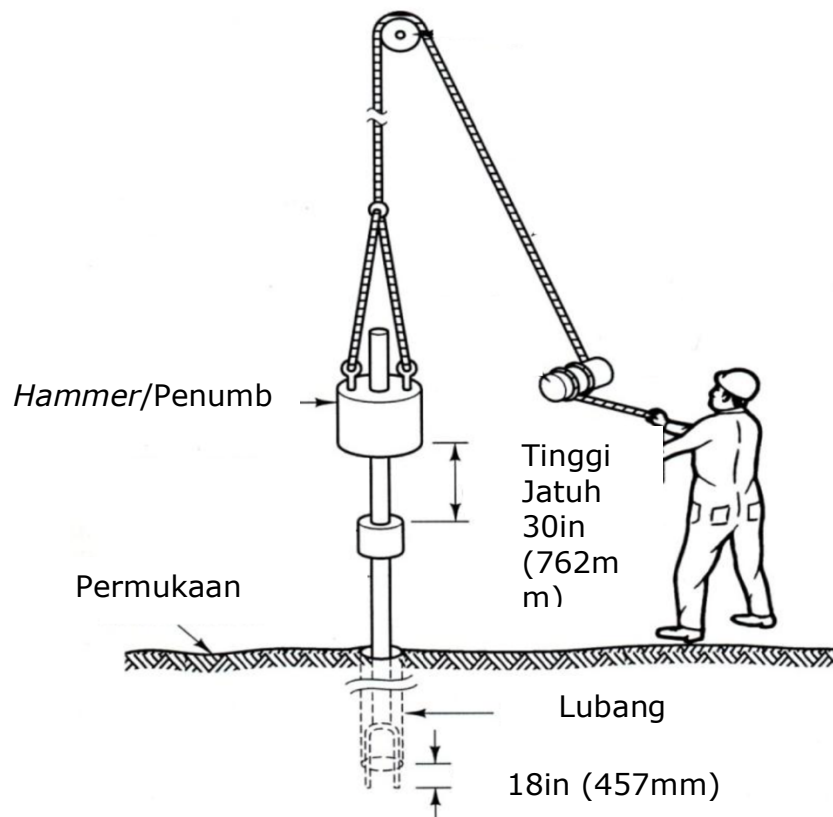
Standar penetration test atau lebih sering dikenal sebagai SPT merupakan suatu uji yang dilakukan di lapangan yang bertujuan untuk mengetahui atau mendapatkan daya dukung tanah secara langsung dengan cara penumbukan. Prosedur uji SPT tercantum dalam ASTM D1586. Selain itu pengujian SPT merupakan cara yang umumnya digunakan untuk survei geoteknis dalam menentukan stratigrafi bawah permukaan. Pengeboran dan SPT memiliki data yang baik karena tes langsung ke tanah untuk mendapatkan data yang sebenarnya. Dalam investigasi besar, data SPT dapat dikalibrasi terhadap data spesifik lapangan dari tes *triaxial* dan tes lainnya. Tetapi untuk investigasi kecil, korelasi empiris mungkin menjadi satu-satunya cara menggunakan data SPT untuk menilai kekuatan. Pemilihan lokasi dan kedalaman titik penyelidikan

harus dilakukan berdasarkan kondisi geologi yang diperoleh dari studi meja maupun penyelidikan awal serta dimensi struktur dan masalah teknis yang akan dihadapi [10].

Pengujian untuk mendapatkan nilai N-SPT dilakukan dengan tiga tahap penumbukan, yaitu:

- Tahap penumbukan pertama adalah penumbukan untuk penetrasi sedalam 15cm pertama ke lapisan tanah (0-15cm).
- Tahap penumbukan kedua adalah penumbukan untuk penetrasi sedalam 15cm kedua ke lapisan tanah (15-30cm).
- Tahap penumbukan ketiga adalah penumbukan untuk penetrasi sedalam 15cm ketiga ke lapisan tanah (30-45cm).

Jumlah pukulan untuk penetrasi 15 cm pertama tidak dihitung, tapi hanya untuk memasukkan *split spoon sampler* ke dalam tanah tak terganggu (*undisturbed*).



Gambar 11.5 Pengaturan Uji Penetrasi Standar [9]

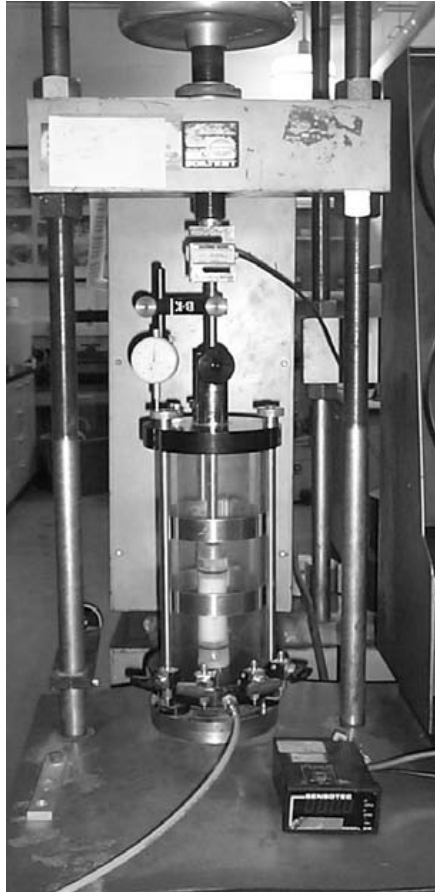
c. Kuat Geser Tanah Niralin (s_u)

Kuat geser niralin (*undrained shear strength*) merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan atau kekuatan maksimum tanah dalam menahan beban pada saat tanah diberi gaya berupa tekanan dalam kondisi *undrained*. Nilai kuat geser tanah dapat diperoleh dari beberapa pengujian geser tanah dan juga dari korelasi parameter tanah atau rumus empiris. Pada pengujian tersebut, nilai s_u didapat dalam bentuk rumus korelasi antara kohesi (c) dan sudut geser tanah (ϕ). Beberapa pengujian yang dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai s_u antara lain:

- *Triaxial Shear Test*

Sampel tanah yang digunakan pada percobaan ini adalah tanah undisturbed yang diambil dari uji lapangan dengan *shelby tube*. Pengambilan sampel tanah dengan *shelby tube* harus dilakukan secara hati-hati dan tidak boleh ada guncangan. Saat pengambilan sampel tanah, posisi *shelby tube* harus tegak karena ada pengaruh dari muka air sehingga jika *shelby tube* tergoncang/terguling maka muka air akan berbeda. Saat pengambilan sampel tanah dengan *shelby tube* tidak boleh dalam suhu yang terlalu panas karena akan berpengaruh terhadap kadar air pada sampel tanah. Setelah pengambilan sampel, tanah dikeluarkan di *extruder* dan dimasukkan tanah ke *ring* uji. Terdapat 3 jenis tes *triaxial*, yaitu *unconsolidated undrained test* (UU Test), *consolidated-undrained test* (CU Test), dan *consolidated-drained test* (CD Test). Ketentuan akan pengujian ini diatur dalam ASTM D2850.

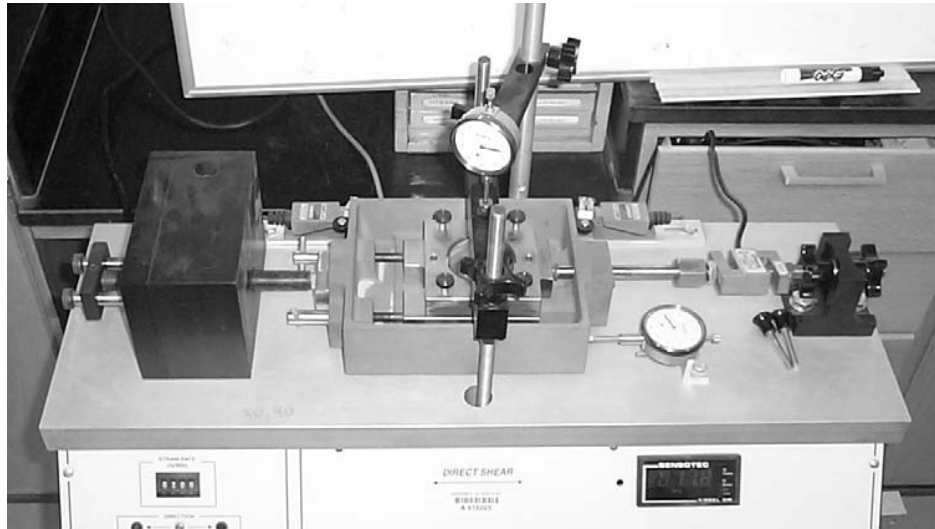
Pada pengujian ini, pertama-tama sampel diberi tegangan samping (*confining pressure*) yang biasa disimbolkan dengan σ_3 . Kemudian tanah diberi tekanan normal/aksial dari piston sampai sampel tanah gagal. Sampel tanah dianggap gagal jika bacaan *load dial* sama tiga kali berturut-turut pada tiap bacaan *deformation dial* kelipatan 20, yang menandakan terjadi deformasi pada sampel tanah tanpa penambahan beban yang signifikan.



Gambar 11.7. Alat *triaxial shear test* [6]

- *Direct Shear Test*

Pengambilan sampel tanah untuk *direct shear test* (uji geser langsung) sama dengan pada saat uji *triaxial* dengan *shelby tube*. Uji geser langsung tidak dapat mengukur tekanan air pori yang timbul saat penggeseran dan tidak dapat mengontrol tegangan yang terjadi di sekeliling contoh tanah. Keterbatasan uji geser langsung yang lain adalah karena bidang runtuh tanah ditentukan, meskipun belum tentu merupakan bidang terlemah. Pengujian *direct shear test* ditentukan dalam ASTM D3080. Pengujian ini dilakukan dengan menekan sampel tanah secara langsung dengan alat pendorong dengan kecepatan tertentu.



Gambar 11.8. Alat uji *direct shear* (uji geser langsung) [6]

Klasifikasi Situs

Kelas situs digunakan untuk menunjukkan karakteristik tipe dan properti tanah di suatu situs sehingga dapat memberikan kriteria desain seismik berupa faktor amplifikasi pada bangunan [1]. Sistem klasifikasi tanah yang diterapkan di Indonesia adalah sistem USCS (*Unified Soil Classification System*). Untuk pengujian tanah untuk bangunan Gedung, Indonesia mengadopsi ketentuan dari ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Di Indonesia, terdapat 6 jenis kelas situs yang digunakan dalam penentuan respons spektrum, yaitu:

- Kelas situs SA

Kelas situs SA meliputi tanah yang berupa batuan keras. Dalam penentuan klasifikasi situs untuk kelas SA, parameter kelas situs yang digunakan hanya kecepatan gelombang geser rata-rata (\bar{v}_s). Nilai N-SPT dan s_u tidak digunakan untuk menentukan kelas situs ini karena prinsip yang digunakan tidak termasuk lagi ke dalam mekanika tanah, tetapi masuk ke prinsip mekanika batuan karena kelas situs SA merupakan batuan keras.

- Kelas situs SB

Kelas situs SB meliputi tanah yang berupa batuan batuan. Dalam penentuan klasifikasi situs untuk kelas SB, parameter kelas situs yang digunakan hanya kecepatan gelombang geser rata-rata (\bar{v}_s). Nilai N-SPT dan s_u tidak digunakan untuk menentukan kelas situs ini karena prinsip yang digunakan tidak termasuk lagi ke dalam mekanika tanah, tetapi masuk ke prinsip mekanika batuan karena kelas situs SB merupakan batuan.

- Kelas situs SC

Kelas situs SC meliputi tanah yang berupa tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak. Dalam penentuan klasifikasi situs untuk kelas SC, parameter kelas situs yang digunakan adalah kecepatan gelombang geser rata-rata (\bar{v}_s), N-SPT rata-rata (\bar{N}), dan kuat geser tanah niralin rata-rata (\bar{s}_u).

- Kelas situs SD

Kelas situs SD meliputi tanah yang berupa tanah sedang. Dalam penentuan klasifikasi situs untuk kelas SD, parameter kelas situs yang digunakan adalah kecepatan gelombang geser rata-rata (\bar{v}_s), N-SPT rata-rata (\bar{N}), dan kuat geser tanah niralin rata-rata (\bar{s}_u).

- Kelas situs SE

Kelas situs SE meliputi tanah yang berupa tanah lunak. Dalam penentuan klasifikasi situs untuk kelas SE, parameter kelas situs yang digunakan adalah kecepatan gelombang geser rata-rata (\bar{v}_s), N-SPT rata-rata (\bar{N}), dan kuat geser tanah niralin rata-rata (\bar{s}_u). Ketentuan lebih lanjut untuk kelas situs SE dijelaskan pada 11.2.5.

- Kelas situs SF

Kelas situs SF meliputi tanah yang sangat lunak atau sangat jelek, sehingga masuk ke dalam kategori tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs lebih lanjut. Ketentuan lebih lanjut untuk kelas situs SE dijelaskan pada 11.2.6.

Penentuan Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan Tabel 4 yang diadopsi dari SNI 1726:2019 Tabel 5. Penentuan kelas situs harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut [1]:

- Kelas situs ditentukan berdasarkan profil lapisan tanah dengan kedalaman 30 meter dari permukaan tanah pada situs tersebut.
- Penentuan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah dan pengujian di laboratorium oleh pihak yang berwenang atau memiliki izin.
- Untuk situs dengan data tanah yang tidak spesifik, sifat tanah harus diestimasi oleh ahli geoteknik yang memiliki izin.
- Untuk situs dengan data tanah yang tidak memadai, maka digunakan kelas situs SE.
- Jika terdapat >3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar, situs tersebut tidak boleh ditetapkan sebagai kelas situs SA dan SB.

Tabel 4. Penentuan Kelas Situs (SNI 1726:2019, Tabel 5)

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/s)	\bar{N} atau \bar{N}_s	\bar{s}_u (kPa)
SA	> 1500	N/A	N/A
SB	750 s.d. 1500	N/A	N/A
SC	350 s.d. 750	> 50	≥ 100
SD	175 s.d. 350	15 s.d. 50	50 s.d. 100
SE	< 175	< 15	< 50
SF	ditentukan dalam subbab 11.2.6.		

N/A = tidak dapat dipakai

Ketentuan Khusus untuk penentuan Kelas Situs SE

Tanah pada suatu daerah masuk ke dalam kelas situs SE jika memiliki profil tanah yang mengandung lebih dari 3 meter tanah dengan karakteristik sebagai berikut [1]:

1. Indeks plastisitas, $PI > 20\%$

Nilai indeks plastisitas (*plasticity index*) dapat ditentukan dengan pengurangan

antara nilai *liquid limit* (LL) dengan *plastic limit* (PL). Nilai LL dan PL dapat ditentukan dengan pengujian *Atterberg Limit Test* dengan menggunakan alat seperti pada Gambar 11.9.



Gambar 11.9. Alat pengujian *Atterberg Limit Test* [6]

2. Kadar air, $w \geq 40\%$

Kadar air dapat ditentukan melalui pengujian lab yaitu *index properties test*. Selain kadar air, pada pengujian *index properties* akan didapat nilai properti tanah lainnya seperti *specific gravity*, derajat kejenuhan, berat jenis, dan lain sebagainya. Untuk menentukan besar kadar air (*water content*) suatu sampel tanah, sampel tanah asli dari lapangan ditimbang, kemudian dimasukkan ke oven selama 24 jam, dan kemudian ditimbang kembali. Pengujian untuk kadar air dapat mengikuti ketentuan pada ASTM D2216 [6].

3. Kuat geser tanah niralir $\bar{s}_u < 25 \text{ kPa}$

Kuat geser tanah niralir dijelaskan pada subbab 11.2.2(c).

Ketentuan Khusus untuk penentuan Kelas Situs SF

Tanah pada suatu daerah masuk ke dalam kelas situs SF jika memiliki profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut [1]:

1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah
2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)
3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$)
4. Lapisan lempung lunak atau lempung dengan kekuatan sedang dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa

Untuk struktur bangunan dengan periode getar fundamental $< 0,5$ detik dalam kelas situs SF, analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan dalam menentukan percepatan spektral pada tanah yang berpotensi likuifaksi. Sebagai gantinya, klasifikasi situs dapat ditentukan sesuai dengan Tabel 4 dan menggunakan nilai F_a dan F_v terbesar untuk situs kelas SD atau SE [1].

Pada kelas situs SF, analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan untuk tanah lempung dengan kadar organik tinggi dan/atau gambut jika [1]:

1. Nilai F_a dan F_v ditentukan dari SNI 1726:2019 pada Tabel 6 dan 7 untuk kelas situs SD atau SE dikalikan dengan faktor yang meningkat secara linear dari 1,0 pada $PI = 75$ sampai dengan 1,3 untuk $PI = 125$ dan 1,3 untuk $PI > 125$;
2. Nilai S_{DS} dan S_{D1} yang didapat dari faktor skala F_a dan F_v tidak melebihi nilai batas atas untuk kategori desain seismik B.

Analisis respons spesifik-situs pada kelas situs SF tidak diperlukan untuk lempung lunak atau lempung dengan kekuatan sedang yang memiliki ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa jika [1]:

1. Nilai F_a dan F_v ditentukan dari SNI 1726:2019 pada Tabel 6 dan 7 untuk kelas situs SE;
2. Nilai S_{DS} dan S_{D1} yang didapat dari faktor skala F_a dan F_v tidak melebihi nilai batas atas untuk kategori desain seismik B.

Perhitungan Parameter untuk penentuan Kelas Situs

Tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan/atau batuan yang berbeda harus dibagi menjadi beberapa lapisan yang diberi nomor ke-1 sampai ke-n dari atas ke bawah, sehingga jumlahnya adalah n-lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m. Jika sebagian dari lapisan n adalah kohesif dan yang lainnya nonkohesif, maka k adalah jumlah lapisan kohesif dan m adalah jumlah lapisan nonkohesif. Simbol i menunjukkan lapisan antara 1 dan n [1].

Kelas situs dapat ditentukan berdasarkan parameter kecepatan gelombang geser rata-rata, tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (untuk lapisan tanah nonkohesif), dan kuat geser niralir/*undrained* [1]

a. Kecepatan Rata-Rata Gelombang Geser (\bar{v}_s)

Nilai kecepatan rata-rata gelombang geser (\bar{v}_s) dapat diperoleh dengan membagi penjumlahan antara tebal tiap lapisan tanah yang ditinjau dengan penjumlahan antara perbandingan tebal tiap lapisan tanah tersebut dengan kecepatan rata-rata gelombang geser tiap lapisan tanah. Sehingga dengan demikian, nilai kecepatan rata-rata gelombang geser (\bar{v}_s) dapat diperoleh dengan cara membagi 30 meter dengan perbandingan tebal tiap lapisan tanah tersebut dengan kecepatan rata-rata gelombang geser tiap lapisan tanah. Penentuan rumus untuk menghitung kecepatan rata-rata gelombang geser (\bar{v}_s) ditentukan pada SNI 8460:2017 dan SNI 1726:2019.

b. Tahanan Penetrasi Standar Lapangan Rata-Rata (\bar{N} atau \bar{N}_{ch})

Untuk tanah nonkohesif, tanah kohesif, dan lapisan batuan, nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata dapat diperoleh dengan membagi penjumlahan antara tebal tiap lapisan tanah yang ditinjau dengan penjumlahan

antara perbandingan tebal tiap lapisan tanah tersebut dengan nilai tahanan penetrasi standar lapangan tiap lapisan tanah. Nilai tahanan penetrasi standar lapangan pada tiap lapisan tanah tidak boleh diambil lebih dari 300 pukulan/m.

Untuk tanah nonkohesif saja, nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata dapat diperoleh dengan membagi penjumlahan antara ketebalan total dari lapisan tanah nonkohesif di kedalaman 30 meter dengan penjumlahan antara perbandingan tebal tiap lapisan tanah tersebut dengan nilai tahanan penetrasi standar lapangan tiap lapisan tanah. Nilai tahanan penetrasi standar lapangan pada tiap lapisan tanah kohesif tidak boleh diambil lebih dari 300 pukulan/m. Penentuan rumus untuk menghitung tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (\bar{N} atau \bar{N}_{ch}) ditentukan pada SNI 8460:2017 dan SNI 1726:2019.

c. Kuat Geser Tanah *Undrained* Rata-Rata (\bar{s}_u)

Nilai kuat geser *undrained* rata-rata (\bar{s}_u) dapat diperoleh dengan membagi penjumlahan antara tebal lapisan tanah kohesif total hingga kedalaman 30 m dengan penjumlahan antara perbandingan tebal tiap lapisan tanah tersebut dengan kuat geser *undrained* tiap lapisan tanah. Penentuan rumus untuk menghitung kuat geser tanah *undrained* rata-rata (\bar{s}_u) ditentukan pada SNI 8460:2017 dan SNI 1726:2019.

Koefisien Situs

Penentuan kelas situs akan berpengaruh pada penentuan suatu faktor amplifikasi seismik periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi diperlukan untuk penentuan respon spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah [1]. Faktor amplifikasi tersebut meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) yang nilainya ditentukan pada SNI 1726:2019 Tabel 6 dan 7.

1.3 Penutup

Properti tanah pada suatu daerah yang akan dibangun gedung menentukan kelas situs daerah tersebut. Kelas situs tersebut akan menentukan seberapa besar resiko gempa pada suatu bangunan yang berada diatas tanah. Kelas situs SA merupakan kelas situs dengan resiko paling rendah dan kelas situs SF merupakan kelas situs yang paling tinggi. Dari kelas situs tersebut, dapat ditentukan koefisien situs dan parameter respons spektral percepatan, dimana kemudian akan menghasilkan kategori desain seismik. Kategori desain seismik ini yang akan menjadi patokan penentuan desain struktur bangunan terhadap gempa.

Referensi

- [1] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: BSN.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- [4] Das, B. M., & Ramana, G. (2011). *Principles of Soil Dynamics*. Stamford: Cengage Learning.
- [5] Susilo, A. J. (2016). *Enhancing the Strength Properties of Fly Ash by Adding Waster Products*. Lexington: University of Kentucky.
- [6] Kalinski, M. E. (2011). *Soil Mechanics Lab Manual*. Lexington: JOHN WILEY & SONS, INC.
- [7] Lindeburg, M. R., & Baradar, M. (2001). *Seismic Design of Building Structures*. Belmont: Professional Publications, Inc.
- [8] Elnashai, A. S., & Sarno, L. D. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Chinchester: John Wiley & Sons, Ltd.
- [9] Sarker, D., & Abedin, M. Z. (2015). Applicability of Standard Penetration Test in Bangladesh and Graphical Representation of SPT-N Value . *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 55-59.
- [10] Basoka, I. W. (2020). Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian Cone Penetration Test (CPT) Dan Standard Penetration Test (SPT) Pada Tanah Berpasir. *Jurnal Universitas Kadiri Kediri*, 109-123.
- [11] Sheng, D., Zhou, A., & Fredlund, D. G. (2009). Shear Strength Criteria for Unsaturated Soils. *Geotech Geol Eng*.
- [12] Ismail, T. N., Yusoff, S. A., Bakar, I., Wijeyesekera, D. C., Zainorabidin, A., Azmi, M., . . . Siang, A. J. (2018). Engineering Behaviour of Stabilized Laterite and Kaolin using Lignin. *MATEC Web of Conferences* (pp. 1-9). Les Ulis: EDP Sciences.

- [13] Dewi, L. C., Prihantono, J., Purbani, D., & Pradono, M. H. (2014). Respon Spektrum Desain pada Lokasi Tempat Evakuasi Sementara Tsunami di Kota Pariaman. *J. Segara* , 163-169.
- [14] Effendi, M. K. (2011). Perbandingan Respons Spektrum Tanah Hipotesa dengan Respon Spektrum RSNI 03-1726-201x Kota Semarang. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 151-160.
- [15] Rendra, R., Kurniawandy, A., & Djauhari, Z. (2015). RESPONS STRUKTUR BANGUNAN BERDASARKAN SPEKTRA GEMPA INDONESIA UNTUK IBUKOTA PROVINSI DI PULAU SUMATERA. *JOM FTEKNIK*, 1-15.
- [16] Sutjipto, S., & Sumeru, I. (n.d.). Anomali Spektrum Respons Desain SNI 1726:2012.
- [17] Jingga, H., Suryanita, R., & Yuniarto, d. E. (2015). RESPONS STRUKTUR BANGUNAN BERDASARKAN SPEKTRA GEMPA INDONESIA UNTUK IBUKOTA PROVINSI DI PULAU SUMATERA. *Annual Civil Engineering Seminar*, 111-116.
- [18] Rendra, R., Kurniawandy, A., & Djauhari, Z. (2015). INERJA STRUKTUR AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM DAN TIME HISTORY (Studi Kasus : Hotel SKA Pekanbaru). *JOM FTEKNIK*, 1-15.
- [19] Data, K. (2019, April 29). *Luas Gambut Indonesia Terbesar Kedua di Dunia*. Retrieved from Data Kata: <https://katadata.co.id/timpublikasikatadata/infografik/5e9a519433cb1/luas-gambut-indonesia-terbesar-kedua-di-dunia>
- [20] FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS MEDAN AREA. (2021, February 22). *JENIS TANAH*. Retrieved from FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS MEDAN AREA: <https://pertanian.uma.ac.id/jenis-tanah/>

Profil Penulis

Alfred J. Susilo, S.T., M.Eng., Ph.D.



Alumni Teknik Sipil Universitas Tarumanagara, Alumni Program Magister Teknik Sipil dari McNeese State University (University of Louisiana System) dan selanjutnya memperoleh Doktor Teknik Sipil dari University of Kentucky dengan topik disertasi berfokus pada Dinamika Tanah/Kegempaan pada tanah. Mempunyai Sertifikat Engineer in Training (EIT) dari negara bagian Louisiana sejak 2009. Memperoleh Sertifikat keahlian Ahli Geoteknik – Madya dari Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI) dan Sertifikat keahlian Ahli Teknik Bangunan Gedung – Utama dari Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI) serta mempunyai Izin Pelaku Teknis Bangunan (IPTB) sebagai Perencana, Pengawas dan Pengkaji Bangunan Gedung bidang keahlian Konstruksi Golongan A dan Izin Pelaku Teknis Bangunan (IPTB) sebagai Perencana Bangunan Gedung bidang keahlian Geoteknik golongan B. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil pada tahun 2016 – sekarang dalam bidang Geoteknik dengan jabatan akademik dosen Lektor. Sejak 2020 menjadi Co-Promotor pada program Doktor Teknik Sipil Universitas Tarumanagara. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi mekanika tanah, desain fondasi, kegempaan, dan dinamika tanah.

Kenny Erick

Menjadi mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara sejak tahun 2018. Berperan aktif di organisasi dan berbagai program kerja yang diadakan. Menjabat sebagai Kepala Departemen Akademik IMASTA periode 2020/2021. Menjadi Ketua Pengajar program akademis TENTIER X yang diadakan pada tahun 2020-2021 dengan bidang ajar Geoteknik, Manajemen Rekayasa Konstruksi, dan Struktur Konstruksi. Menerima beasiswa UNTAR untuk kategori mahasiswa berprestasi di program studi tahun 2019. Menjadi asisten laboratorium untuk Praktikum Mekanika Tanah tahun 2020-2021 dan Praktikum Mekanika Rekayasa tahun 2021. Saat ini sedang mengambil skripsi dengan topik rekayasa struktur basement akibat gempa dan ledakan. Minat penelitian meliputi dinamika struktur, dinamika tanah, rekayasa geoteknik, rekayasa gempa dan ledakan.

BAB 12

Desain Fondasi Bangunan Gedung Bertingkat

Gregorius Sandjaja Sentosa

Hansel Adisurya

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Fondasi merupakan komponen struktur bangunan yang berfungsi meneruskan beban struktur atas dari kolom ke struktur fondasi dan akhirnya ke lapisan tanah. Fondasi untuk gedung bertingkat umumnya dibedakan menjadi dua berdasarkan fungsi dan kedalamannya, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Bangunan gedung bertingkat yang saat ini semakin banyak digunakan untuk tempat tinggal dan fasilitas umum memerlukan desain fondasi yang baik agar dapat menghindari kerusakan maupun penurunan yang berlebihan. Persyaratan yang digunakan untuk desain fondasi adalah SNI 8460:2017. Tahapan desain fondasi perlu dilakukan untuk mengetahui dimensi fondasi yang akan digunakan. Fondasi harus mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur gedung dan dipastikan tidak terjadi penurunan yang berlebihan pada fondasi.

Kata kunci: fondasi, gedung, desain, daya dukung, penurunan.

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Fondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar bangunan (*sub-structure*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur bangunan (*upper-structure*) ke lapisan tanah yang berada di bagian bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah, dan penurunan (*settlement*) fondasi yang berlebihan [1]. Setelah dilakukan penyelidikan tanah dan diperoleh parameter tanah untuk desain, maka dapat dilakukan tahapan desain fondasi bangunan. Dalam desain fondasi, perlu dipastikan bahwa fondasi memiliki daya dukung yang mampu memikul beban dari struktur atas dan kemudian disalurkan ke dalam tanah agar tidak terjadi kerusakan atau penurunan yang berlebihan.

Bangunan gedung bertingkat memerlukan perencanaan fondasi yang baik agar dapat memikul beban struktur yang besar. Pada umumnya, fondasi yang sering digunakan ada dua jenis, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Untuk menentukan jenis fondasi yang akan digunakan perlu dilakukan analisis terhadap beban yang dipikul, kedalaman tanah keras, kondisi lokasi konstruksi, dan biaya yang diperlukan.

Pada tahap desain fondasi perlu dilakukan perhitungan daya dukung fondasi untuk menentukan dimensi fondasi yang efisien dan aman untuk digunakan. Fondasi harus mampu memikul beban aksial, lateral, dan momen yang disalurkan dari struktur atas bangunan. Selain itu, perlu dilakukan analisis terhadap penurunan (*settlement*) agar tidak terjadi penurunan yang berlebihan pada fondasi dan dapat menyebabkan kerusakan struktur di atasnya.

1.2 Isi/Pembahasan

Desain Fondasi

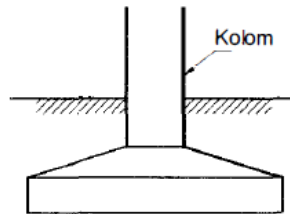
Tahapan desain fondasi dimulai dari menentukan jenis fondasi yang akan digunakan, analisis parameter tanah berdasarkan pengujian, kondisi lingkungan, perhitungan daya dukung, perhitungan beban struktur, perhitungan dimensi fondasi, dan pengendalian kemungkinan bangunan mengalami penurunan (*settlement*). Persyaratan yang digunakan untuk melakukan desain fondasi pada

bangunan gedung bertingkat adalah SNI 8460:2017 (Persyaratan Perancangan Geoteknik) [2].

1. Menentukan Jenis Fondasi

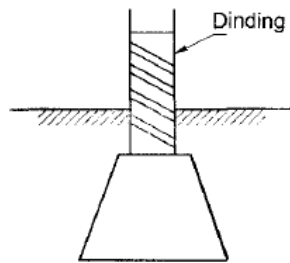
Sebelum dilakukan perhitungan dan analisis fondasi, perlu ditentukan terlebih dahulu jenis fondasi yang akan digunakan. Umumnya fondasi dibagi menjadi dua berdasarkan kedalaman tanah keras dan perbandingan kedalaman lebar fondasi, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam.

- a. Fondasi dangkal merupakan fondasi yang memikul beban secara langsung dan umumnya digunakan bila lapisan tanah yang baik atau batuan berada di posisi yang dangkal dari atas permukaan bumi [3]. Terzaghi mendefinisikan apabila kedalaman fondasi lebih kecil atau sama dengan lebar fondasi, maka fondasi tersebut bisa dikatakan sebagai fondasi dangkal. Contoh fondasi dangkal, antara lain fondasi telapak, fondasi menerus, fondasi rakit [4].
 - Fondasi telapak (*spread footing*) adalah fondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom.



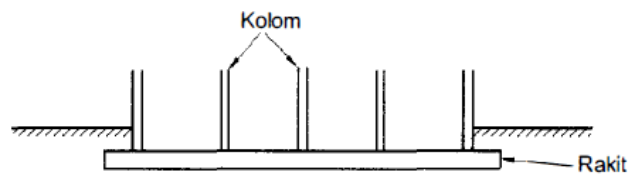
Gambar 12.12 Fondasi Telapak [4]

- Fondasi menerus (*continuous footing*) adalah fondasi yang digunakan untuk menopang beban dinding memanjang ataupun digunakan untuk menopang sederetan kolom yang berdekatan sehingga tidak memungkinkan menggunakan fondasi telapak karena sisi-sisinya akan berhimpit satu sama lain.



Gambar 12.13 Fondasi Menerus [4]

- Fondasi rakit (*raft foundation* atau *mat foundation*) adalah fondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak, atau ketika susunan kolom jaraknya berdekatan di semua arahnya sehingga tidak memungkinkan menggunakan fondasi telapak karena sisi-sisinya akan berhimpit satu sama lain.

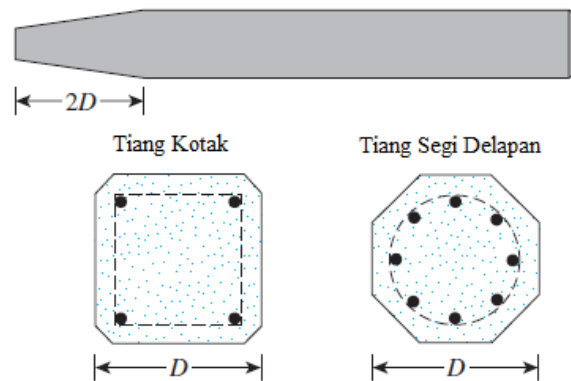


Gambar 12.14 Fondasi Rakit [4]

- Fondasi dalam adalah fondasi yang digunakan untuk mendukung beban bangunan bila lapisan tanah keras berada sangat dalam. Bowles (1993) mendefinisikan fondasi dalam adalah fondasi yang rasio kedalaman dan lebar fondasinya lebih besar dari 4. Fondasi dalam juga dapat digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya penggulingan akibat angin, adanya *basement* yang mendapat tekanan ke atas akibat muka air tanah yang mendekati permukaan tanah, atau sering kali dikenal sebagai 'muka air tinggi'. Contoh fondasi dalam adalah

fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor (*bored pile*). Secara umum, fondasi tiang dapat dibedakan menjadi tiga kategori sebagai berikut [5].

- Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang dipancang ke dalam tanah sehingga terjadi perpindahan volume tanah yang relatif besar. Contoh tiang perpindahan besar adalah tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang (pejal atau berlubang), dan tiang baja bulat (tertutup ujungnya).



Gambar 12.15 Penampang Tiang Pancang Beton Pracetak [6]



Gambar 12.16 Tiang Beton Pracetak [7]

- Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*), yaitu tipe tiang yang dipancang ke dalam tanah namun perpindahan volume tanah

yang terjadi relatif kecil. Contoh tiang perpindahan kecil adalah tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang beton prategang berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja H, tiang baja bulat ujung terbuka, dan tiang ulir.

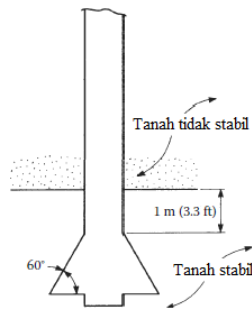


Gambar 12.17 Tiang Baja Pipa [7]



Gambar 12.18 Tiang Profil Baja H [7]

- Tiang tanpa perpindahan (*non-displacement pile*) merupakan tiang yang dipasang ke dalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton [8]. Contoh tiang tanpa perpindahan adalah tiang bor (*bored pile*). Biasanya tiang bor digunakan untuk memikul beban yang sangat besar, bahkan dapat dirancang untuk memikul lapisan struktur di bawah tanah sampai lima lantai dan struktur gedung lebih dari 50 lantai [9].



Gambar 12.19 Fondasi Tiang Bor dengan Ujung Diperbesar [10]

Dalam pemilihan jenis fondasi tiang perpindahan atau tiang tanpa perpindahan ada beberapa pertimbangan karena memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing [10].

Kelebihan tiang perpindahan (*driven displacement piles*), antara lain:

1. Kualitas material dapat diperiksa terlebih dahulu sebelum pemancangan.
2. Proses konstruksi tidak dipengaruhi oleh muka air tanah.
3. Tiang dapat dipancang sampai kedalaman yang dalam.
4. Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granular.
5. Dapat didesain untuk menahan lentur yang tinggi dan tegangan tarik.
6. Tidak ada kemungkinan terjadi *squeezing* dan *necking*.

Kekurangan tiang perpindahan (*driven displacement piles*), antara lain:

1. Tiang dapat rusak akibat pemancangan.
2. Proses pemancangan menimbulkan getaran dan gangguan suara yang cukup mengganggu.
3. Pemancangan tiang sulit dilakukan bila diameter tiang terlalu besar.
4. Penulangan tiang pancang dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengangkutan dan pemancangan tiang.
5. Tiang dapat mengalami kerusakan yang tidak terlihat sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.

6. Proses pemancangan dapat menyebabkan pengembangan permukaan tanah dan gangguan tanah.

Kelebihan tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*), antara lain:

1. Panjang tiang dapat disesuaikan dengan kedalaman tanah keras.
2. Tanah atau batu yang dikeluarkan ketika pengeboran dapat diuji sebagai komparasi dengan penyelidikan tanah.
3. Penulangan tiang tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.
4. Tidak ada risiko kenaikan muka air tanah.
5. Tidak menimbulkan getaran dan gangguan suara yang mengganggu.
6. Diameter tiang dapat divariasikan sesuai desain dan ujung bawah tiang dapat diperbesar jika diperlukan untuk menambah tahanan ujung tiang.

Kekurangan tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*), antara lain:

1. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.
2. Pengecoran beton akan sulit dilakukan bila dipengaruhi oleh air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
4. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguana tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
5. Ada risiko terjadi *necking* dan *squeezing*.

Analisis Data Tanah

Pada tahap ini, dilakukan pengolahan data hasil penyelidikan tanah sehingga diperoleh parameter tanah desain yang diperlukan dalam perhitungan desain fondasi. Parameter tanah ini dapat diperoleh berdasarkan hasil uji laboratorium maupun menggunakan rumus empiris dan grafik korelasi yang sudah baku.

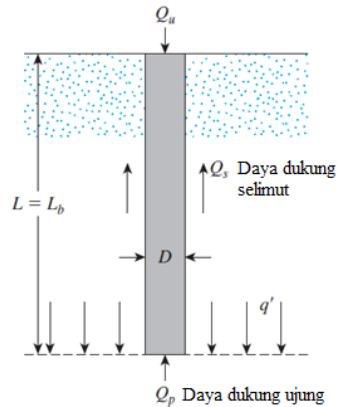
Parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan adalah kuat geser tanah (S_u), sudut geser dalam (ϕ'), berat jenis tanah (γ), modulus elastisitas tanah (E_s), rasio angka pori (e), koefisien konsolidasi (C_c), koefisien kompresi (C_s), dan tegangan prakonsolidasi (P_c).

Perhitungan Daya Dukung

Pada perhitungan fondasi dangkal, perhitungan daya dukung dapat menggunakan beberapa metode analitis yang diusulkan oleh para ahli, antara lain metode Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Brinch Hansen (1970), dan Vesic (1975) [4]. Hasil pengujian lapangan, sondir dan *standard penetration test* (SPT) juga dapat digunakan untuk memprediksi daya dukung fondasi. Beberapa pendekatan empiris banyak diusulkan oleh para peneliti, seperti Terzaghi & Peck (1967) dan Meyerhof (1974) [11].

Pada perhitungan fondasi dalam, daya dukung batas fondasi tiang terdiri dari daya dukung ujung tiang dan daya dukung gesek selimut antara tiang dan tanah di sekitarnya yang dikurangi dengan berat tiang. Daya dukung batas fondasi tiang ini harus mampu memikul beban dari struktur berupa beban aksial, lateral, dan momen. Pada tiang yang terjepit (*fixed head*), fondasi akan menahan beban aksial, lateral, dan momen. Pada tiang bebas (*free head*), fondasi hanya menahan beban aksial dan beban lateral saja.

Ilustrasi daya dukung ujung tiang dan selimut tiang dapat dilihat pada Gambar 12.20.



Gambar 12.20 Ilustrasi Daya Dukung Batas Tiang [6]

Perhitungan daya dukung ujung tiang dapat menggunakan metode analitis yang sudah baku dengan memperhitungkan penampang tiang dan parameter-parameter tanah. Perhitungan daya dukung tiang dapat dibedakan berdasarkan jenis lapisan tanah, yaitu lapisan tanah pasir dan lapisan tanah lempung (*clay*). Metode perhitungan daya dukung ujung tiang secara empiris sudah banyak diusulkan oleh para ahli, contohnya Meyerhof (1976), Vesic (1977), Coyle dan Costello (1981) [6].

Perhitungan daya dukung selimut tiang dapat menggunakan beberapa rumus empiris. Parameter yang diperlukan untuk perhitungan daya dukung selimut tiang, antara lain diameter tiang, panjang tiang, dan koefisien friksi tiang dan tanah. Daya dukung selimut tiang dapat dihitung menggunakan beberapa metode pendekatan empiris, contohnya Metode Alfa (1971), Metode Lambda (1972), Metode Beta (1973), Metode Vesic (1970), Metode Coyle & Costello (1981), Metode Reese & Wright (1977), Metode Kulhawy (1991) [12]. Daya dukung selimut tiang juga dapat dihitung menggunakan hasil pengujian sondir dan *standard penetration test* (SPT) yang diusulkan oleh beberapa ahli, yaitu Nottingham dan Schmertmann (1975), Meyerhof (1956), Briaud (1985) [6].

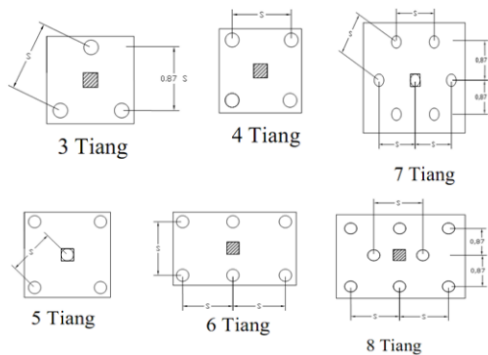
Dari setiap metode perhitungan daya dukung ini, dapat diambil nilai rata-rata maupun nilai daya dukung terkecil agar diperoleh hasil yang konservatif. Daya

dukung tiang pada kondisi menahan beban tarik dihitung menggunakan asumsi ujung tiang tidak bekerja serta daya dukung selimut kondisi tekan dan tarik sama besar.

Setelah diperoleh daya dukung batas fondasi, perlu dilakukan perhitungan daya dukung izin yang merupakan besarnya beban yang diizinkan untuk dipikul oleh fondasi. Berdasarkan SNI 8460:2017 Pasal 9.2.3.1, faktor keamanan diambil minimal sebesar 2.5 untuk fondasi dalam dan 3.0 untuk fondasi dangkal [2]. Faktor keamanan ini perlu diberikan dengan maksud:

- a. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode perhitungan yang digunakan.
- b. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
- c. Untuk meyakinkan bahwa fondasi cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- d. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada fondasi masih dalam batas-batas toleransi.
- e. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam di antara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

Pada umumnya, fondasi tiang tidak dipasang tunggal melainkan kelompok. Tiang akan dipasang secara berdekatan dengan jarak yang telah direncanakan sesuai peraturan dan kepala tiang akan diikat menjadi satu menggunakan *pile cap* yang terbuat dari beton bertulang. Ilustrasi susunan tiang kelompok dapat dilihat pada Gambar 12.21.



Gambar 12.21 Susunan Tiang Kelompok [5]

Jarak antar tiang di dalam kelompok tiang sangat memengaruhi perhitungan daya dukung dari kelompok tiang tersebut. Untuk bekerja sebagai kelompok tiang, jarak antar tiang yang dipakai mengikuti peraturan bangunan pada daerah masing-masing. Apabila jarak antar tiang (s) makin kecil, maka ukuran *pilecap* juga akan semakin kecil dan biaya menjadi lebih murah. Bila fondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang akan memperbesar tahanan momen. Berdasarkan SNI 8460:2017 Pasal 9.7.1.2 [2], spasi tiang (s) tidak boleh kurang dari keliling tiang atau 2.5 kali diameter tiang (untuk penampang lingkaran).

Daya dukung kelompok tiang dihitung berdasarkan efisiensi kelompok tiang. Efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor, yaitu sebagai berikut [13].

- Jumlah, panjang, diameter, susunan, dan jarak tiang.
- Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
- Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
- Urutan pemasangan tiang.
- Macam tanah.
- Waktu setelah pemasangan tiang.
- Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.
- Arah dari beban yang bekerja.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan efisiensi kelompok

tiang, contohnya Metode Converse-Labarre, Metode Los Angeles, Metode Seiler Keeney [6].

Beban yang akan diterima fondasi

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur rencana cukup sulit. Besar beban desain minimum untuk bangunan gedung diatur dalam SNI 1727:2020. Jenis beban yang sering dijumpai antara lain [14]:

a. Beban mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap selama umur rencana struktur. Mesin dan peralatan tetap yang tidak terpisahkan dari gedung juga termasuk ke dalam beban mati.

b. Beban mati tambahan (*super imposed dead load*)

Beban mati tambahan adalah beban mati yang berupa unsur tambahan, bersifat tetap, dan merupakan satu kesatuan dengan elemen struktur. Contoh beban mati tambahan adalah dinding setengah bata, elemen plafon dan penggantung, lantai keramik, spesi pada keramik dan finishing lantai.

c. Beban hidup

Beban hidup termasuk ke dalam beban gravitasi, yaitu jenis beban yang timbul akibat penggunaan atau penggunaan suatu gedung selama umur rencana gedung tersebut. Beban manusia, peralatan yang dapat dipindahkan, kendaraan bermotor, serta barang/benda lain yang letaknya tidak permanen.

d. Beban gempa

Beban Gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan.

e. Beban angin

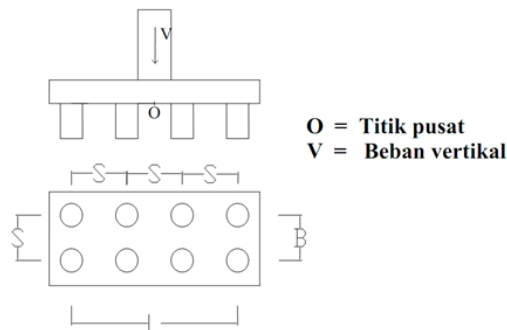
Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan dari gerakan angin. Besarnya beban angin bergantung pada lokasi dan ketinggian

gedung. Gedung tinggi yang dibangun di dekat pantai akan menerima beban angin yang cukup besar.

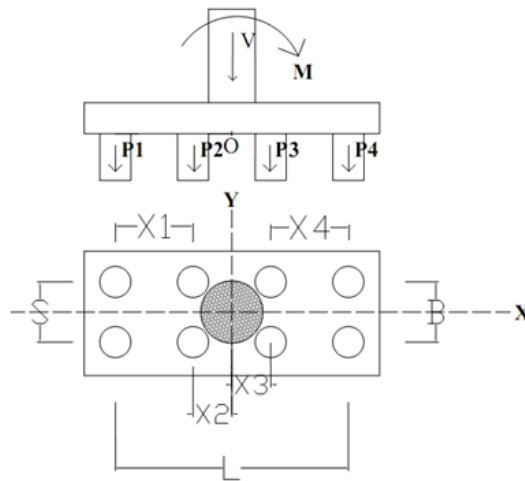
f. Beban khusus

Beban khusus adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat dari pengangkatan dan pemasangan, penurunan fondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin- mesin serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

Beban dari struktur atas tersebut akan disalurkan oleh elemen struktur kolom menuju fondasi yang nantinya akan diteruskan ke lapisan tanah keras. Beban yang disalurkan oleh kolom menuju fondasi berupa beban aksial, beban lateral, dan momen.



Gambar 12.22 Ilustrasi Pembebanan Tiang Akibat Beban Aksial [15]



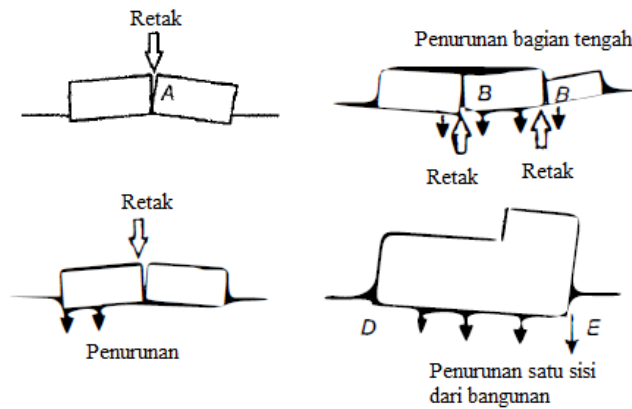
Gambar 12.23 Ilustrasi Pembebanan Tiang Akibat Beban Aksial dan Momen [15]

Gaya luar yang bekerja pada kepala tiang (kolom) didistribusikan ke *pile cap* dan tiang kelompok menggunakan prinsip elastisitas. Asumsi yang digunakan adalah *pile cap* cukup kaku sehingga gaya luar yang bekerja tidak menyebabkan deformasi pada *pile cap*. Distribusi beban ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

Beban ini akan dianalisis menggunakan kombinasi statik dan dinamik untuk mendapatkan kombinasi pembebanan yang paling menentukan. Fondasi harus mampu memikul kombinasi pembebanan yang paling menentukan agar struktur bangunan di atasnya dapat aman.

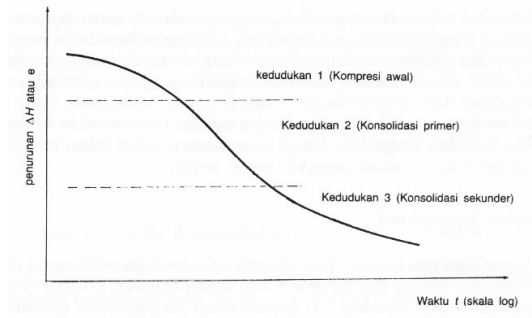
Pengendalian Penurunan tanah Akibat Beban Fondasi (*Settlement*)

Penurunan menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Umumnya, penurunan tidak seragam lebih berbahaya dibandingkan penurunan total. Contoh kerusakan akibat penurunan dapat dilihat pada Gambar 12.24.



Gambar 12.24 Contoh Kerusakan Bangunan Akibat Penurunan [4]

Penurunan total fondasi merupakan penjumlahan dari penurunan seketika (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder. Tahapan penurunan konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 12.25.



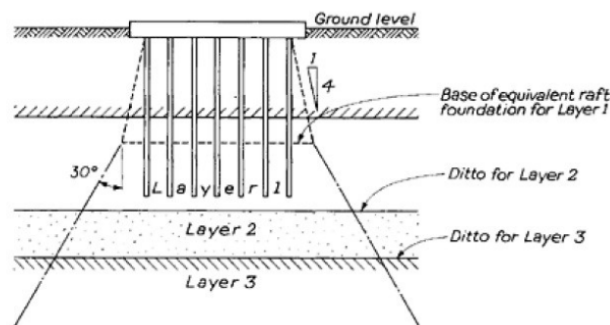
Gambar 12.25 Tahapan Konsolidasi [4]

Penurunan seketika adalah penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan dan terjadi pada volume konstan. Penurunan pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus tidak jenuh termasuk penurunan seketika karena penurunan terjadi seketika setelah penerapan beban.

Penurunan konsolidasi primer adalah penurunan yang terjadi sebagai hasil dari pengurangan volume tanah akibat aliran air meninggalkan zona tertekan yang diikuti oleh pengurangan kelebihan tekanan air pori. Tanah pada kedalaman

tertentu telah mengalami tegangan efektif pra-konsolidasi, yakni tegangan efektif maksimum yang pernah dialami sebelumnya. Tegangan efektif pra-konsolidasi dapat lebih kecil atau sama dengan tegangan *overburden* efektif saat ini. Terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), di mana tegangan efektif *overburden* pada saat ini adalah tekanan maksimum yang pernah dialami tanah itu [16].

Penurunan konsolidasi sekunder adalah penurunan yang tergantung dari waktu, namun berlangsung pada waktu setelah konsolidasi primer selesai yang tegangan efektif akibat bebannya telah konstan, biasanya penurunan konsolidasi sekunder ini dapat diamati setelah bangunan berusia lebih dari 20 -30 tahun [4].



Gambar 12.26 Distribusi Tegangan Penurunan Konsolidasi [10]

Perkiraan penurunan pada fondasi tiang merupakan masalah yang rumit yang disebabkan oleh beberapa faktor, seperti terjadinya gangguan pada tegangan tanah pada saat pemancangan dan ketidakpastian mengenai distribusi dan posisi pengalihan beban (*load transfer*) dari tiang ke tanah [17].

Metode untuk perhitungan penurunan fondasi dangkal cukup banyak yang telah diusulkan oleh para ahli, contohnya metode Janbu et al (1956), Terzaghi (1943), Schleicher (1925), Steinbrenner (1934), Fox dan Bowles (1977), Terzaghi & Peck (1967), Meyerhof (1965), Schemmertmann et al (1978), Skempton & Bjerrum (1957) [11].

Penurunan fondasi tiang kelompok dapat dihitung menggunakan beberapa metode,

contohnya Metode Vesic (1977), Metode Meyerhof (1976), Metode Coyle & Reese (1966), Poulos & Davis (1980), Skempton et al (1953) [5].

Menurut Terzaghi dan Peck (1967), pada bagian 2/3 panjang tiang bagian atas, kadar air tanah lempung tidak berubah oleh akibat beban struktur, sedangkan di bagian bawahnya, kadar air berubah oleh adanya konsolidasi. Karena itu, dapat dianggap bahwa tanah di bagian 2/3 panjang tiang tersebut sebagai material yang tidak mudah mampat. Dari pengamatan ini, Terzaghi dan Peck menyarankan penyebaran beban pondasi tiang pada tipe tiang gesek dianggap berawal dari 2/3 panjang tiang ke arah bawah. Salah satu cara pendekatan kasar yang sangat sederhana untuk menghitung tambahan tegangan akibat beban di permukaan untuk menghitung penurunan diusulkan oleh Boussinesq, caranya dengan membuat garis penyebaran beban 2V:1H (2 Vertikal berbanding 1 Horisontal). Dalam cara ini, dianggap beban fondasi q didukung oleh piramid yang mempunyai kemiringan sisi 2V:1H [18].

Berdasarkan SNI 8460:2017 Pasal 9.2.4.3 [2], bangunan tinggi harus memenuhi:

- a. Penurunan total $\leq 15 \text{ cm} + B (\text{cm})/600$
- b. Perbedaan penurunan $\leq B/600$

Perbedaan penurunan (*differential settlement*) adalah selisih besarnya penurunan antara satu kelompok tiang dengan kelompok tiang lainnya. Perbedaan penurunan ini perlu dibatasi karena jika perbedaan terlalu besar dapat menyebabkan bangunan miring dan dapat menyebabkan kerusakan struktur bahkan membahayakan penggunaannya. Kemiringan bangunan dapat terjadi karena perbedaan penurunan tanah pada satu titik dengan titik lainnya di area bangunannya sehingga pada tahap pembangunan atau selama bangunan tersebut berdiri terjadi pergerakan penurunan tanah akibat terjadinya perbedaan penurunan antar titik [19].

1.3 Penutup

Desain fondasi untuk bangunan gedung bertingkat terdiri dari beberapa tahapan mulai dari penentuan parameter desain tanah, perhitungan daya dukung, analisis

beban yang akan diterima fondasi, dan pengendalian penurunan (*settlement*) akibat beban fondasi. Beberapa tahapan ini bertujuan untuk memastikan fondasi mampu memikul beban struktur dengan baik sehingga tidak terjadi kerusakan atau penurunan yang berlebihan karena dapat membahayakan struktur di atasnya. Dalam desain fondasi, diperlukan analisis yang mendalam agar fondasi dapat berfungsi dengan baik dan tentunya biaya yang diperlukan juga efisien.

Referensi

- [1] Candra, A. I., & Yusuf, A. (2018). Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pada Pembangunan Gedung LP3M Universitas Kadiri. *Civilla: Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 3(2), 166-171.
- [2] Badan Standardisasi Nasional (2017). SNI 8460: 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*, 8460-2017
- [3] Surjandari, N. S. (2009). Analisa Penurunan Pondasi Rakit Pada Tanah Lunak. *GEMA TEKNIK Majalah Ilmiah Teknik*, 10(2), pp-16.
- [4] Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Fondasi I*. Gramedia Pustaka Utama.
- [5] Hardiyatmo, H. C. (2006). *Teknik Fondasi II*. Beta Offset, Yogyakarta.
- [6] Das, B. M., & Sivakugan, N. (2018). *Principles of foundation engineering*. Cengage learning.
- [7] Prima, A. C. (2020, May 26). *Inilah 3 JENIS Pondasi Tiang Pancang YANG Populer di Indonesia by asiacon*. ASIACON. Diakses pada 11 September 2021, dari <https://asiacon.co.id/blog/jenis-pondasi-tiang-pancang>.
- [8] Harsanto, C., Manoppo, F. J., & Sumampouw, J. E. R. (2015). Analisis Daya Dukung Tiang Bor (Bored Pile) Pada Struktur Pylon Jembatan Soekarno Dengan Plaxis 3D. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 5(2).
- [9] Raynaldi, R., & Susilo, A. J. PERBANDINGAN DEFORMASI DINDING PADA BASEMENT METODE TOP-DOWN DENGAN ANALISIS CONSTRUCTION STAGE DAN ANALISIS KONVENSIONAL. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 591-606.
- [10] Tomlinson, M., & Woodward, J. (2007). *Pile design and construction practice*. CRC press.
- [11] Hadihardaja, J. (1997). *Rekayasa Pondasi II Pondasi Dangkal dan Pondasi Dalam*. Gunadarma, Jakarta.
- [12] Rahardjo, P. P. (2005). *Manual Pondasi Tiang Edisi 3*. Bandung: Publikasi GEC, Universitas Katolik Parahyangan.

- [13] Coduto, Donald P., 1983, Geotechnical Engineering: Principles and Practices, Edisi Kedua, Pearson.
- [14] Suwarno, S., Siswanto, E., & Wahyudiono, H. (2018). PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG Studi Kasus: Pembangunan Gedung STKIP PGRI Trenggalek. *UKaRsT*, 2(2), 145-153.
- [15] Michael, A. (2019, January 20). *EFISIENSI KELOMPOK Tiang PANCANG*. Geoteknik. Retrieved September 12, 2021, from <https://sci-geoteknik.blogspot.com/2012/05/efisiensi-kelompok-tiang-pancang.html>.
- [16] Susiazti, H., Widiastuti, M., & Widayati, R. (2020). Analisis Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd). *Teknologi Sipil*, 4(1), 1-8.
- [17] Fahriani, F., & Apriyanti, Y. (2015, December). Analisis Daya Dukung Tanah dan Penurunan Pondasi Pada Daerah Pesisir Pantai Utara Kabupaten Bangka. In *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)* (Vol. 3, No. 2, pp. 89-95).
- [18] Ardiansyah, R. R., Satibi, S., & Nugroho, S. A. (2014). Analisis Sistem Penurunan Konsolidasi Multi-Layer. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 1(1), 1-7.
- [19] Orlando, O., & Sentosa, G. S. (2021). Studi Kasus Kemiringan Gedung 4 Lantai akibat Kegagalan Fondasi di Pangkal Pinang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 615-622.

Profil Penulis

Ir. Gregorius Sandjaja Sentosa, M.T.



Adalah dosen tetap Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara sejak tahun 1990, lulus sarjana Teknik sipil dari Universitas Tarumanagara tahun 1986, studi Magister diselesaikannya di Institut Teknologi Bandung tahun 1991 konsentrasi Geoteknik. Sejak lulus Program Magister langsung mengabdikan diri sebagai dosen tetap Universitas Tarumanagara sampai saat ini. Dalam pengalamannya sebagai dosen telah mengajar mata

kuliah Mekanika Tanah, Rekayasa Fondasi, Rekayasa Geoteknik, Dinamika Tanah, membimbing praktikum di Laboratorium Mekanika Tanah, membimbing skripsi mahasiswa tingkat sarjana. Pengalaman meneliti telah dilakukan sejak mengabdikan diri sebagai dosen, bersama Tim Peneliti memperoleh dana penelitian dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan pada tahun 2013 (sebagai anggota), 2014 (sebagai anggota), 2015 (sebagai ketua dan anggota), 2016 (sebagai ketua). Tahun 2018, salah satu karya penelitian bersama Tim Penelitinya yang dipublikasikan dalam Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 12 (KoNTekS 12) di Batam mendapat penghargaan sebagai Best Paper bidang Geoteknik. Pada periode tahun 2000-2014 telah dipercaya mengelola Program Studi Teknik Sipil di tempatnya berkarya sebagai Ketu Program Studi. Tahun 2006 ditunjuk sebagai penanggungjawab pengelolaan masalah penjaminan mutu Universitas Tarumanagara hingga saat ini.

Hansel Adisurya

Adalah mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara angkatan 2018. Aktif di Ikatan Mahasiswa Sipil Universitas Tarumanagara (IMASTA) dan beberapa program kerja yang diadakan IMASTA. Menjadi anggota Departemen Pengabdian Masyarakat IMASTA periode 2019/2020. Menjadi anggota Departemen Sumber Daya Manusia IMASTA periode 2020/2021. Menjadi asisten laboratorium Ilmu Ukur Tanah dan laboratorium Mekanika Rekayasa tahun 2021. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi rekayasa fondasi dan perbaikan tanah.

BAB 13

Perencanaan Prasarana Parkir di Gedung dan Jalan Lingkungan

Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Parkir merupakan salah satu hal penting yang mempengaruhi transportasi karena hampir semua perjalanan dengan kendaraan akan dimulai dan diakhiri di tempat parkir, terutama di pusat perbelanjaan, perkantoran dan apartemen, karena merupakan salah satu jenis pemanfaatan tata guna lahan yang dapat menimbulkan tarikan pergerakan kendaraan. Semakin baik perencanaan parkir dari faktor lokasi, kemudahan manuver, kecukupan kapasitas dan pengaturan tata letaknya maka akan meningkatkan minat dari konsumen untuk menggunakan fasilitas yang ada di Gedung. Di daerah perkotaan seperti kota Jakarta pengaruh ketersediaan lahan parkir sangat mempengaruhi pola perjalanan, terutama untuk pengguna kendaraan pribadi. Permasalahan parkir di daerah perkotaan pada umumnya terjadi di kawasan yang memiliki faktor penarik pergerakan yang tinggi sebagai tempat melakukan berbagai rutinitas. Perencanaan parkir yang kurang baik pada satu Kawasan Gedung Multiguna akan menimbulkan antrian sampai ke jalan akses di sekitarnya, yang menimbulkan kemacetan. Dengan demikian dapat dipastikan faktor perencanaan, penataan, pengaturan dan kecukupan kapasitas parkir sangat mempengaruhi fungsi Gedung.

Kata kunci: Fasilitas Parkir, Perencanaan, Penataan, Pengaturan dan Kapasitas Parkir, Fungsi Gedung

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Penggunaan kendaraan pribadi memiliki kehadiran yang dominan di masyarakat, dan masyarakat menghabiskan sebagian besar waktu untuk memarkir kendaraannya di suatu tempat [1]. Parkirpun menjadi berpengaruh penting terhadap transportasi karena hampir semua perjalanan dimulai dan berakhir di tempat parkir [2]. Menurut Dinas Perhubungan Provinsi DKI Jakarta, jumlah mobil penumpang pada tahun 2019 tercatat sebanyak 2.805.989 unit yang menyebabkan parkir untuk mobil penumpang di Provinsi DKI Jakarta terkadang mengalami ketidak seimbangan, antara lahan parkir yang lebih sedikit dibanding jumlah kendaraan, hal ini menyebabkan kemacetan.

Parkir juga mempengaruhi pergerakan kendaraan, dimana laju kendaraan dapat terhambat karena kendaraan yang parkir di badan jalan [3], oleh sebab itu lahan parkir menjadi sesuatu yang sangat penting, meski parkir di lahan parkir umumnya lebih mahal, tetapi ketersediaannya yang pasti akan mengurangi waktu tunggu untuk mencari parkir [4].

Parkir pun menjadi sesuatu hal yang sangat dibutuhkan di berbagai tempat, terutama di pusat perbelanjaan, gedung perkantoran dan apartemen (Gedung Multiguna), karena merupakan jenis pemanfaatan tata guna lahan yang dapat menimbulkan tarikan pergerakan kendaraan yang besar dan secara rutin [5], dan juga karena sebagian besar Gedung multiguna terletak di pusat kota dimana sering terjadi kemacetan lalu lintas [6]. Permasalahan parkir di daerah perkotaan umumnya terjadi pada beberapa kawasan yang memang memiliki faktor penarik lalu lintas yang tinggi sebagai tempat masyarakat melakukan berbagai rutinitas [7]. Dengan adanya Pusat kegiatan di tengah kota yang strategis, maka akan menimbulkan bangkitan/tarikan kendaraan pada jalan-jalan di sekitar pusat kegiatan tersebut yang akan menambah volume lalu lintas [8]. Antrian pada pusat kegiatan yang panjang hingga mencapai jalan akses pasti akan berdampak kepada kemacetan atau antrian lalu lintas di jalan akses [9].

Gedung multiguna, merupakan bisnis real estat dan perdagangan yang sedang berkembang di Indonesia, khususnya di Jakarta. Masyarakat Jakarta memiliki banyak antusiasme untuk berbelanja [10], sehingga dikatakan oleh (Jurista dan Farida, 2016) bahwa fasilitas parkir menjadi salah satu prasarana penting dalam sistem transportasi perkotaan yang dapat menunjang aktivitas untuk menjangkau kawasan tertentu terutama di pusat perbelanjaan dan perkantoran, sehingga penggunaannya harus efisien, aman, dan lancar [11]. Fasilitas parkir suatu gedung berpengaruh terhadap daya tarik dari Gedung itu sendiri, dimana fasilitas parkir yang memenuhi harapan pengunjung dapat memikat orang untuk berkunjung, atau sebaliknya [12]. Desain gedung parkir berpengaruh kepada kepuasan pelanggan, seperti konstruksi landasan, teknik keluar/masuk, konstruksi bangunan, kemudahan mencapai gedung, penahan roda, sirkulasi antar lantai, dan masih banyak lagi hal yang lainnya [13]

Dikatakan juga oleh (Ngo, 2018) bahwa kepuasan pelanggan yang lebih baik akan memberi keuntungan yang lebih tinggi terhadap fungsi dari gedung, hal tersebut dikarenakan kepuasan pelanggan menentukan keberhasilan dan kegagalan manajemen Gedung [14]. Menurut Ilosa, et al. (2016), dalam usaha menangani masalah tersebut, maka diperlukan pengadaan lahan parkir yang cukup dan penentuan bentuk permodelan parkir yang tepat, dimana kebutuhan parkir (*demand*) dan prasarana yang ada dibutuhkan (*supply*) haruslah seimbang dan disesuaikan dengan karakteristik perparkiran [15].

Seperti yang dikatakan oleh Jocunda, et al. (2014), daya tarik kawasan dengan tingkat mobilitas barang dan manusia yang tinggi, menciptakan pergerakan lalu lintas yang padat [16]. Akibatnya, terjadi peningkatan kebutuhan ruang parkir di Kawasan komersial. Kendaraan pribadi merupakan moda yang paling nyaman dan fleksibel dari waktu tempuh sehingga moda ini menjadi sangat dominan di seluruh dunia [17].

Peningkatan pergerakan penumpang di bangunan gedung membutuhkan pelayanan fasilitas parkir yang memadai agar dapat memberi pelayanan yang baik untuk mendukung fungsi fasilitas utama yaitu fungsi Gedung [18]. Dikatakan juga oleh Dewi dan Setyarini (2020), ketersediaan lahan parkir yang efektif sangat diperlukan untuk menghindari terjadinya penumpukan pengunjung dan tentunya dapat menimbulkan rasa ketidaknyamanan dan ketidakpuasan terhadap fasilitas parkir [19].

1.2 Isi/Pembahasan

Teori Parkir

Menurut Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir, Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 1998, parkir merupakan keadaan tidak bergerak kendaraan yang bersifat sementara. Sedangkan menurut PP No. 43 tahun 1993, parkir didefinisikan sebagai kendaraan yang berhenti pada tempat-tempat tertentu baik yang dinyatakan dengan rambu atau tidak, tidak semata-mata untuk menaikkan atau menurunkan orang dan barang. Definisi lain parkir adalah keadaan dimana suatu kendaraan berhenti untuk sementara (menurunkan muatan) atau berhenti cukup lama. Selain definisi di atas, ada beberapa definisi lainnya dari parkir yang dikemukakan oleh beberapa ahli, sebagai berikut:

1. Parkir diartikan sebagai suatu kegiatan untuk meletakkan atau menyimpan kendaraan disuatu tempat tertentu yang lamanya tergantung kepada selesainya keperluan dari pengendaraan tersebut [20].
2. Parkir adalah keadaan tidak bergerak suatu kendaraan yang bersifat sementara karena ditinggalkan oleh pengemudinya [21].
3. Parkir merupakan salah satu unsur prasarana transportasi yang tidak dapat dipisahkan dari sistem transportasi, sehingga pengaturan parkir akan mempengaruhi kinerja jaringan jalan [22].

Berdasarkan dari definisi di atas maka dapat ditarik kesimpulan parkir adalah suatu

keadaan dimana kendaraan bermotor atau tidak bermotor tidak bergerak atau berhenti sementara, dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan kebutuhan pemilik kendaraan. Saat berhenti membutuhkan lahan sebagai tempat pemberhentian yang diselenggarakan baik oleh pemerintah maupun pihak lain.

Jenis Parkir

Kendaraan yang menempuh suatu perjalanan pada akhirnya akan berhenti ditempat tujuan sehingga membutuhkan lahan parkir. Di bawah ini adalah beberapa jenis parkir yang ada menurut Direktorat Jendral Perhubungan Darat (1998).

a. Parkir Menurut Penempatannya

Parkir menurut penempatannya dibagi menjadi 2 seperti di bawah ini:

- Parkir di Jalan (*On Street Parking*)

Parkir di tepi jalan adalah jenis parkir yang penempatannya di sepanjang tepi jalan dengan ataupun tidak melebarkan badan jalan. Tempat parkir seperti ini dapat ditemui di kawasan pemukiman berkepadatan cukup tinggi. Kerugian jenis parkir ini dapat mengurangi kapasitas jalur lalu lintas. Parkir di jalan terdiri dari: tidak dikontrol (*uncontrolled*) dan parkir di pusat kota, terkontrol (*controlled*)

- Parkir di Luar Jalan (*Off Street Parking*)

Untuk menghindari terjadinya sebuah hambatan samping akibat parkir di jalan, maka parkir di luar jalan menjadi salah satu pilihan yang terbaik. Terdapat dua jenis parkir di luar jalan yaitu: Pelataran parkir dan gedung parkir bertingkat

b. Parkir Menurut Statusnya

Parkir menurut statusnya dibagi menjadi 5 seperti di bawah ini:

- Parkir Umum

Parkir umum adalah perparkiran yang menggunakan tanah, jalan dan lapangan yang dimiliki dan pengelolaannya diselenggarakan oleh pemerintahan daerah.

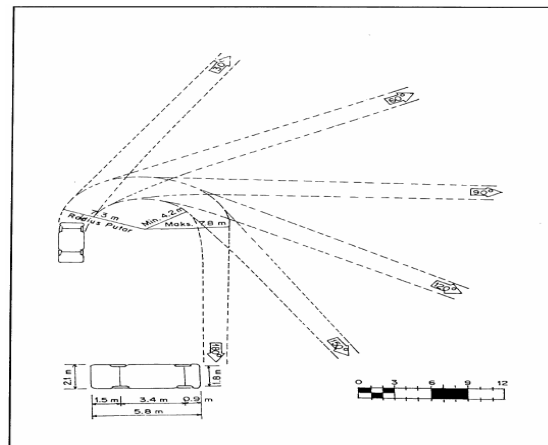
- Parkir Khusus

Parkir khusus adalah perparkiran yang menggunakan tanah-tanah bukan milik PEMDA yang pengelolaannya diselenggarakan oleh pihak lain (Swasta)

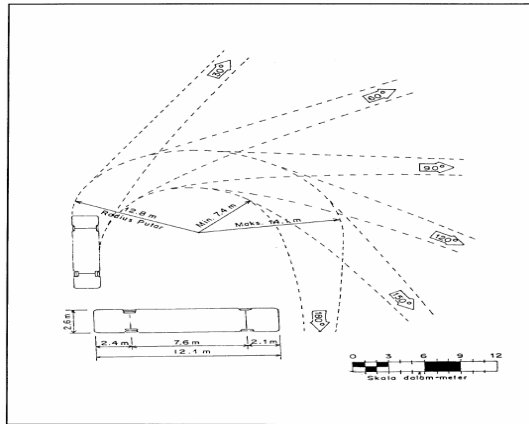
Kriteria Perencanaan

Kendaraan Rencana

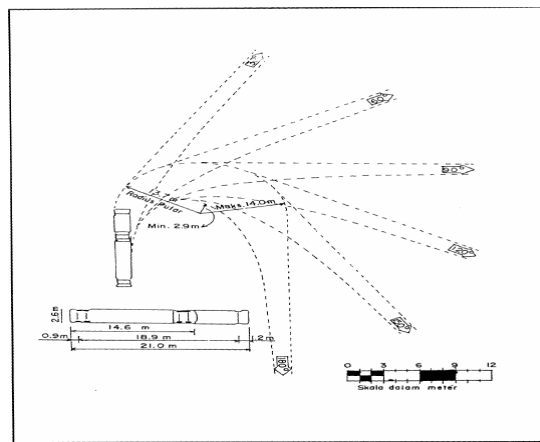
Kendaraan Rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik parkir, dikelompokkan ke dalam 3 kategori yaitu: Kendaraan Kecil, Kendaraan Sedang, dan Kendaraan Besar.



Gambar 13. 1 Jari-Jari Manuver Kendaraan Kecil
(Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota)



Gambar 13. 2 Jari-Jari Manuver Kendaraan Sedang
(Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota)



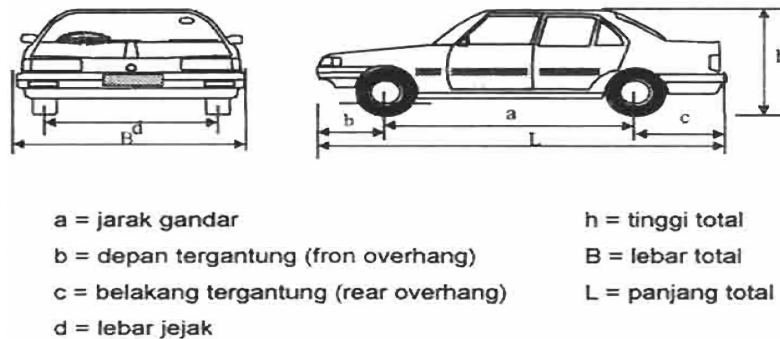
Gambar 13.3 Jari-Jari Manuver Kendaraan Besar
(Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota)

Kendaraan yang menempuh suatu perjalanan pada akhirnya akan berhenti ditempat tujuan sehingga membutuhkan lahan parkir. Di bawah ini adalah beberapa jenis parkir yang ada menurut Direktorat Jendral Perhubungan Darat (1998).

Satuan Ruang Parkir (SRP)

SRP merupakan ukuran luas efektif untuk memarkir kendaraan, termasuk ruang

bebas dan lebar bukaan pintu. Untuk hal-hal tertentu bila tanpa penjelasan, maka SRP untuk mobil penumpang [13]. Penentuan Satuan ruang parkir (SRP) didasari oleh hal berikut seperti pada Gambar 13.4:



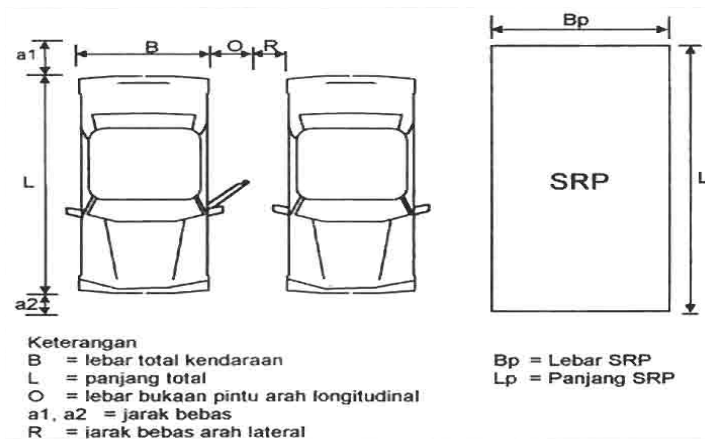
Gambar 13. 4 Dimensi Kendaraan Standar untuk Mobil Penumpang
(Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 1998)

Ruang bebas kendaraan parkir diberikan pada arah samping dan memanjang kendaraan. Arah samping ditetapkan pada saat posisi pintu kendaraan dibuka, diukur dari ujung paling luar pintu sampai ke badan kendaraan yang terparkir di sebaliknya. Arah samping bertujuan agar tidak terjadi benturan antara kendaraan saat penumpang naik atau turun. Ruang bebas kendaraan arah memanjang, ditetapkan di depan kendaraan untuk menghindari benturan dengan dinding atau kendaraan yang melewati jalur gang. Jarak bebas arah samping sebesar 5 cm dan memanjang sebesar 30 cm. Penentuan SRP dibagi menjadi tiga jenis kendaraan roda empat yaitu mobil penumpang, bus atau truk, dan yang terakhir adalah kendaraan roda dua yaitu motor. Untuk penentuan SRP kendaraan roda empat diklasifikasikan menjadi tiga golongan yaitu I, II, dan golongan III sesuai dengan jenis bukaan pintu seperti Tabel 13.1

Tabel 13.1 Penentuan Satuan Ruang Parkir (SRP)
(Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 1998)

Jenis Kendaraan	Satuan Ruang Parkir
Mobil penumpang untuk golongan I	2.30 X 5.00
Mobil penumpang untuk golongan II	2.51 X 5.00
Mobil penumpang untuk golongan III	3.00 X 5.00
Bus/Truk	3.40 X 12.50
Motor	0.75 X 2.00

Dari uraian di atas dapat ditetapkan besar satuan ruang parkir untuk tiap jenis kendaraan seperti pada Gambar 13.5:



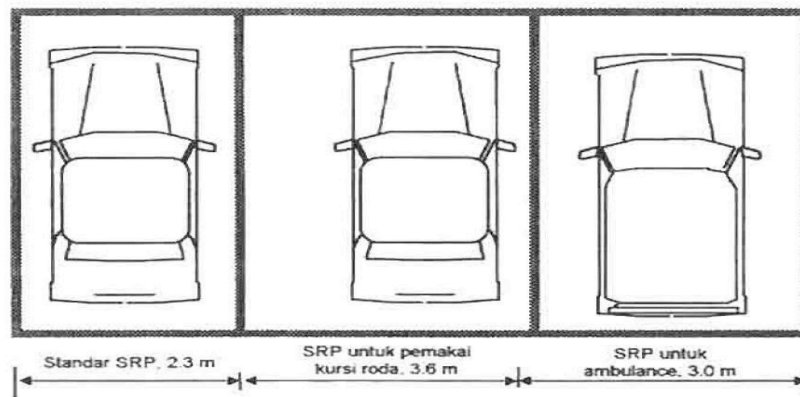
Gambar 13. 5 Satuan Ruang Parkir Mobil
(Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 1998)

Tabel 13.2 Golongan Satuan Ruang Parkir Mobil
(Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 1998)

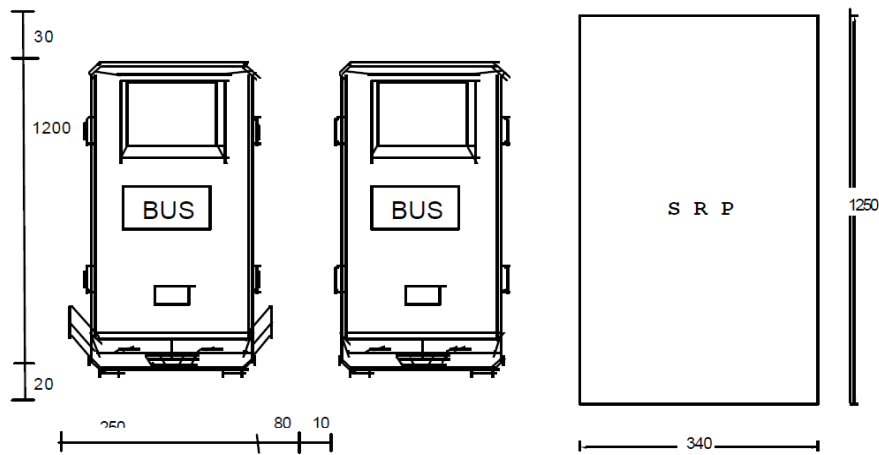
Keterangan	Golongan I	Golongan II	Golongan III
B	170 cm	170 cm	170 cm
L	470 cm	470 cm	470 cm
O	55 cm	75 cm	80cm
a1	10 cm	10 cm	10 cm
a2	20 cm	20 cm	20 cm
R	5 cm	5 cm	5 cm

Bp	230 cm	250 cm	230 cm
	(B+O+R)	(B+O+R)	(B+O+R)
Lp	500 cm	500 cm	500 cm
	(L+a1+a2)	(L+a1+a2)	(L+a1+a2)

SRP untuk penderita cacat khususnya bagi pengguna kursi roda harus mendapat perhatian khusus karena diperlukan ruang bebas lebih lebar. Untuk itu digunakan SRP dengan lebar 3.6 meter, minimal 3,2 m sedang untuk ambulance dengan lebar 3,0 minimal 2,6 m.



Gambar 13.6 Standar Satuan Ruang Parkir untuk Penderita Cacat dan *Ambulance*
(Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 1998)



Gambar 13.7 Satuan Ruang Parkir (SRP) untuk Bus/Truk (Dalam cm)
(Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 1998)

Desain Parkir di Badan Jalan

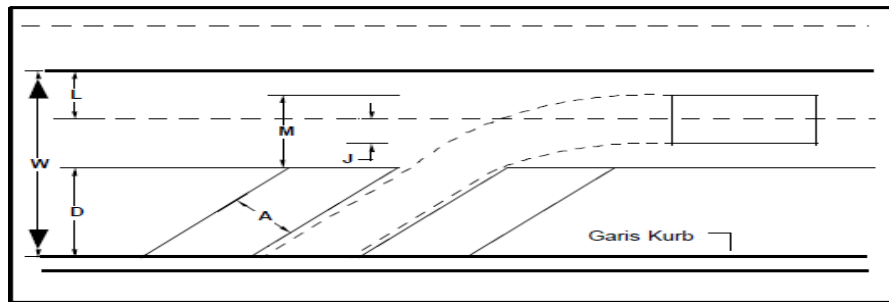
Penentuan Sudut Parkir

Sudut parkir yang akan digunakan umumnya ditentukan oleh: Lebar jalan, Volume lalu lintas, Karakteristik kecepatan, Dimensi kendaraan dan Tata guna lahan sekitarnya serta fungsi jalan. Tabel 13.3 memuat parkir satu arah pada jalan lokal primer.

Tabel 13.3 Lebar Minimum Jalan Lokal Primer Satu Arah Untuk Parkir Pada Badan Jalan (Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir)

Sudut Parkir (°n°)	Kriteria Parkir					Satu Lajur		Dua Lajur	
	Lebar Ruang Parkir A(m)	Ruang Parkir Efektif D(m)	Ruang Manuver M(m)	D+M (m)	D+M-J (m)	Lebar Jalan Efektif (m)	Lebar Total Jalan (m)	Lebar Jalan Efektif (m)	Lebar Total Jalan (m)
0	2,3	2,3	3,0	5,3	2,8	2,5	5,3	5,0	7,8
30	2,5	4,5	2,9	7,4	4,9	2,5	7,4	5,0	9,9
45	2,5	5,1	3,7	8,8	6,3	2,5	8,8	5,0	11,3
60	2,5	5,3	4,6	9,9	7,4	2,5	9,9	5,0	12,4
90	2,5	5,0	5,8	10,8	8,3	2,5	10,8	5,0	13,3

Keterangan: J = lebar pengurangan ruang manuver (2,5 meter)



Gambar 13.8 Ruang Parkir pada Badan Jalan
(Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir)

Keterangan:

A : lebar ruang parkir (m)	J : lebar pengurangan ruang manuver (m)
D : ruang parkir efektif (m)	W : lebar total jalan
M : ruang manuver (m)	L : lebar jalan efektif

Pola Parkir Kendaraan

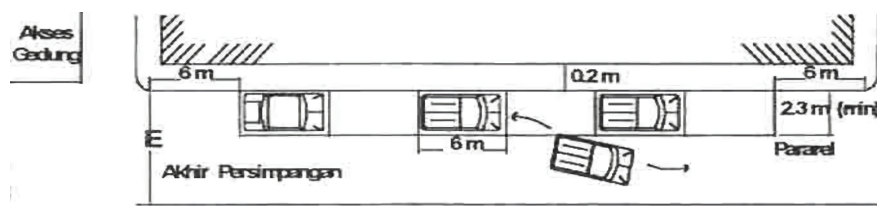
Menurut Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir, Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 1998 pola parkir dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

a. Penentuan Sudut Parkir

- Pola Parkir di Badan Jalan (*on street parking*)

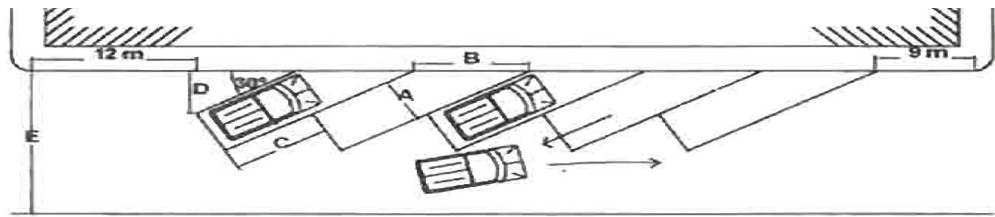
Cara kendaraan diparkirkan (sudut parkir) di badan jalan, digolongkan menjadi:

- Parkir kendaraan roda 4 dengan sudut parkir 0° atau sejajar sumbu jalan.

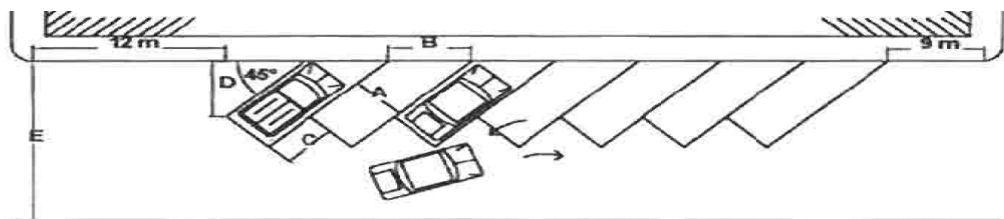


Gambar 13. 9 Parkir Kendaraan Roda 4 Sudut 0° atau paralel

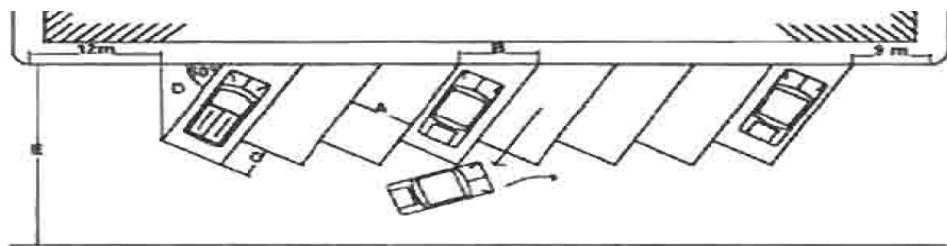
- Parkir kendaraan bermotor roda 4 membentuk sudut (30° , 45° , 60° , dan 90°)



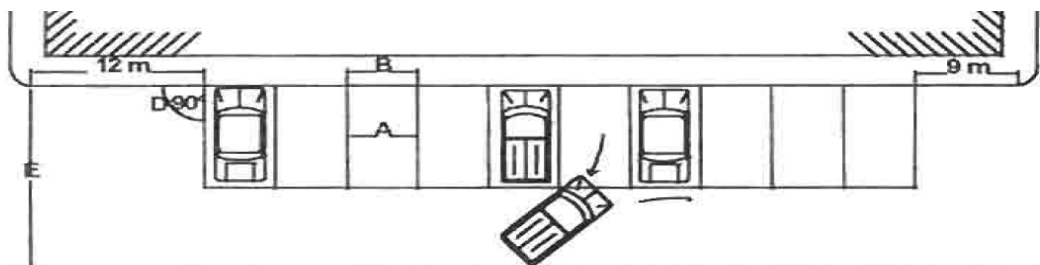
Gambar 13.10 Parkir Kendaraan Roda 4 Sudut 30°



Gambar 13.11 Parkir Kendaraan Roda 4 Sudut 45°



Gambar 13.12 Parkir Kendaraan Roda 4 Sudut 60°



Gambar 13.13 Parkir Kendaraan Roda 4 Sudut 90°

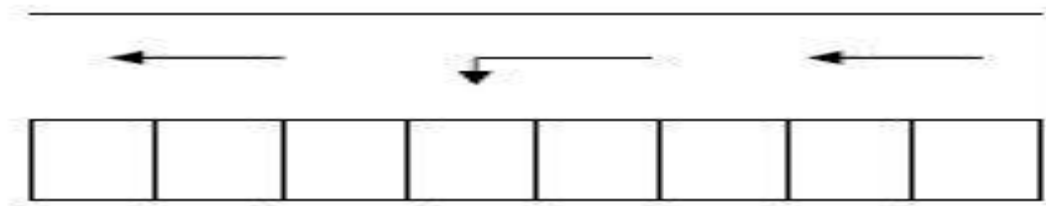
- Pola Parkir di Luar Badan Jalan (*off street parking*)

Menurut Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir (Direktorat

Jenderal Perhubungan Darat, 1998) pola parkir di luar badan jalan dibagi menjadi:

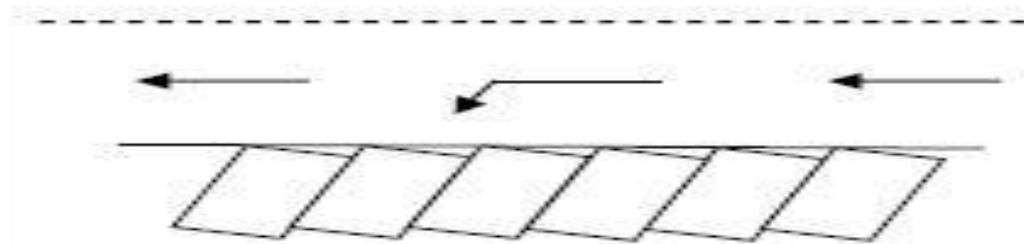
- Pola parkir kendaraan satu sisi

- 1) Membentuk sudut 90° , pola parkir ini memiliki daya tampung > jika dibandingkan dengan parkir paralel



Gambar 13.14 Pola Parkir Kendaraan Roda 4 Sudut 90°

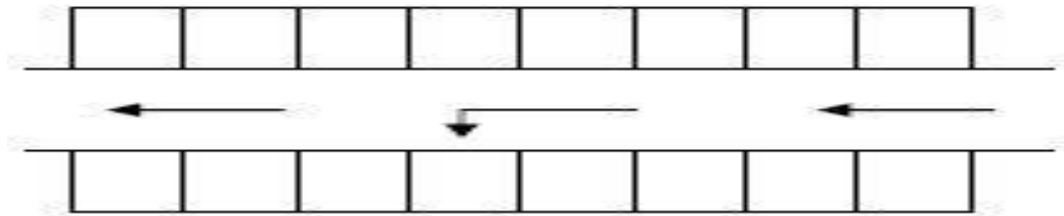
- 2) Membentuk sudut 30° , 45° , dan 60° , pola parkir ini memberikan kemudahan pengemudi melakukan manuver keluar-masuk ke ruangan parkir jika dibandingkan dengan pola parkir sudut 90° .



Gambar 13.15 Pola Parkir Kendaraan Roda 4 Sudut 30° , 45° , Dan 60°

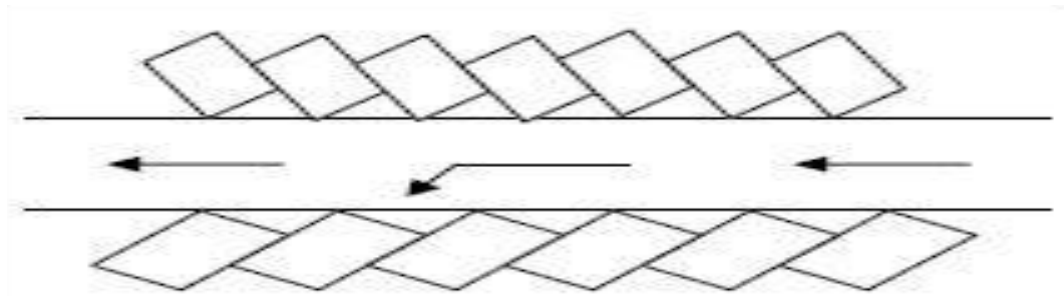
- Pola parkir kendaraan dua sisi

1. Membentuk sudut 90° dengan arah gerak lalu lintas kendaraan dapat satu arah atau dua arah.



Gambar 13.16 Pola Parkir Kendaraan Dua Sisi Roda 4 Sudut 90°

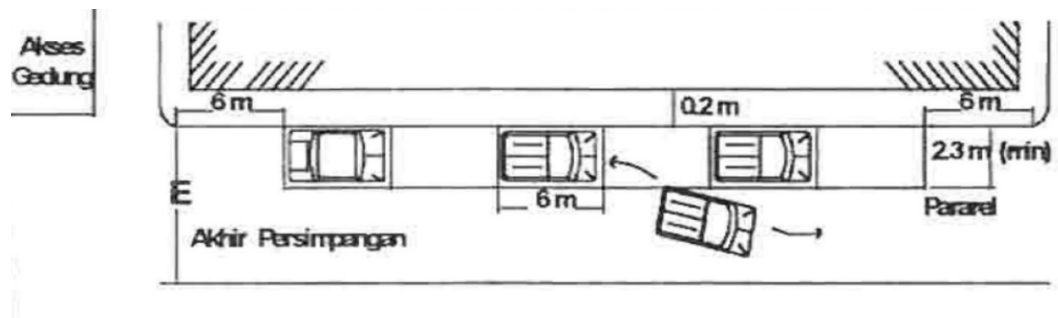
2. Membentuk sudut 30°, 45°, dan 60°



Gambar 13.17 Pola Parkir Kendaraan Dua Sisi Roda 4 Sudut 30°, 45°, Dan 60° (Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir, 1998)

b. Pola Parkir Paralel

- Pada Daerah Datar



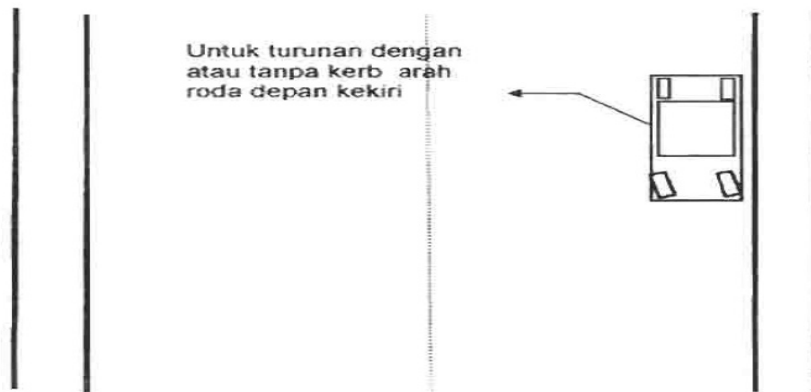
Gambar 13.18 Tata Cara Parkir Pararel pada Daerah Datar

- Pada Daerah Tanjakan



Gambar 13.19 Tata Cara Parkir Paralel pada Daerah Tanjakan

- Pada Daerah Turunan

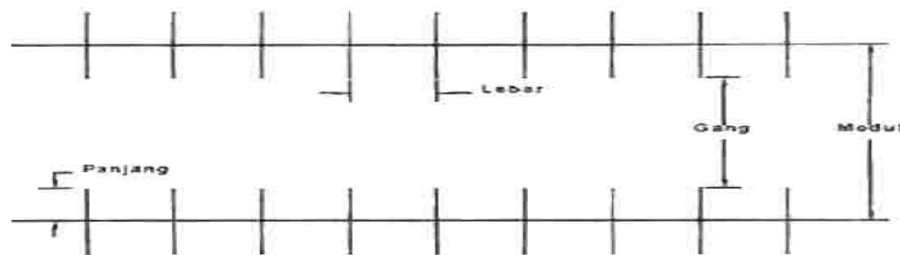


Gambar 13.20 Tata Cara Parkir Paralel pada Daerah Turunan.

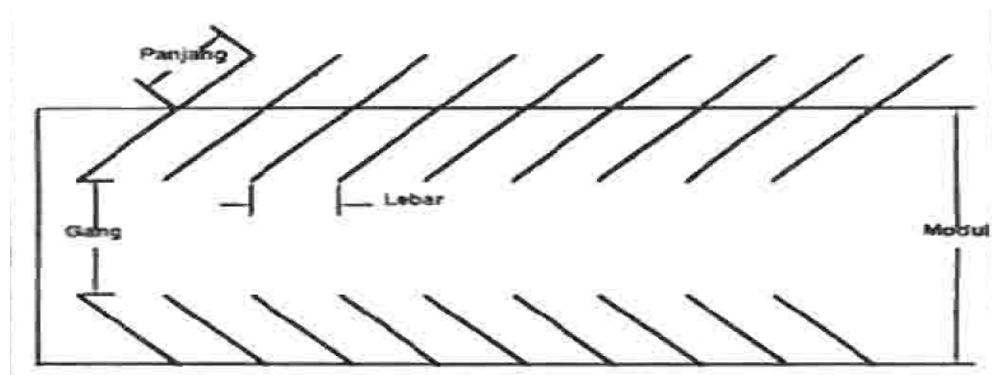
c. Jalur Sirkulasi, Gang dan Modul

Pada sebuah tempat parkir diperlukan jalur sirkulasi yaitu jalur yang digunakan untuk pergerakan kendaraan keluar dan masuk slot parkir. Jalur ini mempunyai ukuran lebar yang berbeda sesuai dengan pola dan sudut parkir. Selain itu areal parkir juga memiliki jalur gang, yaitu jalur antara dua deretan

ruang parkir yang berdekatan. Patokan umum yang dipakai adalah: Panjang sebuah jalur gang tidak lebih dari 100meter apabila untuk melayani lebih dari 50 kendaraan maka dianggap sebagai jalur sirkulasi. Lebar minimum jalur sirkulasi adalah 3.5 meter untuk jalan satu arah dan 6.5 meter untuk jalan dua arah.



Gambar 13.21 Ukuran Pelataran Parkir Tegak Lurus



Gambar 13.22 Ukuran Pelataran Parkir Sudut

Pengendalian/Pengaturan parkir

Pengendalian usaha parkir merupakan upaya untuk meningkatkan efisiensi perusahaan parkir tanpa mempengaruhi kinerjanya, merupakan program yang harus diselenggarakan dan secara cermat dan secara terus-menerus. Ketika permintaan parkir telah melebihi penyediaan lahan parkir, ditandai dengan banyaknya kendaraan yang parkir di tempat yang tidak seharusnya, maka dilaksanakan sistem kombinasi pembatasan tempat, waktu dan biaya.

Pengendalian waktu dan biaya terkait dengan usaha untuk menyeimbangkan penawaran, permintaan dan pengembalian investasi untuk pembangunan prasarana dan perawatan. Kebikjaksanaan ini sangat efektif untuk meningkatkan pelayanan jaringan parkir, seperti dikutip di Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir, Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 1998:

1. Pembatasan lokasi/tempat parkir, terutama dimaksudkan untuk mengendalikan arus lalu lintas kendaraan pribadi di suatu daerah atau untuk membebaskan satu daerah/koridor tertentu terhadap kendaraan yang parkir di pinggir jalan.
2. Pembatasan waktu parkir pada suatu koridor tertentu, misalnya koridor pada jam sibuk pagi harus bebas parkir karena akan digunakan untuk berlalu lintas.
3. Penetapan tarif parkir optimal sehingga pendapatan asli daerah dapat dioptimalkan sedang arus lalu lintas tetap dapat bergerak dengan lancar.
4. Pembatasan waktu parkir biasanya diwujudkan dengan penetapan tarif progresif terhadap lamanya waktu parkir.

Standar Penyediaan Ruang parkir

Pembangunan sarana parkir harus memenuhi standar yang ada, dimana standar kebutuhan parkir adalah jumlah tempat parkir yang dibutuhkan untuk menampung kendaraan berdasarkan fasilitas dan fungsi guna lahan. Kebutuhan parkir tidak hanya berbeda menurut kegiatan dan fasilitas/guna lahan tetapi juga berbeda menurut lokasi dari guna lahannya, misalnya pusat pertokoan di pusat kota akan berbeda kebutuhan parkirnya dengan pusat pertokoan di pinggiran kota. Standar penyediaan ruang parkir oleh *Urban Land Institute* untuk pusat perbelanjaan dalam studinya *Parking Requirements for Shopping Centers* pada tahun 1982 merekomendasikan :

- 4 petak parkir untuk 1,000 feet² luas lantai kotor, 4 petak parkir tiap 1.000ft² untuk pusat perbelanjaan dengan luas lantai 25,000 – 400,000 feet²

- 4 sampai 5 petak parkir untuk 1,000 feet² luas lantai kotor atau 4-5 petak parkir tiap 1.000 feet² dengan 4-5 petak parkir untuk pusat perbelanjaan dengan luas lantai 400,000 – 600,000 feet².
- 5 petak parkir untuk 1,000 feet² luas lantai kotor atau 5 petak parkir tiap 1.000feet² untuk pusat perbelanjaan dengan luas lantai diatas 600,000 feet².

Pemeliharaan Parkir

Menurut (Abubakar, et al., 1998) dalam (Muzakir, 2014), pemeliharaan perparkiran untuk menjamin agar pelataran parkir tetap dalam kondisi baik, pemeliharaan dengan cara: Sekurang-kurangnya setiap hari dibersihkan agar bebas dari sampah dan air yang tergenang, Pelataran parkir yang berlubang ditambah/diperbaiki secara rutin. Adapun fasilitas penunjang parkir yang memerlukan pemeliharaan adalah: pos jaga, lampu penerangan, pintu masuk dan keluar, Alat pencatat waktu dan pintu elektronis.

Standar Penyediaan Ruang parkir

Perlengkapan fasilitas parkir di dalam gedung meliputi [23]:

1. Rambu dan Marka, area yang menjadi tempat parkir harus ditandai dengan jelas menggunakan garis putih. Sedangkan area dimana kendaraan tidak boleh lewat ditandai dengan kerb / garis diagonal. Kondisi rambu dan marka juga dijaga.
2. Pemadam Kebakaran harus disediakan dengan jumlah yang cukup ditiap lantainya, dan harus ditempatkan di tempat yang mudah dijangkau dan terlindung. Hal ini untuk mencegah kebakaran yang lebih besar apabila terjadi kebakaran kecil di area parkir.

Standar Pelayanan Minimal (SPM)

Di dalam Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia no. 2 tahun 2018, mengenai SPM ketentuan mengenai jenis dan mutu pelayanan dasar yang merupakan urusan pemerintahan yang wajib dan berhak diperoleh setiap warga

negara secara minimal.

Urusan pemerintahan yang wajib diselenggarakan Pemerintah adalah yang berkaitan dengan SPM terdiri atas, Pendidikan, Kesehatan, Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, Perumahan Rakyat dan Kawasan permukiman, Ketentraman, ketertiban umum dan perlindungan masyarakat, dan Sosial.

Menurut (Sunyoto, 2013) kepuasan konsumen/pelanggan adalah tingkat kepuasan seseorang setelah membandingkan (kinerja atau hasil) yang dirasakan dibandingkan dengan harapannya [24]. Konsumen bisa memahami salah satu dari tiga tingkat kepuasan umum yaitu kalau kinerja di bawah harapan, konsumen akan merasa kecewa, bila kinerja sesuai dengan harapan pelanggan akan merasa puas dan kalau melebihi harapan maka pelanggan sangat puas dan senang atau sangat gembira.

Perusahaan parkir dapat meningkatkan kepuasan pengguna parkir dengan cara memaksimalkan pengalaman yang menyenangkan dan meminimalkan pengalaman pelanggan yang kurang menyenangkan. Pada akhirnya kepuasan pelanggan menciptakan kesetiaan atau loyalitas kepada perusahaan yang memberikan kualitas yang memuaskan. (Kotler, 2008), Konsep pelayanan yang baik akan memberikan peluang bagi perusahaan untuk bersaing dalam merebut konsumen [25]. Sedangkan kinerja yang baik (berkualitas) dari sebuah konsep pelayanan menimbulkan suasana yang kompetitif dimana hal tersebut dapat diimplementasikan melalui strategi untuk meyakinkan pelanggan, dan memperkuat *image*

1.3 Penutup

Perencanaan prasarana parkir meliputi perencanaan Fasilitas Parkir, Penataan ruang parkir, Pengaturan dari fasilitas yaitu lokasi, bangunan utama, bangunan

pelengkap dan perlengkapan parkir, serta Kapasitas Parkir yaitu jumlah kendaraan yang dapat ditampung oleh lokasi parkir tersebut. Agar Fasilitas parkir dapat sepenuhnya menunjang fungsi Gedung, maka fasilitas parkir di suatu gedung multiguna harus dapat memuaskan kebutuhan pelanggannya dengan mengakomodasi SPM yang telah ditetapkan oleh pemerintah dalam bidang prasarana parkir. SPM meliputi geometrik, lantai parkir/perkerasan, penerangan, pemadam kebakaran, pintu dan gerbang keluar masuk, rambu dan marka. Geometrik dari parkir mencakup lebar slot parkir, ruang bebas samping dan depan – belakang dari kendaraan rencana dan kenyamanan manuver, termasuk parkir pada tanjakan dan turunan. Gerbang dan pintu keluar masuk termasuk pintu lokasi karcis dan pembayaran parkir. Terpenuhinya SPM akan memberikan kepuasan terhadap pelanggan dan menjamin kefanatikan pelanggan dalam mempergunakan lokasi parkir, yang mempengaruhi keberhasilan pengelolaan dan meningkatkan fungsi Gedung.

Referensi

- [1] Mingardo, G. (2016). *Articles on Parking Policy*. Netherlands.
- [2] Christiansen, P., Engebretsen, Ø., Fearnley, N., & Hanssen, J. U. (2016). Parking facilities and the built environment: Impacts on travel. *Transportation Research Part A*.
- [3] Chaniotakis, E. (2014). *Parking Behavioural and Assignment Modelling: Methodology and application for the evaluation of Smart Parking applications*. Delft University of Technology.
- [4] Lee, J., Agdas, D., & Baker, D. (2017). Cruising for parking: New empirical evidence and influential factors on cruising time. *The Journal of Transport and Land Use*.
- [5] Widiarsih, F., AS, S., & Kadarini, N. (2017). Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura. *Analisis model tarikan pergerakan kendaraan pada tempat wisata (studi kasus di Kabupaten Kubu Raya)*.
- [6] Adegioriola, M., Osunsanmi, T., & Aigbavboa, C. (2018). The Development of an Automated Underground Parking Space for Shopping Malls in Nigeria.
- [7] Ikhsan, Muhammad. *Tingkat Kepuasan Pelanggan Terhadap Kinerja Pelayanan Parkir Sepeda Motor: Studi Kasus Mall Olympic Garden, Kota Malang*. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang, 2014.
- [8] Nasution, M. Y. K. (2018). Studi Pengaruh Keberadaan Pusat Perbelanjaan Plaza Millenium dan Hambatan Samping Terhadap Kondisi Lalu Lintas di Ruas Jalan Kapten Muslim. *Tugas Akhir Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- [9] Nugraha, A., Putra, S., Herianto, D, (2019). Evaluasi Kebutuhan dan Kinerja Pelayanan Parkir dan Sistem Antrian Pada Pusat Perbelanjaan di Bandar Lampung (Studi Kasus: Areal Parkir Transmart Carrefour Bandar Lampung).
- [10] Sebastian, E. H., & Purwanegara, M. S. (2014). Influencing Factors and Attractiveness of Shopping Mall to Mall Behaviour of People in Jakarta.

- [11] Jurista, A., & Farida, I. (2016). Penataan dan Penanganan Parkir Pada Badan Jalan Sepanjang Ruas Jalan Cimanuk Kabupaten Garut. *Jurnal Konstruksi Sekolah Tinggi Teknologi Garut*, 14, 102.
- [12] Van der Waerden, P., Verhoeven, M., & Timmermans, H. (2015). Car drivers' characteristics and the maximum walking distance between parking facility and final destination. *The Journal of Transport and Land Use*.
- [13] Abubakar, I., Sinaga, E. A., Budiarto, Sinulingga, T., Agung, T. G., Sembiring, N., . . . Sutiono, E. (1998). *Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir*. Jakarta: Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas Angkutan Kota dan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat.
- [14] Ngo, V. M. (2018, January). Measuring Customer Satisfaction: A Literature Review. *Proceedings of the 7th International Scientific Conference Finance and Performance of Firms in Science, Education and Practice*.
- [15] Ilosa, A. (2016). Kualitas Pelayanan Parkir di Tepi Jalan Umum Kota Yogyakarta.
- [16] Jocunda, Silvia. (2014). Karakteristik Ruang Parkir di Pusat Perbelanjaan Jalan Tanjungpura Kota Pontianak.
- [17] Budd, Lucy & Son, Stephen. (2013) An Empirical Examination of the Growing Phenomenon of Off-site Residential Car Parking Provision : The Situation at UK Airports.
- [18] Ardi, & Dewanti. (2019). Penataan Fasilitas Parkir Terminal Penumpang Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang.
- [19] Dewi, Chintya Kusuma & Setyarini, Ni Luh Putu Shinta Eka. (2020). Analisis Tingkat Kepuasan Pengguna Terhadap Fasilitas Parkir Mobil Mall Puri Indah.
- [20] Hobbs, F. D. (1995). Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas Edisi Kedua. *Terjemahan Suprpto dan Waldiyono*.
- [21] Syaiful. (2012). Studi Kasus Tentang Penggunaan Area Parkir Pada Pusat Perbelanjaan Pasar Baru di Kota Bogor.
- [22] Manurung, R. (2014). Sejarah Perkembangan Transportasi dan Faktor-Faktor yang Berpengaruh.

- [23] Brierley, J. (1972). *Parking of Motor Vehicles*. London, Applied Science Publishers.
- [24] Sunyoto, Danang. (2013). Teori Kuesioner dan Analisis Data.
- [25] Kotler, P. (2008). *Manajemen Pemasaran*. Jakarta: Indeks.
- [26] Dinas Perhubungan DKI Jakarta. (2019) <https://jakarta.bps.go.id/indicator/17/786/1/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis-kendaraan-unit-di-provinsi-dki-jakarta.html> 13 Februari 2021
- [27] Mingardo, G. (2016). *Articles on Parking Policy*. Netherlands.
- [28] Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. (1998). Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir.
- [29] Republik Indonesia. (1993) Peraturan Pemerintah No. 43 Tentang Prasarana dan Lalu Lintas.
- [30] Muzakir, A. (2014). Evaluasi Kapasitas dan Penataan Ruang Parkir Rumah. *Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- [31] Republik Indonesia (2018) Peraturan Pemerintah No. 2 Tentang Standar Pelayanan Minimal

Profil Penulis

Ir. Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini, M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Udayana dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Gajahmada. Memperoleh sertifikat Insinyur Profesional Madya (I.P.M.) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII). Memperoleh sertifikat Ahli Jalan Madya dari HPJI. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1994 dalam bidang Transportasi dengan jabatan akademik dosen Lektor. Saat ini sedang dalam proses menyelesaikan studi Doktor Teknik Sipil

dengan topik “Faktor Penting Yang Mempengaruhi Keberhasilan Audit Keselamatan Jalan Yang Sudah Beroperasi”. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi Keselamatan Jalan, Audit dan Perparkitan untuk Gedung dan Pelataran.

BAB 14

Perencanaan Prasarana Pejalan kaki

Leksmono Suryo Putranto

Benedictus Yosia Tingginehe

Farah Rizkia Ananda

Reynaldo Bernard Khuana

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

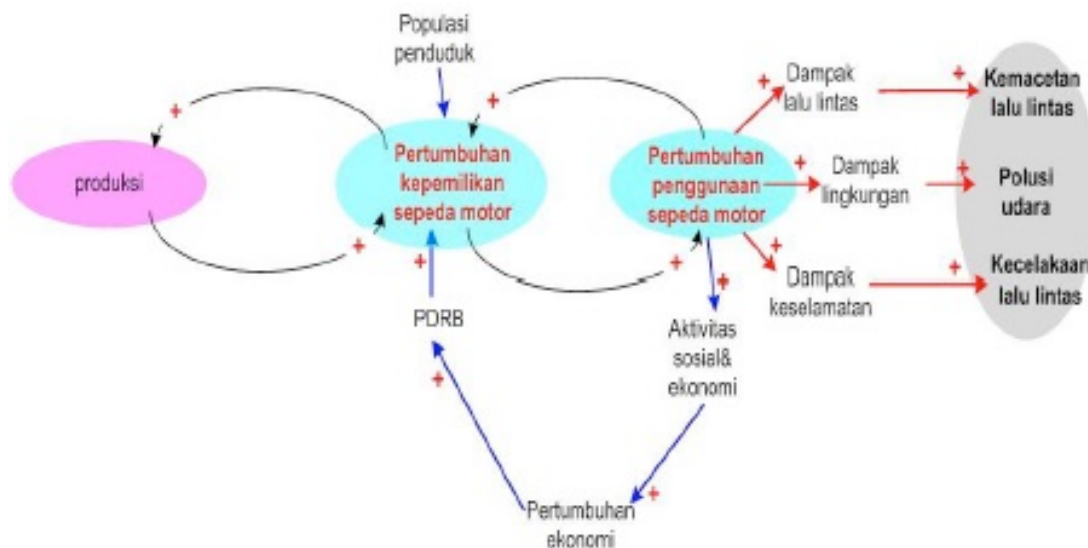
Kaki yang dipergunakan untuk berjalan adalah moda transportasi yang dimiliki setiap manusia sejak lahir. Walaupun secara rata-rata kecepatan tempuhnya di bawah moda lain, namun sifatnya yang mampu menempuh rute yang fleksibel membuatnya sesuai sebagai *first and last mile transportation*. Tulisan ini akan membahas faktor-faktor yang harus diperhatikan agar prasarana pejalan kaki dapat digunakan masyarakat dengan nyaman dan selamat. Hal ini untuk memastikan bahwa masyarakat lebih memilih menggunakan transportasi umum ketimbang transportasi pribadi karena mudah terhubung dengan rumah dan tempat aktivitas sebelum dan sesudah naik angkutan umum. Dengan demikian akan tercipta transportasi manusia yang berkeselamatan dan berkelanjutan.

Kata kunci: pejalan kaki, *last mile*, *first mile*, berkeselamatan, berkelanjutan

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Dalam bermobilitas, manusia memiliki banyak pilihan, tergantung jarak tempuh, kecepatan/ waktu tempuh yang dibutuhkan, tingkat kenyamanan yang diharapkan, jumlah penumpang yang diangkut, fleksibilitas rute tempuh, kemampuan membiayai perjalanan dll. Jika konteksnya transportasi perkotaan, terdapat sebuah frase terminologi yang digunakan untuk menggambarkan moda yang digunakan untuk terhubungnya rumah dan tempat aktivitas sebelum dan sesudah naik angkutan umum yaitu *first and last mile transportation* [1]. Terdapat dua pilihan utama moda yang bisa digunakan untuk keperluan ini. Pertama berjalan kaki dan ke dua bersepeda [2]. Yang akan dibahas pada bab ini hanyalah tentang pejalan kaki serta perencanaan prasarananya. Sebagian besar kota di Indonesia saat ini, adalah kota yang sangat tergantung kepada angkutan bermotor pribadi [3] baik berupa mobil maupun sepeda motor. Hal ini sangatlah serius karena menimbulkan berbagai kerugian. Gambar 1 menunjukkan *mental map* dari pertumbuhan dan dampak dari sepeda motor. Bertambahnya populasi penduduk dan peningkatan daya beli (yang diekspresikan dengan meningkatnya Pendapatan Domestik Regional Bruto, PDRB) menimbulkan meningkatnya kepemilikan sepeda motor [4]. Selanjutnya dengan meningkatnya kepemilikan sepeda motor dapat dipahami bahwa terjadi peningkatan pertumbuhan penggunaan sepeda motor [5]. Dampak buruk dari pertumbuhan peningkatan pertumbuhan penggunaan sepeda motor ini cukup beragam, antara lain dampak lalu-lintas berupa meningkatnya kemacetan lalu-lintas, dampak lingkungan berupa meningkatnya polusi udara dan dampak keselamatan berupa meningkatnya kecelakaan lalu-lintas. Sebenarnya peningkatan pertumbuhan penggunaan sepeda motor juga berdampak positif terhadap peningkatan produksi sepeda motor dan seterusnya. Untuk menghentikan efek berantai degradasi kualitas wilayah ini perlulah ditingkatkan peralihan dari pengguna angkutan bermotor pribadi khususnya sepeda motor menjadi pengguna angkutan umum. Salah satu daya tarik untuk berpindah ke angkutan umum adalah dengan penyediaan sistem angkutan umum yang terintegrasi, termasuk tersedianya *first and last mile transportation*. Berjalan kaki tentu saja adalah pilihan paling

sederhana untuk itu. Dengan penyediaan prasarana pejalan kaki yang terencana dengan baik maka diharapkan dapat terwujud sistem transportasi perkotaan yang berkeselamatan dan berkelanjutan.



Gambar 14.1 *Mental Map* Pertumbuhan Sepeda Motor [6]

1.2 Isi/Pembahasan

Pedoman Perencanaan

Pedoman perencanaan, penyediaan, dan pemanfaatan prasarana dan sarana jaringan pejalan kaki di kawasan perkotaan diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 03/PRT/M/2014 [7]. Kebutuhan ruang jalur pejalan kaki untuk berdiri dan berjalan dihitung berdasarkan dimensi rata-rata tubuh manusia. Dimensi tubuh yang lengkap berpakaian adalah 45 cm untuk tebal tubuh sebagai sisi pendeknya dan 60 cm untuk lebar bahu sebagai sisi panjangnya. Berdasarkan perhitungan dimensi tubuh manusia, kebutuhan ruang minimum pejalan kaki tanpa membawa barang dan keadaan diam yaitu 0,27 m². Sementara jika tanpa membawa barang dan keadaan bergerak kebutuhan ruangnya 1,08 m². Sedangkan

jika membawa barang dan keadaan bergerak kebutuhan ruangnya antara 1,35 m²-1,62 m².

Ruang Jalur Pejalan Kaki Berkebutuhan Khusus

Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 03/PRT/M/2014 [7], persyaratan khusus ruang bagi pejalan kaki yang mempunyai keterbatasan fisik (penyandang disabilitas) yaitu sebagai berikut:

- a. Jalur pejalan kaki memiliki lebar minimum 1,5m dan luas minimum 2,25 m².
- b. Alinyemen jalan dan kelandaian jalan mudah dikenali oleh pejalan kaki antara lain melalui penggunaan material khusus.
- c. Menghindari berbagai bahaya yang berpotensi mengancam keselamatan seperti jeruji dan lubang.
- d. Tingkat trotoar harus dapat memudahkan dalam menyeberang jalan.
- e. Dilengkapi jalur pemandu dan perangkat pemandu untuk menunjukkan berbagai perubahan dalam tekstur trotoar.
- f. Permukaan jalan tidak licin.
- g. Jalur pejalan kaki dengan ketentuan kelandaian yaitu sebagai berikut:
 - Tingkat kelandaian tidak melebihi dari 8% (1 banding 12).
 - Jalur yang landai harus memiliki pegangan tangan setidaknya untuk satu sisi (disarankan untuk kedua sisi). Pada akhir landai setidaknya panjang pegangan tangan mempunyai kelebihan sekitar 0,3m.
 - Pegangan tangan harus dibuat dengan ketinggian 0.8m diukur dari permukaan tanah dan panjangnya harus melebihi anak tangga terakhir.
 - Seluruh pegangan tangan tidak diwajibkan memiliki permukaan yang licin.
 - Area landai harus memiliki penerangan yang cukup.

Ketentuan untuk fasilitas bagi pejalan kaki berkebutuhan khusus yaitu sebagai berikut:

- a. Ramp diletakan di setiap persimpangan, prasarana ruang pejalan kaki yang memasuki pintu keluar masuk bangunan atau kaveling, dan titik-titik penyeberangan.
- b. Jalur difabel diletakkan di sepanjang prasarana jaringan pejalan kaki.
- c. Pemandu atau tanda-tanda bagi pejalan kaki yang antara lain meliputi: tanda-tanda pejalan kaki yang dapat diakses, sinyal suara yang dapat didengar, pesan-pesan verbal, informasi lewat getaran, dan tekstur ubin sebagai pengarah dan peringatan.

Ruang Bebas Jalur Pejalan Kaki

Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 03/PRT/M/2014 [7], ruang bebas jalur pejalan kaki memiliki kriteria sebagai berikut:

- a. Memberikan keleluasaan pada pejalan kaki.
- b. Mempunyai aksesibilitas tinggi.
- c. Menjamin keamanan dan keselamatan.
- d. Memiliki pandangan bebas terhadap kegiatan sekitarnya maupun koridor jalan keseluruhan.
- e. Mengakomodasi kebutuhan sosial pejalan.

Spesifikasi ruang bebas jalur pejalan kaki ini yaitu sebagai berikut:

- a. Memiliki tinggi paling sedikit 2.5m.
- b. Memiliki kedalaman paling sedikit 1m.
- c. Memiliki lebar samping paling sedikit dari 0.3m.

Jarak Minimum Jalur Pejalan Kaki dengan Bangunan

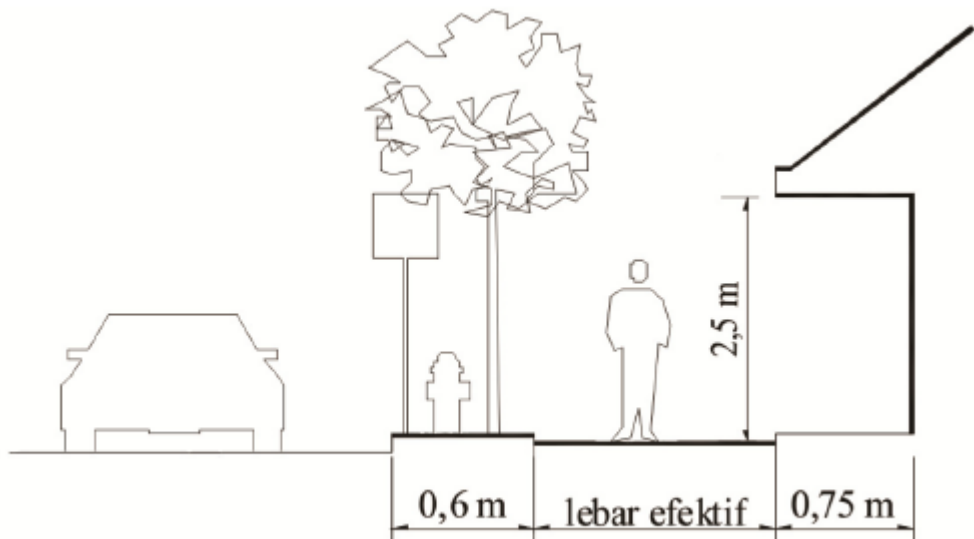
Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 03/PRT/M/2014 [7], jaringan pejalan kaki di perkotaan dapat berfungsi untuk berbagai tujuan yang beragam. Gambar 14.2 dan Gambar 14.3 menunjukkan bahwa secara umum ruas pejalan kaki di depan gedung terdiri dari jalur bagian depan gedung, jalur pejalan kaki, dan jalur perabot jalan. Jaringan pejalan kaki memiliki perbedaan ketinggian baik

dengan jalur kendaraan bermotor ataupun dengan jalur perabot jalan (*street furniture*). Perbedaan tinggi maksimal antara jalur pejalan kaki dan jalur kendaraan bermotor adalah 0,2 meter, sementara perbedaan ketinggian dengan jalur hijau 0,15 meter. Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 03/PRT/M/2014 [7], kriteria ukuran jalur pejalan kaki bagian depan gedung adalah sebagai berikut:

- a. Jalur bagian depan gedung adalah ruang antara dinding gedung dan jalur pejalan kaki. Pejalan kaki biasanya akan tidak merasa nyaman bila berjalan kaki secara langsung berdekatan dengan dinding gedung atau pagar. Untuk itu jarak minimum setidaknya berjarak 0,75m dari jarak sisi gedung atau tergantung pada penggunaan area ini. jalur bagian depan dapat ditingkatkan untuk memberikan kesempatan untuk ruang tambahan bagi pembukaan pintu atau kedai kopi disisi jalan, serta kegiatan lainnya.
- b. Bagi orang yang memiliki keterbatasan indera penglihatan dan sering berjalan di area ini, dapat menggunakan suara dari gedung yang berdekatan sebagai orientasi, atau bagi tuna netra pengguna tongkat dapat berjalan dengan jarak antara 0,3m hingga 1,2m dari bangunan.
- c. Bagian depan harus bebas dari halangan atau berbagai objek yang menonjol. jalur bagian depan gedung juga harus dapat dideteksi oleh tuna netra yang menggunakan tongkat yang panjang.



Gambar 14.2 Jalur pada Ruas Pejalan Kaki [2]



Gambar 14.3 Lebar Minimum Fasilitas Pejalan Kaki [2].

Jalur Pejalan Kaki

Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 03/PRT/M/2014 [7], kriteria ukuran jalur pejalan kaki adalah sebagai berikut:

- a. Jalur pejalan kaki adalah ruang yang digunakan untuk berjalan kaki atau berkursi roda bagi penyandang disabilitas secara mandiri dan dirancang berdasarkan kebutuhan orang untuk bergerak aman, mudah, nyaman dan tanpa hambatan.
- b. Jalur pejalan kaki ini merupakan ruang dari koridor sisi jalan yang secara khusus digunakan untuk area pejalan kaki. Ruas ini harus dibebaskan dari seluruh rintangan, berbagai objek yang menonjol dan penghalang vertikal paling sedikit 2,5m dari permukaan jalur pejalan kaki yang berbahaya bagi pejalan kaki dan bagi yang memiliki keterbatasan indera penglihatan.
- c. Lebar jalur pejalan kaki bergantung pada intensitas penggunaannya untuk perhitungan lebar efektifnya. Jalur pejalan kaki ini setidaknya berukuran lebar 1,8 hingga 3m atau lebih untuk memenuhi tingkat pelayanan yang diinginkan dalam kawasan yang memiliki intensitas pejalan kaki yang tinggi. Lebar minimum untuk kawasan pertokoan dan perdagangan yaitu 2m. Kondisi ini dibuat untuk memberikan kesempatan bagi para pejalan kaki yang berjalan berdampingan atau bagi pejalan kaki yang berjalan berlawanan arah satu sama lain.
- d. Jalur yang digunakan untuk pejalan kaki di jalan lokal dan jalan kolektor adalah 1,2 meter, sedangkan jalan arteri adalah 1,8 meter. Ruang tambahan diperlukan untuk tempat pemberhentian dan halte bus dengan luas 1,5m x 2,4m.
- e. Jalur pejalan kaki tidak boleh kurang dari 1,2m yang merupakan lebar minimum yang dibutuhkan untuk orang yang membawa seekor anjing, pengguna alat bantu jalan, dan para pejalan kaki.
- f. Jalur pejalan kaki memiliki perbedaan ketinggian dengan jalur kendaraan bermotor. Perbedaan tinggi maksimal antara jalur pejalan kaki dengan jalur kendaraan bermotor adalah 20 cm.

Kemiringan Jalur Pejalan Kaki

Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 03/PRT/M/2014 [7], kriteria

kemiringan jalur pejalan kaki terdiri atas:

- a. Kemiringan memanjang yang kriterianya ditentukan berdasarkan kemampuan berjalan kaki dan tujuan desain.
- b. Kemiringan melintang yang kriterianya ditentukan berdasarkan kebutuhan untuk drainase serta material yang digunakan pada jalur pejalan kaki.

Pada kemiringan memanjang, kemiringan maksimal sebesar 8% dan disediakan bagian yang mendatar dengan panjang minimal 1,2m pada setiap jarak maksimal 9m. Sedangkan pada kemiringan melintang kemiringan minimal sebesar 2% dan kemiringan maksimal sebesar 4%. Dalam kondisi tidak memungkinkan untuk menyediakan kemiringan memanjang, kemiringan dimaksud dapat digantikan dengan penyediaan anak tangga. Prinsip perencanaan sarana jaringan pejalan kaki yaitu tidak mengganggu dan mendukung fungsi prasarana jaringan pejalan kaki yang direncanakan atau sudah ada.

Penyebrangan

Pedoman Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03/PRT/M/2014 [7] mengemukakan bahwa penyediaan prasarana jaringan pejalan kaki membutuhkan keterhubungan dengan prasarana jaringan pejalan kaki lain yang berseberangan melalui penyediaan penyeberangan sebidang, jembatan penyeberangan, atau terowongan penyeberangan. Penyediaan penyeberangan bertujuan agar jalur pejalan kaki yang ada tidak terputus serta untuk memudahkan dalam pergantian jalur yang berbeda. Ketentuan penyediaan penyeberangan untuk pejalan kaki adalah sebagai berikut:

a. Jenis Penyeberangan.

- Penyeberangan Sebidang.

Penyeberangan sebidang merupakan fasilitas penyeberangan bagi pejalan kaki yang sebidang dengan jalan.

- Penyeberangan zebra.

Penyeberangan zebra merupakan fasilitas penyeberangan bagi pejalan kaki sebidang yang dilengkapi marka untuk memberikan batas dalam melakukan lintasan. Ketentuan penyediaan penyeberangan zebra yaitu sebagai berikut:

- terletak pada kaki persimpangan jalan tanpa atau dengan alat pemberi isyarat lalu-lintas.
 - pemberian waktu penyeberangan bagi pejalan kaki menjadi satu kesatuan dengan lampu pengatur lalu lintas persimpangan pada persimpangan yang memiliki lampu pengatur lalu lintas..
 - apabila terletak pada kaki persimpangan jalan tanpa alat pemberi isyarat lalu-lintas, maka kriteria batas kecepatan kendaraan bermotor adalah <40 km/jam.
- Penyeberangan Pelikan.

Fasilitas untuk penyeberangan pejalan kaki sebidang yang dilengkapi dengan marka dan lampu pengatur lalu lintas. Ketentuan penyediaan penyeberangan pelikan yaitu sebagai berikut:

- terletak pada ruas jalan dengan jarak minimal 300 meter dari persimpangan.
 - pada jalan dengan kecepatan operasional rata-rata lalu lintas kendaraan >40 km/jam.
- Penyeberangan Tidak Sebidang.

Penyeberangan tidak sebidang merupakan fasilitas penyeberangan bagi pejalan kaki yang terletak di atas atau di bawah permukaan tanah.

- Jembatan penyeberangan.
Jembatan penyeberangan merupakan fasilitas penyeberangan bagi pejalan kaki yang terletak di atas permukaan tanah dan digunakan apabila:
 - penyeberangan zebra tidak dapat diadakan.

- penyeberangan pelikan sudah mengganggu lalu lintas kendaraan yang ada.
- ruas jalan memiliki kecepatan kendaraan yang tinggi dan arus pejalan kaki yang cukup ramai.
- ruas jalan dengan frekuensi terjadinya kecelakaan pejalan kaki yang cukup tinggi.

Ketentuan pembangunan jembatan penyeberangan harus memenuhi kriteria:

- keselamatan dan kenyamanan para pemakai jembatan serta keamanan bagi pemakai jalan yang melintas di bawahnya.
- penempatannya tidak mengganggu kelancaran lalu lintas.
- estetika dan keserasian dengan lingkungan di sekitarnya.

- Terowongan

Terowongan merupakan fasilitas penyeberangan bagi pejalan kaki yang terletak di bawah permukaan tanah dan digunakan apabila:

- Jembatan penyeberangan tidak dimungkinkan untuk diadakan.
- Lokasi lahan memungkinkan untuk dibangun di bawah tanah.

Ketentuan pemilihan lokasi penyeberangan tidak sebidang memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- mudah dilihat serta dapat dijangkau dengan mudah dan aman.
- memiliki jarak maksimum 50 m dari pusat kegiatan dan keramaian serta pemberhentian bus.
- memiliki jarak minimum 50 m dari persimpangan jalan.

- jalur yang melandai harus disediakan untuk seluruh tempat penyeberangan bagi pejalan kaki baik di atas jalan maupun di bawah jalan. Jika diperlukan, maka dapat disediakan tangga untuk mencapai tempat penyeberangan. Apabila tidak tersedia cukup ruang untuk ini, maka disarankan menggunakan lift

b. Marka Jalan untuk Penyeberangan Pejalan Kaki.

Marka jalan untuk penyeberangan pejalan kaki dapat terdiri atas:

- a) *Zebra cross*, yaitu marka berupa garis-garis utuh yang membujur tersusun melintang jalur lintas.
- b) Marka 2 (dua) garis utuh melintang jalur kendaraan bermotor.

Ketentuan teknis marka jalan untuk penyeberangan pejalan kaki yaitu sebagai berikut:

- a) Garis membujur memiliki lebar 0,30 meter dan panjang minimal 2,50 meter.
- b) Celah di antara garis-garis membujur mempunyai lebar minimal 0,30 meter dan maksimal 0,60 meter.
- c) Garis melintang memiliki lebar 0,30 meter.
- d) Jarak antar garis melintang minimal 2,5 meter.

c. Lokasi Penyeberangan.

Lokasi penyeberangan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- Penyeberangan di Tengah Ruas Jalan.

Untuk kawasan perkotaan, dalam hal terdapat jarak antar persimpangan yang cukup panjang dapat disediakan penyeberangan di tengah ruas jalan agar pejalan kaki dapat menyeberang dengan mudah dan cepat.

- Lokasi penyeberangan di tengah ruas jalan ditetapkan dengan kriteria sebagai berikut:
 - Lokasi penyeberangan memungkinkan untuk mengarahkan pejalan kaki menyeberang pada satu lokasi.
 - Merupakan rute yang aman bagi anak-anak sekolah untuk menyeberang jalan.
 - Berada pada kawasan dengan konsentrasi pejalan kaki yang menyeberang cukup tinggi.
- Ketentuan teknis untuk penyeberangan di tengah ruas jalan yaitu sebagai berikut:

- Dilengkapi dengan rambu-rambu peringatan yang diletakkan pada tempat sebelum mengarah pada lokasi penyeberangan untuk memperingatkan pengendara bermotor mengenai adanya aktivitas penyeberangan.
- dilengkapi dengan penerangan jalan yang cukup.
- dilengkapi dengan rambu-rambu dengan penerangan yang cukup.
- memiliki jarak pandang yang cukup baik bagi pengendara bermotor maupun pejalan kaki.
- dilengkapi dengan median jalan untuk lokasi penyeberangan dengan arus lalu lintas 2 (dua) arah agar penyeberang jalan dapat berkonsentrasi pada satu arah.
- Hal-hal yang harus dihindari pada jalur penyeberangan di tengah ruas jalan, khususnya yang tidak bersinyal adalah:
 - terletak <90 meter dari sinyal lalu lintas, dimana pengendara bermotor tidak mengharapkan adanya penyeberang.
 - berada pada jarak 180 meter dari titik penyeberangan yang lain, kecuali pada pusat kota/*Central Business District* (CBD) atau lokasi yang sangat memerlukan penyeberangan.
 - pada jalan dengan batasan kecepatan di atas 72 km/jam.
- Penyeberangan di Persimpangan.

Ketentuan teknis untuk penyeberangan di persimpangan yaitu sebagai berikut:

- dilengkapi alat pemberi isyarat lalu lintas yang berfungsi untuk menghentikan arus lalu lintas sebelum pejalan kaki menyeberang jalan atau memberi isyarat kepada pejalan kaki saat yang tepat untuk menyeberang jalan.
- jika penyeberangan di persimpangan memiliki permasalahan yang cukup kompleks antara lain dengan interaksi dari sistem prioritas,

volume yang membelok, kecepatan, jarak penglihatan, dan tingkah laku pengemudi, maka pada suatu fase yang terpisah bagi pejalan kaki dapat diterapkan alat pemberi isyarat lalu lintas, dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- arus pejalan kaki yang menyeberangi setiap kaki persimpangan lebih besar dari 500 orang/jam.
- lalu lintas yang membelok kesetiap kaki persimpangan mempunyai jarak waktu (*headway*) rata-rata kurang dari 5 detik, tepat pada saat lalu lintas tersebut bergerak dan terjadi konflik dengan arus pejalan kaki.

Indeks *Walkability*

Walkability adalah sebuah ukuran seberapa ramah suatu area untuk dapat dilalui dengan berjalan kaki. Salah satu definisi *walkability* adalah sejauh mana lingkungan binaan ramah terhadap keberadaan orang yang tinggal, berbelanja, berkunjung, menikmati atau bahkan menghabiskan waktu di suatu daerah. Banyak sekali kriteria yang harus diperhitungkan dalam mengevaluasi *walkability*, dan berbagai indikator harus dinilai karena memiliki dampak yang berbeda terhadap *walkability* dan pada pilihan rute. Oleh sebab itu indikator dikelompokkan menjadi 3 faktor (D'orso dan Migliore, 2020) [8]:

a. Kepraktisan (*practicability*)

Faktor ini memperhatikan kondisi dan pembersihan trotoar, penghalang arsitektur, dan semua elemen lain yang membatasi aksesibilitas.

b. Keselamatan (*safety*)

Faktor ini mencakup indikator yang berhubungan dengan perlindungan dari berbagai resiko selama pengalaman berjalan, seperti keberadaan penghalang untuk perlindungan pejalan kaki dari kendaraan, penerangan jalan, dan persepsi keamanan terhadap kejahatan.

c. Kenyamanan (*pleasantness*)

Faktor ini berkaitan dengan daya tarik jalan dan kehadiran furnitur jalan guna

meningkatkan derajat berjalan.

Perilaku Pejalan Kaki

Menurut Deb dkk (2017) [9] perilaku pejalan kaki dapat dibagi mejadi 5 faktor sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 14.1. Terlihat bahwa *violations*, perilaku agresif dan perilaku positif adalah perilaku yang sengaja dilakukan pejalan kaki. Sementara itu *errors* dan *lapses* adalah perilaku yang tidak sengaja dilakukan pejalan kaki. Hal ini mirip dengan perilaku pengemudi mobil (Lajunen dkk, 2004) [10].

Tabel 14.2 Lima Faktor Perilaku Pejalan Kaki

Perilaku Pejalan Kaki	Definisi	Contoh
Pelanggaran disengaja (Violations)	Pelanggaran yang dilakukan secara sengaja dari aturan sosial tanpa menyebabkan cedera	Tidak menggunakan jalur penyeberangan khusus pejalan kaki saat menyeberang
Errors	Kurangnya pengetahuan terhadap aturan lalu lintas	Pejalan kaki berjalan di jalur sepeda
Lapses	Pelanggaran yang dilakukan secara tidak sengaja karena kurangnya konsentrasi	Pejalan kaki lupa melihat sekelilingnya sebelum menyeberang
Perilaku Agresif	Kecenderungan salah dalam menafsirkan perilaku pengguna jalan lain yang mengakibatkan niat untuk mengganggu dan membahayakan	Pejalan kaki yang marah terhadap pengguna jalan lain karena tidak memberikan kesempatan untuk menyeberang
Perilaku Positif	Perilaku yang berupaya menghindari pelanggaran dan berupaya mematuhi aturan lalu lintas	Pejalan kaki menyeberang di jalur penyeberangan dan menunggu lampu khusus pejalan kaki berubah hijau

1.3 Penutup

Agar dapat menjadi pendukung penting transportasi perkotaan, prasarana pejalan kaki harus direncanakan dengan baik. Salah satunya adalah dengan mengikuti pedoman perencanaan yang ada. Selain itu itu perancangan prasana pejalan kaki juga harus mempertimbangkan keparktisan, kenyamanan, keselamatan serta 5 faktor perilaku pejalan kaki yang ada.

Referensi

- [1] Naharudin, N. (2017). Pedestrian-Attractiveness Score for the First / Last Mile Transit Route using Spatial Data Collected with a Mobile Positioning Application. *IEEE*, 75–83.
- [2] Tay, H., (2012). Cycling Infrastructure As A First Mile Solution For Mass Transit. *Master Thesis in Urban Studies and Planning, MIT*.
- [3] Mcintosh, J., Newman, P., Trubka, R., Kenworthy, J., Mcintosh, J., Newman, P., ... Kenworthy, J. (2017). Framework for Land Value Capture from Investments in Transit in Car-Dependent Cities. *Journal of Transport and Land Use* 10(1), 155–185.
- [4] Putranto, L. S., & Grant-muller, S. (2007). Characteristic of Private Car and Motorcycle Ownership in Indonesia. *Proceeding of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6*.
- [5] Dimension, C. E. (2015). Characteristics of Motorcycle Ownership and Use of University Students in Malaysian and Indonesian Cities. *Civil Engineering Dimension* 17(1), 11–21.
- [6] Lubis, H.A., 2009. Motorcycle Growths and Its Impacts to Urban Transportation, *Proceeding of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 7*.
- [7] Republik Indonesia, 2002, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002* tentang bangunan gedung, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Jakarta.
- [8] D'Orso, G. & Migliore, M (2020). A GIS-based Method for Evaluating The Walkability of a Pedestrian Environment and Prioritised Investments. *Journal of Transport Geography* 82.
- [9] Deb, S., Strawderman, L., Dubien, J., Smith, B., Carruth, D. W., & Garrison, T. M. (2017). Evaluating Pedestrian Behavior at Crosswalks: Validation of a Pedestrian Behavior Questionnaire for the US Population. *Accident Analysis and Prevention*, 106(May), 191–201.

- [10] Lajunen, T., Parker, D., & Summala, H. (2004). The Manchester Driver Behaviour Questionnaire: A Cross-Cultural study. *Accident Analysis and Prevention* 36, 231–238.

Profil Penulis

Prof. Ir. Leksmono Suryo Putranto, M.T., Ph.D.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Indonesia (1990) Magister Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya dari Institut Teknologi Bandung (1995) dan Ph.D Transport Studies dari University of Leeds, U.K.. Memperoleh sertifikat Insinyur Profesional Madya (I.P.M.) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII) pada tahun 2021. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1992 dalam bidang Transportasi dengan jabatan akademik dosen Guru Besar (2014).

Menjabat sebagai Ketua Pembantu Dekan bidang Akademik Fakultas Teknik periode 2005-2008 di Universitas Tarumanagara. Meraih peringkat I Dosen Berprestasi PTS di lingkungan Kopertis Wilayah III pada Tahun 1998. Minat penelitian perilaku perjalanan, perilaku pengemudi dan pelayanan angkutan umum. Diangkat oleh Presiden RI menjadi Ketua Sub Komite Investigasi Kecelakaan Lalu-Lintas dan Angkutan Jalan, Komite Nasional Keselamatan Transportasi (2015-2019). Diangkat oleh Gubernur DKI Jakarta sebagai Ketua Komisi Litbang Dewan Transportasi Kota Jakarta (2014-2017 dan 2020-2023). Menjadi Ketua Komite Ilmiah Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi (2018-2022).

Benedictus Yosia Tingginehe, S.T., M.T.

Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara (2017) dengan skripsi berjudul “Analisis Tingkat Kepuasan Mahasiswa dan Mahasiswi Universitas Tarumanagara terhadap Fasilitas Pejalan Kaki”. Yang bersangkutan menyelesaikan Magister Teknik Sipil dari Universitas Indonesia (2021). Saat ini menjadi Engineer di PT Nuansa Usaha Semesta.

Farah Rizkia Ananda, S.T

Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara (2021) dengan skripsi berjudul “Analisis Faktor Perilaku Berisiko Pejalan Kaki terhadap Keselamatan di Jalan Raya pada Wilayah Jabodetabek”.

Reynaldo Bernard Khuana, S.T.

Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara (2021) dengan skripsi berjudul “Analisis Indeks Walkability terhadap Kualitas Jalur Pejalan Kaki dalam Perjalanan dari dan Menuju Stasiun Transportasi Umum”.

BAB 15

Pengaruh Beroperasinya Gedung Bertingkat Terhadap Kinerja Lalu Lintas

Najid

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Gedung memiliki fungsi yang mencirikan aktivitas pada gedung tersebut, aktivitas gedung akan mempengaruhi karakteristik perjalanan yang menuju dan dari gedung tersebut terkait waktu, jumlah dan kendaraan yang digunakan, misalnya gedung sekolah maka untuk perjalanan yang menuju gedung sekolah biasanya pagi hari, dan perjalanan dari Gedung sekolah (saat pulang sekolah) biasanya siang atau sore hari. Demikian juga Gedung perkantoran perjalanan yang menuju perkantoran biasanya pagi hari dan perjalanan dari perkantoran biasanya sore hari. Seperti halnya waktu maka jumlah perjalanan dan kendaraan yang digunakan, sehingga dalam menganalisis dampak lalu lintas dari beroperasinya suatu gedung, kita perlu melihat fungsi dan aktifitas gedung tersebut. Perjalanan yang menuju Gedung tersebut pada pagi hari (Tarikan Perjalanan) dan Kembalinya perjalanan ke rumah masing-masing (Bangkitan Perjalanan), bangkitan dan tarikan perjalanan tersebut akan mempengaruhi kinerja ruas jalan dan kinerja lalu lintas. Pada bagian ini akan dibahas bagaimana proses dampak beroperasinya suatu Gedung yang dipengaruhi aktivitas pada Gedung tersebut terhadap kinerja jalan dan lalu lintas di sekitar bangunan Gedung tersebut.

Kata Kunci: Tarikan Perjalanan, Aktivitas Gedung, Kinerja Jalan, Kinerja Lalu Lintas

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Klasifikasi Gedung Bertingkat

Gedung bertingkat sangat beragam dilihat dari strukturnya baik struktur atas maupun struktur bawah, demikian juga karakteristik lainnya sebagaimana disampaikan atau diatur dalam Pasal 5 Peraturan Pemerintah No 36 Tahun 2005 tentang Bangunan Gedung, sebagaimana dapat dilihat pada table 1.1 berikut ini:

Tabel 15.1 Klasifikasi Bangunan Gedung Berdasarkan Peraturan Pemerintah no.36 tahun 2005

Variabel	Tingkatan	Indikator
Tingkat Kompleksitas	Sederhana	karakter, kompleksitas dan teknologi sederhana
	Tidak Sederhana	karakter, kompleksitas dan teknologi tidak sederhana
	Khusus	penggunaan dan persyaratan khusus
Tingkat Permanensi	Permanen	umur layanan di atas 20 tahun
	Semi Permanen	umur layanan 5 s/d 10 tahun
	Darurat / Sementara	umur layanan s/d 5 tahun
Tingkat Resiko Kebakaran	Resiko kebakaran tinggi	mudah terbakaranya tinggi
	Resiko kebakaran sedang	mudah terbakaranya sedang
	Resiko kebakaran rendah	mudah terbakaranya rendah
Zonasi Gempa	Zona 1	daerah sangat aktif
	Zona 2	daerah aktif
	Zona 3	daerah lipatan dengan retakan
	Zona 4	daerah lipatan tanpa retakan
	Zona 5	daerah gempa kecil
	Zona 6	daerah stabil
Lokasi	Lokasi Padat	di pusat kota
	Lokasi Sedang	di daerah pemukiman
	Lokasi Renggang	di daerah pinggiran kota
Ketinggian	Bertingkat Tinggi	lebih dari 8 lantai
	Bertingkat Sedang	5 s/d 8 lantai
	Bertingkat Rendah	s/d 4 lantai
Kepemilikan	Milik Negara	

Variabel	Tingkatan	Indikator
	Milik Badan Usaha	
	Milik Perorangan	

Fungsi dan Klasifikasi bangunan gedung harus sesuai dengan peruntukan lokasi yang diatur dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten/Kota, Rencana Detail Tata Ruang Kawasan Perkotaan (RDTRKP), dan/atau Rencana Tata Bangunan dan Lingkungan (RTBL). Fungsi dan Klasifikasi bangunan gedung diusulkan oleh pemilik bangunan dalam pengajuan permohonan Ijin Mendirikan Bangunan (IMB).

Fungsi Gedung Bertingkat

Secara harfiah, bangunan atau gedung merupakan rangkaian struktur dari dinding, dan atap dengan fungsi ditempati secara permanen. Proses ini dibangun oleh manusia dan dalam hal bentuk bisa berupa gedung atau rumah (dalam skala lebih kecil). Dalam hal fungsi, gedung tak ubahnya sebuah rumah dalam bentuk dan fasilitas lebih besar. Keberadaan bangunan ini sering digunakan untuk berlindung dari cuaca, memenuhi kebutuhan keamanan, penyimpanan dan lokasi beraktivitas. Di dalam sebuah gedung biasanya terbagi dalam beberapa ruangan dan fasilitas. Misalnya kamar mandi, tempat beristirahat, tempat beraktivitas dan sebagainya. Untuk mencapai satu tempat ke tempat lain umumnya tersedia beberapa fasilitas seperti tangga, eskalator atau lift untuk gedung bertingkat.

Dalam perkembangannya gedung didesain secara efisien, terutama dalam hal penggunaan lahan di tengah pemukiman yang kian padat seperti sekarang. Untuk mengoptimalkan cara ini bangunan dibuat bertingkat dengan tinggi hingga puluhan bahkan ratusan lantai. Selain itu jenis bangunan juga dibedakan berdasarkan usia pemakaian. Darurat atau sementara biasanya digunakan kurang dari 5 tahun. Semi permanen digunakan antara 5 sampai 10 tahun, dan bangunan permanen dengan usia pemakaian lebih dari 20 tahun.

Dalam hal perizinan gedung dibedakan berdasarkan lokasi dan ketinggian. Kedua

persyaratan tersebut dibedakan berdasarkan demografi dan jenis ketinggian bangunan yang sering berkaitan dengan AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan). Dalam hal demografi, sebuah gedung biasanya dibedakan menjadi tiga. Dibangun di area padat penduduk, Lokasi sedang dengan tingkat kepadatan tidak terlalu tinggi atau rendah dan lokasi renggang di daerah sekitar pinggiran perkotaan. Proses pembangunan yang tepat membuat risiko buruk bangunan hancur akibat gempa bisa diminimalisir. Sehingga meski tak dapat menyelamatkan bangunan secara keseluruhan, jumlah korban jiwa akibat kejadian bencana ini bisa diminimalisir.

Ketentuan fungsi sebuah bangunan diatur dalam perundang-undangan, yakni nomor 28 tahun 2002 yang mengatur tentang fungsi bangunan. Dalam bab ke 3 pasal 5, fungsi bangunan dibedakan dalam beberapa, diantaranya:

1. Untuk Hunian. Seperti namanya, sebuah bangunan pada dasarnya digunakan untuk didiami, atau ditinggali. Secara umum seperti fungsi rumah, meski dalam bentuknya sebuah bangunan bisa digunakan secara bersama-sama. Banyak jenis gedung untuk fungsi hunian, terutama jika di daerah perkotaan dengan padat penduduk. Selain rumah tinggal, contoh lain diantaranya rumah susun, Apartemen, rumah deret dan rumah sementara semacam hotel dan sejenisnya.
2. Keagamaan. Bangunan untuk fungsi keagamaan merupakan fasilitas yang berkaitan dengan aktivitas peribadatan. Seperti sholat bagi umat muslim, atau berdoa untuk proses peribadatan agama lain, yang digunakan secara Bersama-sama (sesuai agama masing-masing tentu saja). Beberapa jenis gedung untuk kebutuhan keagamaan atau peribadatan di antaranya masjid, gereja, katedral, klenteng, vihara, pura dan sebagainya. Seperti aktivitas peribadatan setiap agama, di dalam bangunan dilengkapi fasilitas yang sering dibutuhkan, atau digunakan.
3. Usaha. Fungsi Gudang dalam hal ini berkaitan dengan aktivitas peningkatan perekonomian sebuah masyarakat. Dibangun dengan berbagai bentuk dan

kebutuhan sesuai dengan proses usaha yang berjalan setiap hari. Contoh gedung untuk kebutuhan usaha antara lain perkantoran, perhotelan atau bisnis hospitality, fasilitas rekreasi, terminal, bandara, gedung perindustrian dan sebagainya. Beberapa bangunan usaha kadang berkaitan satu dengan yang lain, dengan dibedakan berdasarkan kebutuhan atau penggunaan.

4. Sosial budaya. Fungsi gedung kali ini dibangun berdasarkan aktivitas Pendidikan dan kebudayaan. Yang bertujuan menjadi pusat Pendidikan sekaligus mengembangkan dan memperkenalkan kebudayaan bagi generasi muda dan masyarakat asing. Beberapa gedung berkaitan dengan edukasi dan pendidikan misalnya sekolah, pelayanan kesehatan dan laboratorium. Sementara jenis gedung untuk kebutuhan kebudayaan misalnya gedung pentas seni, sanggar tari, dan sejenisnya.
5. Fungsi khusus. Merupakan jenis bangunan yang tidak termasuk dari 4 fungsi di atas dan biasanya tak semua kota atau daerah memiliki kebutuhan fasilitas jenis ini, karena dibangun untuk kebutuhan khusus. Jenis gedung yang satu ini di antaranya, fasilitas reaktor nuklir, gedung keamanan dan pertahanan, pengembangan sumber daya alam dan sebagainya. Fasilitas tambahan ini biasanya bersifat khusus, dan dibutuhkan untuk keperluan tertentu.

Aktivitas Gedung

Aktivitas gedung, khususnya tarikan perjalanan, yang terjadi dari fungsi Gedung perkantoran, perbelanjaan/ perdagangan, pendidikan (sekolah, kampus, dll), rumah sakit, Gedung bank dan gedung Pertemuan. Analisis tingginya rendahnya aktivitas pada Gedung bertingkat dapat diidentifikasi berdasarkan variabel luas lantainya, jumlah karyawannya, luas parkir atau jumlah slot Parkir atau yang lebih dikenal dengan istilah SRP (Satuan Ruang Parkir). Selain itu setiap fungsi bangunan Gedung memiliki variabel yang khusus seperti jumlah mahasiswa untuk Gedung Kampus Perguruan Tinggi, jumlah toko untuk Gedung Perbelanjaan, jumlah kamar tempat tidur untuk Gedung rumah sakit dan lain-lain. Demikian juga untuk Gedung pertemuan seperti Gedung MG di kota Palu yang dianalisis

dampak lalu lintasnya. Gedung pertemuan MG merupakan salah satu gedung pertemuan terbesar di Kota Palu dengan kapasitas gedung sekitar 2300 orang, luasan bangunan sekitar 2215 m². Gedung MG terbagi menjadi dua bangunan yaitu gedung lama merupakan bangunan 2 lantai dan gedung baru yang sedang dalam tahap pembangunan pada tahun 2020. Letak gedung pertemuan ini berdampingan dengan simpang tak bersinyal sehingga perlu diketahui pengaruhnya terhadap simpang dan juga ruas jalan karena kemungkinan akan menimbulkan kemacetan, Namun, belum terdapat standar berapa besaran tarikan yang terjadi akibat aktivitasnya, khususnya pada saat ada kegiatan (event) [3].

Gedung bertingkat merupakan salah satu pusat kegiatan yang akan menimbulkan bangkitan dan tarikan perjalanan (trip generation). Bangkitan dan tarikan tersebut akan berdampak pada kinerja jaringan jalan di sekitarnya. Oleh karena itu, Peraturan Menteri Perhubungan PM 75 Tahun 2015 menetapkan gedung bertingkat dengan luasan lantai bangunan lebih dari 500 m² merupakan salah satu pusat kegiatan yang perlu dilakukan analisis dampak lalu lintas.

Pendekatan umum dilakukan dengan menggunakan prediksi trip generation berdasarkan luasan (kapasitas) gedung untuk menampung kendaraan yang dikorelasikan dengan satuan ruang parkir (SRP) yang dibutuhkan. SRP terdiri dari SRP sepeda motor, SRP mobil, dan SRP Bus/Truk pada analisis penentuan kebutuhan SRP pedoman teknis tersebut hanya menyebutkan kebutuhan SRP tanpa penjelasan rinci berapa komposisi SRP masing-masing jenis kendaraan yang menjelaskan mengenai trip generation analysis berdasarkan analisis kapasitas parkir. Tarikan perjalanan (trip attraction) pada jam puncak berdasarkan kebutuhan tempat parkir sedangkan bangkitan perjalanan (trip production) maksimum berdasarkan daya tampung tempat parkir. Mahmudah (2016) menunjukkan penentuan trip attraction berdasarkan home interview survey. Model yang dikembangkan memiliki variabel bebas orang yang menuju ke zona kegiatan. Hal ini dapat dianalogikan untuk variabel bebas yang berpengaruh untuk jenis

kegiatan lain adalah jumlah orang yang menuju ke zona kegiatan tersebut.

1.2 Isi/Pembahasan

Model Bangkitan dan Tarikan Perjalanan

Model bangkitan dan tarikan dibuat berdasarkan data cohort (data Riwayat) dari tahun-tahun sebelumnya atau data *cross sectional* atau berdasarkan model yang sudah dibuat pada wilayah atau lokasi lainnya untuk peruntukan Gedung yang sama. Model Bangkitan Perjalanan terdiri dari model Aggregate (berbasis zona) dan model Disaggregate (berbasis populasi). Alternatif analisis perhitungan bangkitan dan tarikan dengan menggunakan trip rate (angka bangkitan atau tarikan perjalanan). Model bangkitan dan tarikan perjalanan berbasis zona, biasanya menggunakan model Regresi Linier, contoh:

$$Y_i = a + b_1.X_1 + b_2.X_2 + \dots + b_n.X_n \dots \dots \dots 4.1$$

Keterangan:

Y_i = bangkitan atau tarikan perjalanan suatu Gedung

a = konstanta model

X_1 = luas lantai bangunan Gedung bertingkat

X_2 = jumlah karyawan yang beraktivitas pada Gedung bertingkat

$b_1 \dots b_n$ = koefisien model

Pengembangan model Tarikan Perjalanan pada Gedung Perbelanjaan Pasar Tengah Bandar Lampung berdasarkan model Regresi Linier [3]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variabel bebas X_1 dan X_2 memiliki koefisien korelasi sebesar 0,843 yang berarti hubungan keduanya cukup tinggi. Berdasarkan persyaratan maka hanya salah satu dari keduanya yang boleh digunakan dalam model. Untuk itu variabel bebas X_2 yang terpilih karena mempunyai koefisien korelasi yang lebih tinggi terhadap variabel terikat Y yaitu sebesar 0,085 dibandingkan dengan X_1 yang hanya 0,047. Pengujian signifikansi menunjukkan bahwa nilai korelasi (R) sebesar 0,936 yang berarti variabel bebas secara simultan memiliki keeratan yang kuat. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) 0,877 yang menunjukkan persentase tingkat pengaruh variabel bebas (X) secara

simultan terhadap variabel bebas (Y) sebesar 87,7% yang masuk dalam kriteria keeratan sangat kuat. Selanjutnya hasil pengujian signifikansi menunjukkan nilai (Uji F, pertama) 0,000 sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel bebas (X) secara simultan berpengaruh terhadap variabel terikat (Y) serta Uji T untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh parsial yang diberikan variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y).

Hasil pengujian Uji T menunjukkan bahwa terdapat 4 variabel bebas yaitu X4, X5, X10 dan X11 yang berpengaruh terhadap variabel bebas (Y) dengan nilai signifikansi kurang dari 0,05. Selanjutnya dilakukan analisis regresi kembali (yang kedua) dengan hanya memasukkan empat variabel bebas tersebut dengan hasil nilai korelasi (R) sebesar 0,929 (berarti variabel bebas memiliki keeratan yang sangat kuat), nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,863 (memiliki kriteria tingkat keeratan yang sangat kuat). Hasil Uji F kedua menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 sehingga dapat disimpulkan bahwa seluruh variabel bebas secara simultan berpengaruh terhadap variabel terikat (Y). Selanjutnya uji T kedua menunjukkan nilai semua variabel bebas (X) memiliki nilai kurang dari 0,05 sehingga semua variabel bebas (X) berpengaruh terhadap variabel terikat (Y). Persamaan regresinya adalah disajikan pada Persamaan 4.2 sebagai berikut:

$$Y = -2,447 + 0,233X_4 + 0,511X_5 + 0,267X_{10} + 0,236X_{11} \dots \dots \dots (4.2)$$

Keterangan:

- Y adalah jumlah tarikan pengunjung
- X4 adalah jumlah orang di rumah,
- X5 adalah jumlah kepemilikan kendaraan pribadi,
- X10 adalah kelengkapan barang yang dijual
- X11 adalah harga barang yang dijual.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa empat variabel yang memberikan pengaruh terhadap tarikan pengunjung ke Pasar Tengah di Kota Bandar Lampung

adalah (1) jumlah orang (anggota keluarga) dalam sebuah rumah tangga, (2) jumlah kepemilikan kendaraan disetiap rumah tangga, (3) kelengkapan barang yang dijual di kawasan perdagangan dan (4) harga barang yang dijual serta karakteristik dari masyarakat yang berkunjung ke kawasan Gedung perbelanjaan sangat menentukan tingkat tarikan perjalanan Kawasan Gedung perbelanjaan [6].

Kinerja Ruas Jalan

Kinerja ruas jalan merupakan suatu pengukuran kuantitatif yang menggambarkan kondisi tertentu yang terjadi pada suatu ruas jalan. Umumnya dalam menilai suatu kinerja jalan dapat dilihat dari parameter utama suatu jalan terutama kapasitas jalan. Kapasitas jalan ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \dots(5.1)$$

Keterangan:

C : Kapasitas (smp/jam)

C_o : Kapasitas Dasar (smp/jam)

FC_w : Faktor Koreksi Lebar Lajur Jalan (meter)

FC_{sp} : Faktor Koreksi Proporsi Arus

FC_{sf} : Faktor Koreksi Hambatan Samping

FC_{cs} : Faktor Koreksi Ukuran Kota

Penelitian tentang kapasitas jalan juga pernah dilakukan pada jalur cepat jalan HR.Rasuna Said yang memberikan hasil analisis kapasitas jalan 4 lajur 2 arah memiliki nilai lebih besar dari perhitungan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (IHCM,1997) [7]. Pada penelitian kapasitas jalan pada Jalan Gajahmada Jakarta Barat menunjukan perlu ada penyesuaian pada faktor-faktor penentuan nilai kapasitas jalan [10].

a. Kapasitas Dasar (C_o)

Kapasitas dasar dapat didefinisikan sebagai jumlah maksimum kendaraan yang

dapat melintasi suatu penampang jalan tertentu selama satu jam pada kondisi jalan dan lalu lintas yang ideal. Kondisi kapasitas dasar perlane berdasarkan tipe jalan ditunjukkan pada tabel 5.1 sebagai berikut:

Table 15.2 *Basic Capacity (Co)*

<i>Road Type</i>	<i>Basic Capacity (pcu/hour)</i>	<i>Note</i>
4/2 D	1650	Per Lane
4/2 UD	1500	Per Lane
2/2 UD	2900	Total Two Lanes

Source: IHCM (1997)

b. Faktor Koreksi Lebar Lajur Jalan (FCw)

Penentuan faktor penyesuaian kapasitas untuk lebar jalur lalu lintas (FCw) berdasarkan lebar jalur lalu lintas untuk jalan 4 lajur 2 arah dapat dilihat tabel 5.2 sebagai berikut:

Tabel 15.3 *Effective Lane Width (Fcw)*

<i>Road Type</i>	<i>Lane Width Effective (Wc) Per Lane (metre)</i>	<i>FCw</i>
4/2 D	3.00	0.92
	3.25	0.96
	3.50	1.00
	3.75	1.04
	4.00	1.08

Source: IHCM (1997)

c. Hambatan Samping (FCsf)

Akibat kendaraan yang masuk dan keluar ke persil dimana Gedung bertingkat berada menyebabkan hambatan pada arus lalu lintas sehingga dapat menyebabkan turunnya kinerja kapasitas jalan.

Tabel 15.4 *Side Friction Class (FCsf)*

<i>Side</i>	<i>Code</i>	<i>Weighted Number</i>	<i>Typical Condition</i>
-------------	-------------	------------------------	--------------------------

<i>Friction Class (SFC)</i>		<i>Of Events per 200 metres /Hour</i>	
Very Low	VL	<100	<i>Residential Area, Road With Frontage Road</i>
Low	L	100 – 299	<i>Residential Area, Some Public Transport etc</i>
Medium	M	300 – 499	<i>Industrial Area With Roadside Shops</i>
High	H	500 – 899	<i>Commercial Area, High Roadside Activity</i>
Very High	VH	>900	<i>Commercial Area With Roadside Market Activities</i>

Source: IHCM (1997), Najid(2019)

Penelitian yang terkait hambatan samping pada jalan 2 lajur 2 arah menunjukkan koreksi hambatan samping pada MKJI terlalu besar [8]. Pengaruh tata guna terhadap hambatan samping pada jalan 6 lajur 2 arah [9] dan pada jalan 4 lajur 2 arah [11]. Dua penelitian terakhir mendukung nilai pada table 2.5 di atas.

d. Faktor Proporsi Arus Lalu Lintas (FCsp)

Faktor ini merupakan faktor penyesuaian akibat adanya pemisahan jalur arus lalu lintas dan khusus digunakan untuk jalan tanpa pemisah jalan seperti jalan tipe 4/2 UD dan tipe 2/2 UD. Faktor penyesuaian proporsi split untuk jalan tipe 4/2 D atau 6/2 D dapat digunakan nilainya adalah satu

e. Kinerja arus lalu lintas

Forecasting atau prediksi arus lalu lintas pada 5 tahun mendatang ditentukan dengan menggunakan pendekatan ekonometri. Penerapan metode ekonometri dengan model matematis yang membentuk hubungan sebab akibat untuk memprediksi volume lalu lintas. Kondisi lalu akan memiliki korelasi yang kuat

terhadap model kinerja lalu lintas yang sesuai seperti pada aplikasi model Greenshield akan sesuai untuk kondisi lalu lintas tanpa gangguan yang berarti. Model Greenshield adalah model lalu lintas yang membuat hubungan hubungan antara kepadatan lalu lintas dan kecepatan lalu lintas secara linier.

1.3 Penutup

Dengan menghitung bangkitan atau tarikan perjalanan dari beroperasinya Gedung bertingkat maka kita dapat menentukan pengaruhnya pada kinerja jalan disekitar Gedung bertingkat tersebut termasuk kinerja lalu lintas lalu lintas pada jalan di sekitar Gedung bertingkat tersebut. Pengaruh bangkitan dan tarikan perjalanan juga dapat digunakan sebagai prediksi kinerja jalan dan kinerja lalu lintas pada tahun-tahun mendatang

Referensi

- [1]. Peraturan Pemerintah no.36 Tahun 2005 tentang Bangunan Gedung.
- [2]. Undang-undang nomor 28 tahun 2002 yang mengatur tentang fungsi bangunan
- [3]. Niatika,CS (2018) ., Model Tarikan Perjalanan Pusat Perbelanjaan Pasar Tengah Bandar Lampung, Seminar Nasional Hasil Penelitian Sains, Teknik, dan Aplikasi Industri 2018, 19 Oktober 2018, Bandar Lampung
- [4]. Peraturan Menteri Perhubungan PM 75 Tahun 2015 menetapkan gedung bertingkat
- [5]. IHCM, 1997. Indonesian Road Capacity Manual (IHCM). Directorate General of Highways Ministry of Public Works, Jakarta.
- [6]. Tamin, O. Z. (1992). Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, ITB Press.
- [7]. Edmund, S., & Najid. (2020). Analysis of Traffic Capacity and Performance on Jalan H, R Gajahmada, Jakarta. Mitra teknik Sipil Journal, 4(1), 95-108.
- [8]. Najid. (2019). Evaluation of Side Friction in IHCM for Highway Two Lanes Two Ways. Advances in Engineering Research, 193.
- [9]. Deril Kristiawan and Najid. (2019, November). Analysis of the Effect of Side Friction Due to Land Use Activities on Jalan MH. Thamrin Tangerang and Serpong Highway. Mitra Teknik Sipil Journal, 2(4), 51-58.
- [10]. Wardani, D. A., & Najid. (2021). Analisis Kapasitas dan Kinerja Lalu Lintas di Ruas Jalan Gajah Mada Jakarta.JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil.
- [11]. Yuniarti, F., & Najid. (2019, Mei). Pengaruh Hambatan Samping Akibat Aktivitas Tata Guna Lahan Di Jalan Raya Cideng. Jurnal Mitra Teknik Sipil Vol. 2, No. 2, Mei 2019, 2, 55-64.

Profil Penulis

Dr. Ir. Najid, M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil, ISTN (1990) Skripsi: Manajemen Pelaksanaan Konstruksi Jalan Rel dan Sistem Pengoperasian KA di Jabodetabek; Lulus Magister Teknik Sipil Universitas Indonesia/ UI (1997) judul Tesis: Metode Kalibrasi Model Intervening Opportunity; Lulus Doktor Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung/ ITB (2005) Judul Disertasi: Pengaruh Pengembangan Transportasi Terhadap Pengembangan Lahan di Kota Bandung. Dosen Tetap

pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Untar sejak 1992-saat ini; Jabatan: Sekretaris Bagian Transportasi 1992-1998, Kepala Bagian Transportasi 1998-2008, Pembantu Dekan FT bidang Akademik 2008-2012, Kaprodi DTS dan Ketua Jurusan Teknik Sipil 2018-Saat ini. Assesor Akreditasi BAN PT 2008-Saat ini

BAB 16

Perencanaan Drainase Gedung yang Berkelanjutan

Wati Asriningsih Pranoto

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Gedung harus mempunyai perencanaan drainase yang baik. Permen PU 12- 2014 tentang penyelenggaraan sistem drainase perkotaan yang ramah lingkungan atau ekodrainase atau berwawasan lingkungan. Perencanaan Drainase Gedung yang berkelanjutan dapat mengikuti konsep drainase yang berwawasan lingkungan tersebut. Kasus rusun Karang Anyar, Jakarta mengolah limbah toilet dan kamar mandi, cucian, dapur menjadi satu setelah limbah toilet keluar dari septik tank. Kajian sistem pemanenan air hujan di Bengkalis dapat dipakai kembali dengan pemanfaatan bervariasi antara 39,0% - 43,1% memakai 1-3 tangki penampungan @ 1 m³. Sistem drainase cair limbah domestik harus terpisah dengan drainase air hujan.

Kata kunci: drainase, gedung, ekodrainase

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Pembangunan gedung banyak dilaksanakan dalam setiap tahun, jumlah gedung relatif sehubungan dengan perekonomian yang berjalan. Desain gedung dilaksanakan oleh arsitek dan perencanaan konstruksinya oleh insinyur teknik sipil. Keindahan suatu gedung diciptakan atau didesain oleh arsitek sehingga banyak orang dapat menikmati atau mengagumi keindahannya. Kekuatan suatu gedung direncanakan oleh insinyur teknik sipil sehingga gedung dapat bertahan lama atau tahan terhadap gempa dan lain lain. Bagaimana dengan faktor kenyamanan gedung seperti sistem air pembuangan? Bagaimana air dari suatu gedung yang sdh tidak terpakai dapat keluar dengan lancar menuju saluran pembuangan kota atau drainase kota? Bagaimana air kotor maupun air hujan dapat mengalir dengan baik ke drainase kota? Air kotor diharapkan dapat diolah dahulu sebelum masuk drainase kota. Air hujan diharapkan bisa sedikit mungkin yang mengalir ke drainase kota sehingga banyak air dapat meresap atau mengisi air tanah.

Banyak permasalahan banjir di lingkungan kota besar maupun kecil karena masalah drainase. Banjir di kota besar dan kecil bukan hanya di jalan raya tetapi juga di pemukiman. Banjir juga bukan hanya terjadi di kota tetapi juga di desa desa kabupaten maupun kecamatan. Megapolitan.kompas.com menulis berita pada tanggal 19 Februari 2021 dengan judul "Ada 40 Titik Banjir di 8 Kecamatan Kota Bekasi hingga Jumat Siang, Ini Daftarnya" [1]. Berita dalam gambar seperti terlihat pada Gambar 16.1. Banjir di Bekasi ini terjadi karena masalah tanggul kali Bekasi yang rusak, ini merupakan permasalahan sistem drainase berkelanjutan yang tetap harus dirawat dan dijaga kondisinya.

Dari paragraf di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem drainase harus berkelanjutan maka harus dimulai dengan perencanaan drainase yang berkelanjutan baik untuk bangunan gedung atau pemukiman ataupun perkotaan.



Gambar 16.1. Foto udara banjir yang menggenangi perumahan Pondok Gede Permai, Bekasi, Jawa Barat pada Jumat 19/2/2021 [2]

1.2 Isi/Pembahasan

Drainase

Drainase merupakan sistem pembuangan air lebih dan air limbah dapat berbentuk buangan air dari perumahan dan atau pemukiman, dari daerah industri, daerah pertanian dan atau lahan terbuka lainnya, dari badan jalan dan atau perkerasan permukaan jalan lainnya [3]. Secara umum sistem drainase yang baik menjadikan air limbah penduduk dan limbah lainnya serta kelebihan air lainnya seperti air hujan dapat mengalir dengan baik dan lancar dalam perjalanan pembuangannya. Sistem drainase yang diketahui pada umumnya adalah:

1. Drainase air limbah
2. Drainase lahan
3. Drainase jalan
4. Drainase perkotaan

Drainase perkotaan merupakan suatu sistem yang mencakup keempat jenis drainase tersebut. Suatu daerah perkotaan mempunyai ciri ciri kepadatan penduduk, tata guna lahan yang didominasi bangunan pemukiman, perumahan,

pabrik atau industri rumah tangga, serta lapisan perkerasan permukaan (aspal, beton, dll).

Drainase perkotaan bertujuan untuk mengalirkan secepat mungkin air lebih di suatu kawasan baik yang berasal dari air hujan, air buangan maupun air lebih lainnya, agar mengalir keluar kawasan dan tidak menimbulkan ketidak-nyamanan di kawasan yang bersangkutan [3]. Ini termasuk konsep drainase konvensional. Dengan demikian kawasan-kawasan di dalam suatu perkotaan saling berhubungan karena drainase di masing-masing kawasan adalah komponen-komponen yang saling terkait dalam jaringan drainase perkotaan. Secara keseluruhan drainase kawasan membentuk satu sistem drainase perkotaan.

Konsep drainase konvensional (paradigma lama) adalah upaya membuang atau mengalirkan air kelebihan secepatnya ke sungai terdekat. Dalam konsep drainase konvensional, seluruh air hujan yang jatuh di suatu wilayah, harus secepatnya dibuang ke sungai dan seterusnya ke laut. Dampak dari konsep ini adalah kekeringan yang terjadi di mana-mana, banjir, dan juga longsor. Dampak selanjutnya adalah kerusakan ekosistem, perubahan iklim mikro dan makro serta tanah longsor di berbagai tempat yang disebabkan oleh fluktuasi kandungan air tanah pada musim kering dan musim basah yang sangat tinggi. Konsep drainase baru (paradigma baru) yang biasa disebut drainase ramah lingkungan atau eko-drainase atau drainase berwawasan lingkungan yang sekarang ini sedang menjadi konsep utama di dunia internasional dan merupakan implementasi pemahaman baru konsep eko-hidrolik dalam bidang drainase. Drainase ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya mengelola air kelebihan dengan cara meresapkan sebanyak-banyaknya air ke dalam tanah secara alamiah atau mengalirkan air ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sungai sebelumnya. Dalam drainase ramah lingkungan, justru air kelebihan pada musim hujan harus dikelola sedemikian rupa sehingga tidak mengalir secepatnya ke sungai. Namun diusahakan meresap ke dalam tanah, guna meningkatkan kandungan air tanah

untuk cadangan pada musim kemarau. Konsep ini sifatnya mutlak di daerah beriklim tropis dengan perbedaan musim hujan dan kemarau yang ekstrim seperti di Indonesia [4].

Salah satu kawasan dalam perkotaan adalah kawasan perkantoran. Bisa juga dalam satu kawasan bercampur dengan kawasan hotel atau mall atau pusat perbelanjaan. Dalam kawasan tersebut terdapat beragam jenis dan fungsi gedung. Rumah susun, apartemen, gedung sekolah atau Perguruan Tinggi juga termasuk dalam gedung dalam kawasan perkantoran di Jakarta. Drainase gedung harus mendapat perhatian agar secara keseluruhan drainase perkotaan menjadi baik.

Drainase Gedung

Sistem Drainase gedung pada umumnya merupakan sistem pembuangan air limbah domestik dan air hujan. Sumber air limbah domestik pada gedung hampir serupa dengan seluruh buangan cair yang berasal dari buangan rumah tangga yang meliputi: buangan kamar mandi, dapur, air bekas pencucian pakaian, dan lainnya.

Sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 tahun 2003 tentang “Baku Mutu Air Limbah Domestik”, maka semua kegiatan yang menghasilkan limbah domestik harus mengolah limbahnya sampai memenuhi baku mutu yang berlaku. Jadi semua air limbah domestik sebelum dibuang ke perairan/saluran umum harus diolah terlebih dahulu sampai memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan Pemerintah. Pengolahan dapat dilakukan secara individu maupun secara terpadu [5]. Pengolahan air limbah domestik terpadu adalah sistem pengolahan air limbah yang dilakukan secara bersama-sama (kolektif) sebelum dibuang ke air permukaan, biasanya dilakukan pada rumah susun, apartemen, asrama, hotel.

Perencanaan Instalasi Pengolahan Limbah Domestik Di Rumah Susun Karang Anyar Jakarta

Kasus yang terjadi pada rumah susun Karang Anyar di Jakarta diteliti oleh Satmoko Yudo dan Setiyono pada tahun 2008 [6] memberi keterangan sebagai berikut:

Ada tiga sumber limbah cair yang utama, yaitu

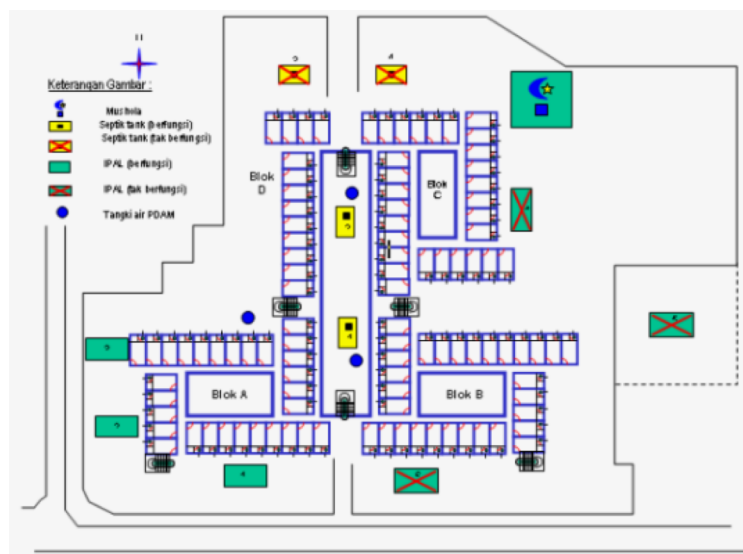
- a. limbah cair dari kamar mandi dan cuci pakaian,
- b. limbah cair dari dapur dan
- c. limbah dari toilet.

Saat itu pengelolaan limbah tersebut dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

- a. Limbah yang berasal dari kamar mandi, cuci pakaian dan limbah dapur dicampur dalam satu saluran kemudian dibuang secara langsung ke saluran umum tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu.
- b. Limbah yang berasal dari toilet. Ada dua jenis pengelolaan limbah yang berasal dari toilet ini, yaitu :
 - Dengan septik tank, dimana limbah dari toilet masuk ke dalam septik tank tanpa ada pengolahan lanjutan. Secara periodik, jika septik tank ini telah penuh maka akan dilakukan penyedotan tinja dengan mobil tangki.
 - Dengan teknologi biotek, dimana limbah dari toilet masuk ke dalam reaktor biotek. Teknologi ini menggunakan proses kombinasi anaerobik dan aerobik. Tahap pertama limbah masuk ke dalam proses anaerobik, kemudian dilanjutkan dengan proses aerobik dengan memanfaatkan blower udara sebagai suplai udara dari luar.

Limbah cair rusun Karang Anyar saat itu yang diolah hanya limbah yang berasal dari septik tank saja, sedangkan limbah dari kamar mandi, cuci dan dapur belum dilakukan pengolahan. Sarana pengolahan limbah cair dari toilet berupa septik tank dan biotek. Ada 4 buah septik tank: 2 buah masih beroperasi, 2 buah sudah tidak dapat dioperasikan lagi.

Sedangkan biotek sebagai sarana pengolah limbah cair ada 6 buah: 3 buah masih dapat beroperasi dengan baik, 3 buah sudah tidak dapat dioperasikan lagi. Keadaan ini dapat dimaklumi karena rusun Karang Anyar saat dilakukan penelitian kira kira berumur 30 tahun. Dengan demikian saat itu sarana dalam kondisi masih dapat dioperasikan hanya 2 buah septik tank dan 3 buah biotek seperti terlihat pada gambar 16.2 di bawah ini.

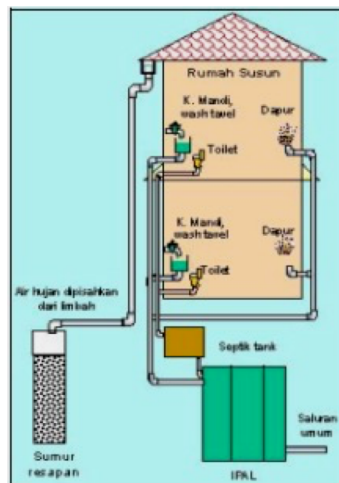


Gambar16.2. Denah lokasi septik tank dan biotek pada rusun Karang Anyar, Jakarta [6]

Berdasarkan keputusan Menteri Lingkungan Hidup [5], maka Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang direncanakan oleh Satmoko Yudo dan Setiyono [6] akan mengolah semua limbah cair yang dihasilkan dari gedung, yaitu limbah cair dari toilet, limbah cair dari kamar mandi dan limbah cair dari dapur. Limbah yang berasal toilet disalurkan ke dalam septik tank terlebih dahulu. Septik tank ini dibangun dengan menggunakan beton yang kedap air, sehingga cairan yang ada akan keluar secara *over flow* melalui lubang pengeluaran menuju bak penampungan. Dari bak penampungan ini limbah dipompa menuju bak ekualisasi di lokasi IPAL. Limbah yang berasal dari kamar

mandi, cucian dan dapur disalurkan menuju bak penampungan sementara. Di bak penampung-an ini limbah akan tercampur dengan limbah hasil *over flow* dari septik tank. Bersama-sama dengan limbah dari *over flow* septik tank ini limbah dipompa menuju bak ekualisasi di lokasi IPAL. Dari bak ekualisasi, limbah dipompa dan diatur debitnya untuk diolah dalam IPAL yang tersedia. Air hujan yang selama ini tercampur dengan air limbah dipisahkan dengan system perpipaan tersendiri, kemudian disalurkan ke sumur resapan.

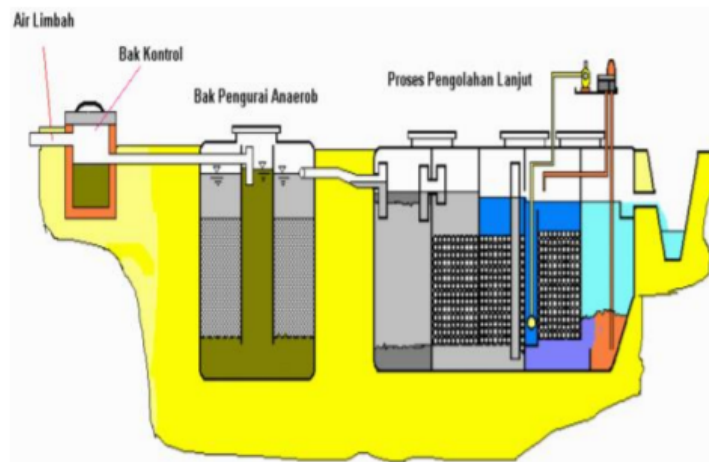
Gamabar rencana sistem jaringan air limbah rusun Karang Anyar, Jakarta dapat di lihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 16.3 Rencana Sistem jaringan Air Limbah rusun Karang Anyar, Jakarta[6]

Kasus ini sudah bisa menjadi pelajaran bagi suatu perencanaan drainase rumah susun yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan atau ekodrainase. Rencana sistem jaringan air limbah pada rusun tersebut sudah memisahkan air hujan yang jatuh di atas atap rusun lalu mengalirkan air hujan tersebut ke dalam sumur resapan. Air toilet masuk langsung dalam septik tank lalu masuk ke IPAL dan air kamar mandi, cucian, dapur langsung masuk IPAL bertemu dengan air toilet dari septik tank. Jadi air yang masuk dalam saluran drainase kota sudah dari IPAL yang berarti sudah dalam batas baku mutu air limbah domestik.

Berikut adalah salah satu contoh gambar untuk IPAL dengan bak pengurai anaerobik



Gambar 16.4. Rencana IPAL dengan bak pengurai anaerob [7]

Permen PU 12–2014

Perencanaan drainase dengan konsep ekodrainase atau berwawasan lingkungan, pada drainase gedung dapat diterapkan sebagai berikut:

- Air limbah dari toilet diolah lebih dahulu dengan IPAL setelah itu masuk dalam sumur resapan
- Air limbah dari kamar mandi, cucian, dan dapur diolah tersendiri atau dijadikan satu dengan air limbah toilet masuk dalam IPAL lalu masuk dalam sumur resapan
- Air hujan dari atap gedung melalui saringan lalu masuk tampungan dan dapat digunakan kembali untuk cuci, siram toilet bila berlebih masuk dalam sumur resapan dengan sistem pemanenan air hujan (PAH)

Kajian Pemanenan Air Hujan Sebagai Alternatif Pemenuhan Air Baku di Kecamatan Bengkalis

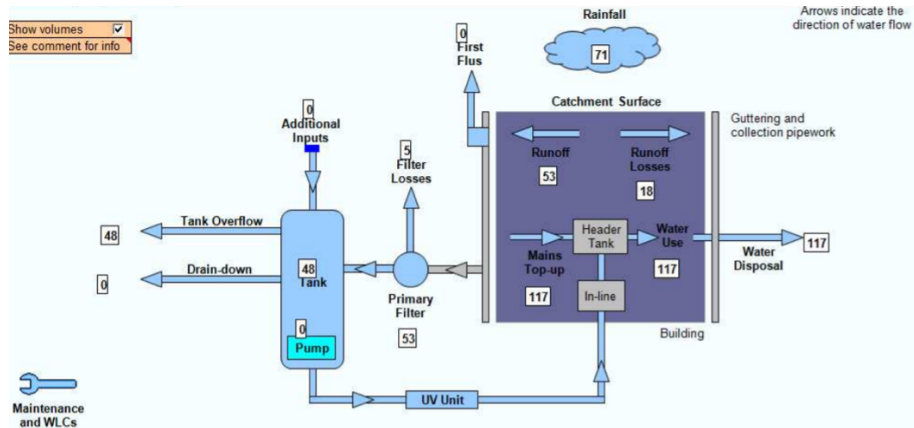
Kajian pemanenan air hujan sebagai alternatif pemenuhan air baku di kecamatan

Bengkalis Provinsi Riau, merupakan kajian pemanfaatan air hujan sebagai air baku [8]

Dari hasil kajian tersebut dengan data hujan 2012, diperoleh pemanfaatan sebesar:

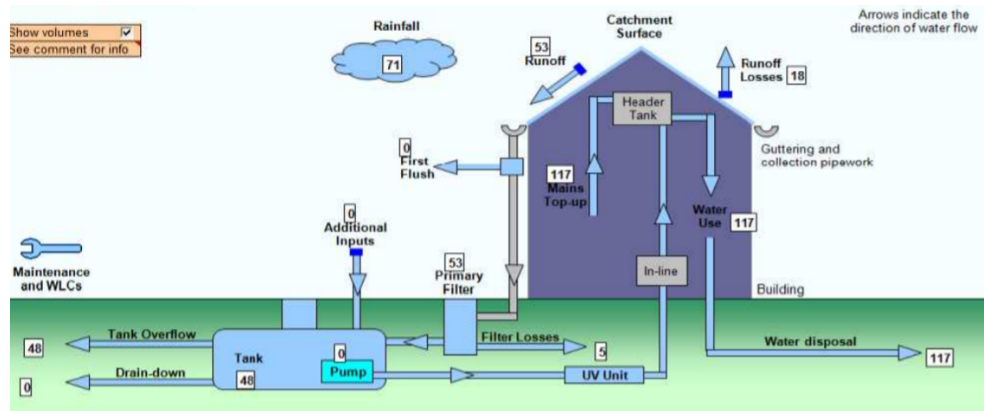
- 39,0 % bila menggunakan 1 tangki penampungan 1 m³
- 42,6 % bila menggunakan 2 tangki penampungan @ 1 m³
- 43,1 % bila menggunakan 3 tangki penampungan @ 1 m³

Denah atau tampak atas dari sistem pemanenan air hujan yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 16. 5 sebagai berikut:



Gambar 16.5. Denah atau tampak atas Sistem Pemanenan Air Hujan [8]

Sedangkan potongan melintang dari Sistem Pemanenan Air Hujan dapat dilihat pada gambar 16.6 dibawah ini:



Gambar 16.6. Potongan Melintang Sistem Pemanenan air Hujan [8]

Khusus data curah hujan 2012 sangat berpengaruh cukup signifikan terhadap konfigurasi pemenuhan kebutuhan air bersih di Kecamatan Bengkalis yang diklasifikasikan sebagai kota kecil yang sangat rentan akan pemenuhan kebutuhan air bersih sepanjang tahun [8]

Sub Reservoir Air Hujan

Subreservoir air hujan adalah tangki air yang ditempatkan di bawah permukaan tanah untuk menampung air hujan yang berasal dari talang atap bangunan atau lainnya. *Subreservoir* air hujan dipergunakan untuk mendukung sarana drainase *zero run off*. *Subreservoir* dibuat dari *fiber reinforced plastik* (FRP) atau konstruksi beton bertulang [9].

Manfaat :

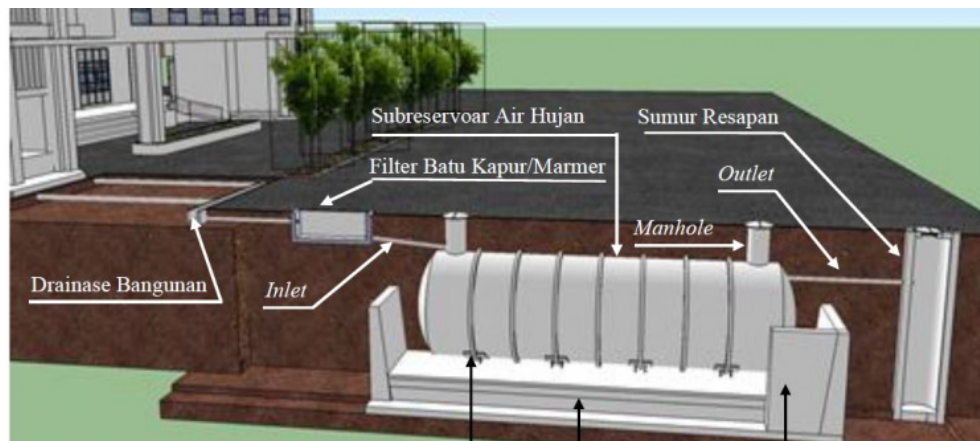
- Sebagai penampung air hujan untuk air baku sekaligus bisa sebagai resapan air;
- Penyediaan pasokan air, terutama pada musim kemarau;
- Mereduksi genangan air hujan (banjir) di pemukiman hingga 48 %;
- Mendukung pelestarian air tanah (konservasi air tanah) dan manajemen air hujan (*stormwater management*) di lingkungan pemukiman.

Keunggulan :

- Lahan bagian atas subreservoir tidak berubah fungsi.
- Volume tampungan air hujan bisa besar.
- Mudah pembuatannya dan mudah pemasangan di lapangan;
- Penerapan drainase berwawasan lingkungan;
- Harga lebih murah.

Sudah diterapkan pada Kantor pusat Puslitbang Perumahan dan Permukiman Cileunyi dan kompleks Green Building “Grha Wiksa Praniti” di Turangga Bandung.

Gambar subreservoir dapat dilihat seperti gambar 16.7 di bawah ini:



Gambar 16.7 Subreservoir Air Hujan

Perencanaan Operasi dan Pemeliharaan

Perencanaan operasi drainase gedung harus mengikuti ketentuan SOP. Perencanaan O&P drainase gedung pada tahap pertama harus difokuskan pada program berikut ini [4] :

a. Pemeliharaan rutin/routine maintenance

Pemeliharaan rutin adalah pemeliharaan yang dilakukan berulang-ulang pada

waktu tertentu, misalnya setiap hari, minggu, bulan dan tahun;

b. Pemeliharaan berkala

Pemeliharaan berkala adalah pekerjaan pemeliharaan yang selalu dilakukan menurut tenggang waktu tertentu, misalnya setiap hari, minggu, bulan dan tahun;

c. Pemeliharaan khusus/special maintenance

Pemeliharaan khusus adalah pemeliharaan yang dapat dilakukan apabila prasarana dan sarana mengalami kerusakan yang sifatnya mendadak.

d. Rehabilitasi/Rehabilitation

Adalah pemeliharaan khusus yang dapat dilakukan apabila prasarana dan sarana mengalami kerusakan yang sifatnya mendadak atau mengalami kerusakan yang menyebabkan bangunan tidak atau kurang berfungsi.

1.3 Penutup

Perencanaan Drainase Gedung yang berkelanjutan merupakan perencanaan yang dapat terintegrasi pengolahannya antara limbah cair toilet dengan limbah kamar mandi, cucian, dan dapur seperti pada kasus IPAL rusun Karang Anyar, Jakarta. Drainase untuk air hujan pada gedung harus terpisah dengan IPAL, dapat digunakan kembali seperti contoh pada kajian pemanenan air hujan di Bengkalis. Bisa juga dengan reservoir air hujan yang penerapannya di Kantor pusat Puslitbang Perumahan dan Permukiman Cileunyi dan kompleks Green Building “Grha Wiksa Praniti” di Turangga Bandung.

Referensi

- [1] Vitorio Mantalean , "Ada 40 Titik Banjir di 8 Kecamatan Kota Bekasi hingga Jumat Siang, Ini Daftarnya", <https://megapolitan.kompas.com/read/2021/02/19/11263581/> unduh 14 September 2021
- [2] JIBI,"Banjir di Bekasi, Air Meraja di 76 Titik", <https://jakarta.bisnis.com/read/20210220/383/1358696/banjir-di-bekasi-air-meraja-di-76-titik>. Unduh 14 September 2021
- [3] Mardjono Notodiharjo, Nani Irawati Setiawan, Yosef Haryono, Adolf Tommy Sitompul, dkk, 1998, Drainase Perkotaan, UPT Penerbitan Universitas Tarumanagara, Jakarta
- [4] Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2014, Permen PU no.12 tahun 2014, tentang Penyelenggaraan drainase Perkotaan, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [5] Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2003, Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang “Baku Mutu Air Limbah Domestik”.
- [6] Satmoko Yudo dan Setiyono, 2008, PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK DI RUMAH SUSUN KARANG ANYAR JAKARTA J. Tek. Ling. Vol. 9 No. 1 Hal. 31-40 Jakarta, Januari 2008, ISSN 1441-318X
- [7] Jamaludin Ramlan, Sumihardi, 2018, Bahan ajar Kesehatan lingkungan, Sanitasi Industri dan K3,2008, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- [8] Yogi Septian Malik, Imam Suprayogi, Jecky Asmura, KAJIAN PEMANENAN AIR HUJAN SEBAGAI ALTERNATIF PEMENUHAN AIR BAKU DI KECAMATAN BENGKALIS, Jom F Teknik Volume 3 No. 2 Oktober 2016
- [9] Sub reservoir air hujan, 2021 <http://sim.ciptakarya.pu.go.id/btpp/produk/teknologi-terapan/sub-reservoir-air-hujan-2205>. Unduh 14 September 2021

Profil Penulis

Dr. Ir. Wati Asriningsih Pranoto, M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara, Magister Teknik Sipil dari Universitas Indonesia, dan Doktor Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1990 dalam bidang Keairan dengan jabatan akademik dosen Lektor Kepala. Menjabat sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Sipil periode 2003-2009, Ketua Jurusan Teknik Sipil periode 2009-2012, dan Ketua Prodi Magister Teknik Sipil periode 2018 sampai sekarang. Memperoleh Hibah Dikti tahun 2013, 2014, 2015, 2016, 2017. Penelitian dan pengabdian kepada masyarakat pada bidang Keairan, khususnya sedimen, hidrologi, pemanenan air hujan, dan drainase.

BAB 17

Pengelolaan Air pada Gedung Secara Berkelanjutan

Vitorio Kurniawan

Program Studi Desain Interior, Universitas Tarumanagara

Abstrak

Krisis air bersih adalah bencana yang sudah menunggu umat manusia. Karena itu, diperlukan pengelolaan air khususnya pada bangunan gedung di perkotaan. Hal ini merupakan asas dari bangunan gedung hijau yang merupakan bagian dari pembangunan secara berkelanjutan. Artikel ini membuat kompilasi dari berbagai peraturan pemerintah dalam konteks pengelolaan air pada gedung. Contohnya adalah penampungan air hujan, pembatasan penggunaan air, dan pembuatan sumur resapan. Beberapa laporan telah membuktikan manfaat konkret yang dicapai dari implementasi bangunan gedung hijau. Karena itu, diharapkan semakin banyak bangunan gedung yang menerapkan konsep pengelolaan air secara berkelanjutan.

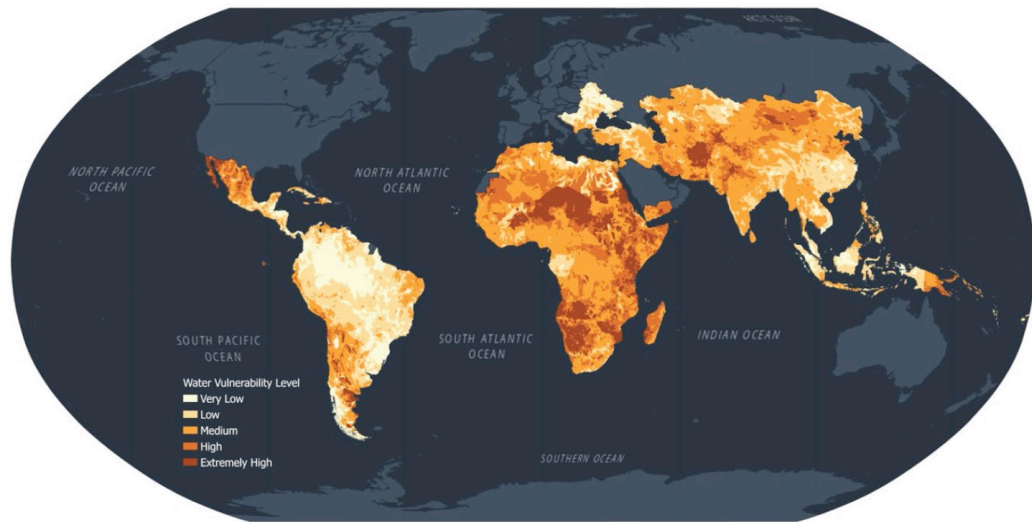
Kata kunci: pengelolaan air, bangunan gedung hijau, pemanenan air hujan, sumur resapan

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

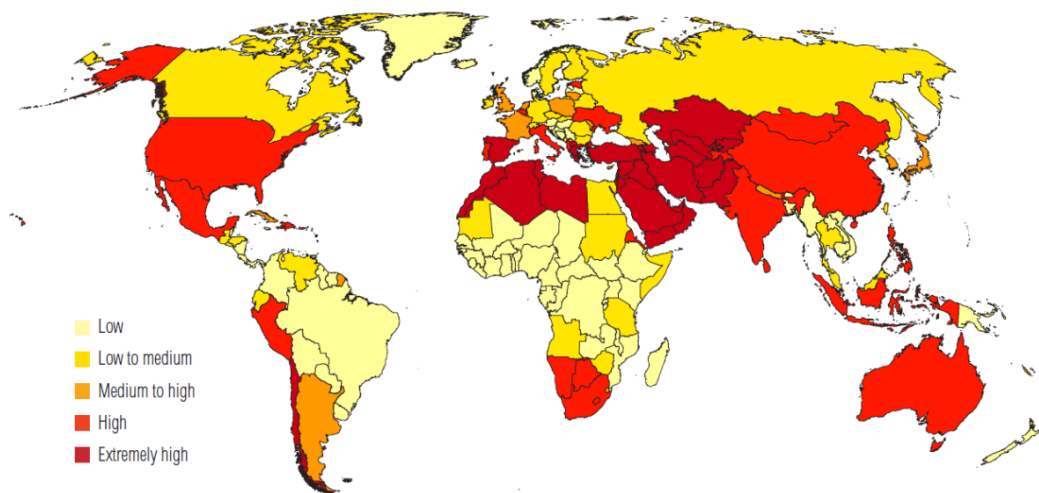
Ketersediaan air di dunia semakin menipis seiring dengan waktu karena berbagai faktor misalnya faktor demografi, ekonomi, sosial, lingkungan, iklim, dan teknologi [1]. Kemajuan peradaban dan teknologi meningkatkan kebutuhan air bersih per orang untuk kebutuhan sehari-harinya. Dan hal ini juga diperparah dengan meningkatnya populasi manusia. Hal ini merupakan fakta yang mengkhawatirkan mengingat setiap manusia pasti membutuhkan air untuk hidup sedangkan ketersediaan air kian menurun.

United Nations Children's Fund (UNICEF) memperkirakan 1,42 miliar orang -dan terdapat 450 juta anak-anak di antaranya- yang hidup di daerah yang rentan terhadap kekurangan air (kategori high atau extremely high) [2]. Pada tahun 2040, diperkirakan lebih banyak lagi negara yang akan kekurangan air (lihat Gambar 0.2) [3]. Sumber lain menyatakan bahwa pada saat ini terdapat 240 juta orang tidak mempunyai akses air bersih dan 1,4 miliar orang tidak mempunyai akses ke sanitasi dasar. Dan diperkirakan bahwa pada tahun 2050 akan ada 3,9 miliar orang yang mengalami krisis air bersih dan ada 6,9 miliar orang terancam kekurangan air [4]. Fakta-fakta ini menunjukkan bahwa krisis air bersih bukan lagi krisis individual maupun regional melainkan krisis berskala global.

Sebagian besar dari masyarakat tinggal di kota. Data menunjukkan bahwa 55 % populasi dunia atau 4,1 miliar orang tinggal di kota di tahun 2017. Di tahun 2050, angka ini akan meningkat menjadi 7 miliar orang atau 2/3 dari populasi dunia [5]. Mengingat penduduk kota membutuhkan lebih banyak air per kapita ditambah lagi dengan meningkatnya populasi kota, krisis air bersih di kawasan perkotaan menjadi potensi bencana di masa depan.



Gambar 17.6. Peta daerah yang rentan terhadap kelangkaan air di dunia [2]



Gambar 17.7. Peta negara dengan tingkat *water level stress* di tahun 2040 dengan skenario tanpa penanganan krisis air [3]

Bangunan gedung merupakan hal yang sangat membedakan kota dengan desa. Kota memiliki lebih banyak gedung dibandingkan pedesaan dan biasanya gedung di perkotaan membutuhkan air dalam volume besar dari tahap pembangunan sampai ke tahap operasi pemeliharaan. Air bersih dibutuhkan dalam proses konstruksi bangunan misalnya untuk produksi beton, pembersihan lokasi dan peralatan, dan konsumsi pekerja konstruksi [6]. Air juga jelas dibutuhkan bagi

pengguna bangunan ketika bangunan selesai dibangun. *U.S. Energy Information Administration* (EIA) menyatakan bahwa rata-rata satu bangunan komersial besar di Amerika Serikat membutuhkan 7,9 juta galon (29,9 juta liter) air per harinya [7]. Hal ini ditambah dengan fakta bahwa bangunan di kota biasanya terdiri dari banyak lantai, digunakan oleh banyak orang, dan berjarak dekat dengan pusat kota yang akan menambah konsumsi air per kapita [8].

Karena itu, dibutuhkan pengelolaan air secara efektif dan efisien pada bangunan di perkotaan untuk mengantisipasi bencana krisis air di masa depan. Tanpa langkah konkret, krisis air -terutama di kota- bisa terjadi lebih cepat daripada perkiraan semula. Artikel ini akan membahas langkah-langkah yang bisa diambil untuk mengelola air pada bangunan secara berkelanjutan yaitu untuk memenuhi kebutuhan manusia di masa sekarang tanpa mengorbankan generasi masa depan.

1.2 Isi/Pembahasan

Pemerintah pusat maupun daerah telah menetapkan berbagai peraturan untuk memandu pembangun bangunan gedung dalam mengelola air secara berkelanjutan. Contohnya adalah Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 11/PRT/M/2014

tentang Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilnya [9] dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 02/PRT/M/2015 tentang Bangunan Gedung Hijau [10]. Dengan adanya peraturan-peraturan ini, diharapkan bahwa bangunan-bangunan gedung di Indonesia dapat mengelola air dengan bijak dengan prinsip pembangunan berkelanjutan.

Pengelolaan air secara berkelanjutan merupakan syarat dari bangunan gedung hijau. Peraturan Menteri PUPR Nomor 2 Tahun 2015 mendefinisikan bangunan gedung hijau sebagai bangunan gedung yang memenuhi persyaratan bangunan gedung dan memiliki kinerja terukur secara signifikan dalam penghematan energi,

air, dan sumber daya lainnya melalui penerapan prinsip bangunan gedung hijau sesuai dengan fungsi dan klasifikasi dalam setiap tahapan penyelenggaraannya. Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta mendefinisikan bangunan gedung hijau sebagai bangunan gedung yang bertanggung jawab terhadap lingkungan dan sumber daya yang efisien dari sejak perencanaan, pelaksanaan konstruksi, pemanfaatan, pemeliharaan, sampai dekonstruksi.

Gambar 0.8 menampilkan tingkat kepentingan dari jenis-jenis gedung yang perlu menerapkan prinsip bangunan hijau. Tampak bahwa bangunan-bangunan gedung yang membutuhkan air dalam jumlah banyak dalam pengoperasiannya diwajibkan dalam menerapkan prinsip bangunan hijau. Prioritas diberikan kepada gedung-gedung yang kompleks dan bertingkat tinggi karena tingginya kebutuhan air per orang dan juga banyaknya jumlah pengguna gedung.

Nilai pemakaian air bersih untuk berbagai jenis gedung bisa mengacu pada Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta [11] yang nilainya ditampilkan di Gambar 17.9. Sulit untuk menentukan tipe peruntukan bangunan mana yang membutuhkan air paling banyak mengingat perbedaan satuan parameter. Namun hal yang jelas adalah setiap individu memerlukan air dalam jumlah yang sangat banyak untuk kehidupan sehari-harinya. Misalnya, seorang penghuni rumah biasa membutuhkan air sebanyak 150 liter/hari. Jumlahnya akan lebih banyak lagi bagi penghuni bangunan mewah. Mengingat taraf ekonomi Indonesia yang terus meningkat, akan semakin banyak gedung yang naik kelas dan hal ini akan menyebabkan tingkat pemakaian air bersih akan semakin meningkat juga.

Matriks Penggolongan Bangunan Gedung yang Dikenakan Persyaratan Bangunan Gedung Hijau Berdasarkan Kompleksitas dan Ketinggian Bangunan							
Klas	Fungsi	Dasar Klasifikasi					
		1. Kompleksitas			2. Ketinggian		
		Sederhana	Tidak Sederhana	Khusus	Tinggi	Sedang	Rendah
1	Bangunan gedung hunian biasa						
1a	Bangunan gedung hunian tunggal (rumah tinggal, villa, rumah taman, rumah deret)						
1b	Rumah asrama/kos, rumah tamu, hostel atau sejenisnya kurang dari 300 m ² , ditinggali oleh maksimal 12 orang						
2	Bangunan gedung hunian yang terdiri atas 2 atau lebih unit hunian, yang masing-masing tempat tinggal terpisah						
3	Bangunan gedung hunian diluar Klas 1 dan 2 (asrama, rumah tamu, losmen, panti werdha, panti cacat)						
4	Bangunan gedung hunian campuran (tempat tinggal yang ada di bangunan klas 5, 6, 7, 8, 9)						
5	Bangunan gedung kantor						
6	Bangunan gedung perdagangan Termasuk ruang makan, kafe, restoran, bar, toko dan kios sebagai bagian dari hotel dan motel, tempat potong rambut, salon, tempat cuci, pasar dan ruang pameran, reparasi						
7	Bangunan gedung penyimpanan atau gudang termasuk tempat parkir umum, gudang atau tempat pameran barang-barang produksi untuk dijual atau cuci gudang						
8	Bangunan gedung laboratorium, industri, pabrik, dan/atau bengkel mobil						
9	Bangunan gedung umum						
9a	Bangunan gedung perawatan kesehatan, termasuk laboratorium sebagai bagian dari bangunan tersebut						
9b	Bangunan gedung pertemuan, termasuk bengkel kerja, workshop, laboratorium atau sejenisnya di sekolah dasar atau sekolah lanjutan, hall, BG peribadatan, BG budaya, atau sejenis tetapi tidak termasuk setiap bagian dari bangunan klas lain.						

Legenda:

- Wajib (*mandatory*)
- Disarankan (*recommended*)
- Disarankan, dengan pengecualian pada bangunan gedung dengan luasan tertentu
- Sukarela (*voluntary*)

Keterangan:
Ketentuan Bangunan Gedung Hijau Fungsi Khusus ditetapkan oleh Menteri

Gambar 0.8. Klasifikasi penerapan kriteria bangunan gedung hijau ke berbagai tipe bangunan gedung [10]

Karena itu, dibutuhkan strategi pengelolaan air untuk mengurangi kebutuhan air bersih atau menambah ketersediaan air bersih. Salah satu caranya adalah dengan mengelola air hujan yang turun ke gedung dan persilnya. Tujuannya bukan hanya untuk memaksimalkan pemanfaatan air hujan melainkan juga untuk mengisi air tanah dan mengurangi debit banjir [9]. Contoh dari skema pengelolaan air hujan pada bangunan sederhana ditunjukkan pada Gambar 17.10.

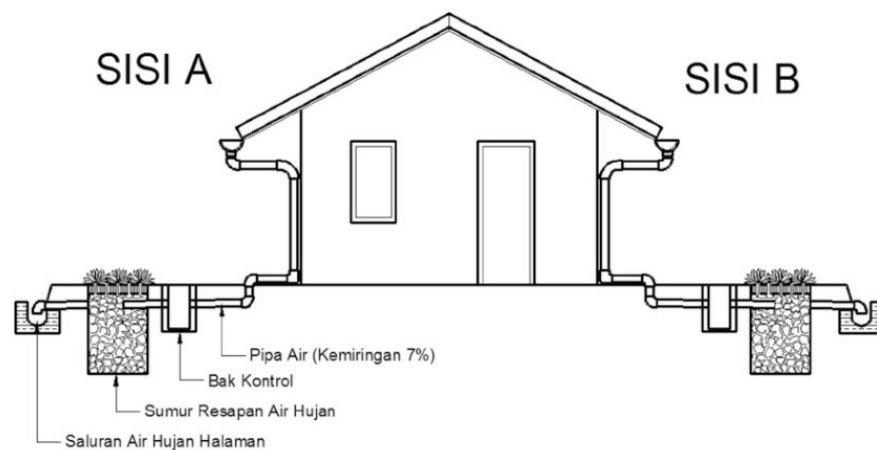
Salah satu cara yang umum dan mudah diterapkan adalah sistem penampungan air hujan (SPAH) atau *rainwater harvesting*. SPAH sudah umum digunakan di

berbagai negara misalnya India, Spanyol, Jepang, Amerika Serikat, Malaysia dll. Bahkan Taiwan, Belgia, dan Jepang sudah mewajibkan gedung-gedungnya untuk mengimplementasikan SPAH [1].

Persentase air yang dihemat dengan adanya SPAH sangat bervariasi. Penelitian di Sidney menyimpulkan bahwa SPAH bisa menghemat air sebanyak 10-58 % tergantung jumlah pengguna bangunan [12]. Sedangkan penelitian di Brazil menghasilkan kesimpulan bahwa sebanyak 80-87 % air dapat dihemat dengan SPAH [13]. Penelitian di Indonesia menghasilkan angka penghematan yang cukup bervariasi juga misalnya 19-23 % di rusunawa Bandung [14] atau 29 % di sekolah Palembang [15]. Meskipun angkanya bervariasi, penelitian-penelitian ini membuktikan bahwa SPAH dapat menghemat pemakaian air PAM pada bangunan.

No.	Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Debit Air Limbah	Satuan	PE	Acuan
1.	Rumah Mewah	250	200	Liter/penghuni/hari	1,67	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
2.	Rumah Biasa	150	120	Liter/penghuni/hari	1,00	Study JICA 1990 (proyeksi 2010)
3.	Apartment	250	200	Liter/penghuni/hari	1,67	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
4.	Rumah Susun	100	80	Liter/penghuni/hari	0,67	
5.	Asrama	120	96	Liter/penghuni/hari	0,80	
6.	Klinik / Puskesmas	3	2,7	Liter/pengunjung/hari	0,02	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
7.	Rumah sakit Mewah	1000	800	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari	6,67	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
	Rumah Sakit Menengah	750	600	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari	5,00	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
	Rumah Sakit Umum	425	340	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari	2,83	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
8.	Sekolah Dasar	40	32	Liter/siswa/hari	0,27	SNI 03-7065-2005
9.	SLTP	50	40	Liter/siswa/hari	0,33	SNI 03-7065-2005
10.	SLTA	80	64	Liter/siswa/hari	0,53	SNI 03-7065-2005
11.	Perguruan Tinggi	80	64	Liter/mahasiswa/hari	0,53	SNI 03-7065-2005
12.	Rumah Toko / Rumah Kantor	100	80	Liter/penghuni dan pegawai/hari	0,67	SNI 03-7065-2005
13.	Gedung Kantor	50	40	Liter/pegawai/hari	0,33	SNI 03-7065-2005
14.	Toserba (toko serba ada, mall, department store)	5	4,5	Liter/m ² luas lantai/hari	0,04	SNI 03-7065-2005
15.	Pabrik / Industri	50	40	Liter/pegawai/hari	0,33	SNI 03-7065-2005
16.	Stasiun / Terminal	3	2,7	Liter/penumpang tiba dan pergi/hari	0,02	SNI 03-7065-2005
17.	Bandara Udara *	3	2,7	Liter/penumpang tiba dan pergi/hari	0,02	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
18.	Restoran	15	13,5	Liter/kursi/hari	0,11	SNI 03-7065-2005
19.	Gedung Pertunjukan	10	9	Liter/kursi/hari	0,08	SNI 03-7065-2005
20.	Gedung Bioskop	10	9	Liter/kursi/hari	0,08	SNI 03-7065-2005
21.	Hotel Melati s/d Bintang 2	150	120	Liter/tempat tidur/hari	1,00	SNI 03-7065-2005
22.	Hotel Bintang 3 ke atas	250	200	Liter/tempat tidur/hari	1,67	SNI 03-7065-2005
23.	Gedung Peribadatan	5	4,5	Liter/orang/hari (belum dengan air wudhu)	0,04	SNI 03-7065-2005
24.	Perpustakaan	25	22,5	Liter/jmlh. pengunjung/hari	0,19	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
25.	Bar	30	24	Liter/jmlh. pengunjung/hari	0,20	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
26.	Perkumpulan Sosial	30	27	Liter/jmlh. pengunjung/hari	0,23	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
27.	Klab Malam	235	188	Liter/jmlh. kursi/hari	1,57	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
28.	Gedung Pertemuan	25	20	Liter/kursi/hari	0,17	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
29.	Laboratorium	150	120	Liter/jmlh. staf/hari	1,00	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
30.	Pasar Tradisional / Modern	40	36	Liter/kios/hari	0,30	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura

Gambar 17.9. Kebutuhan air bersih pada berbagai tipe gedung [11]



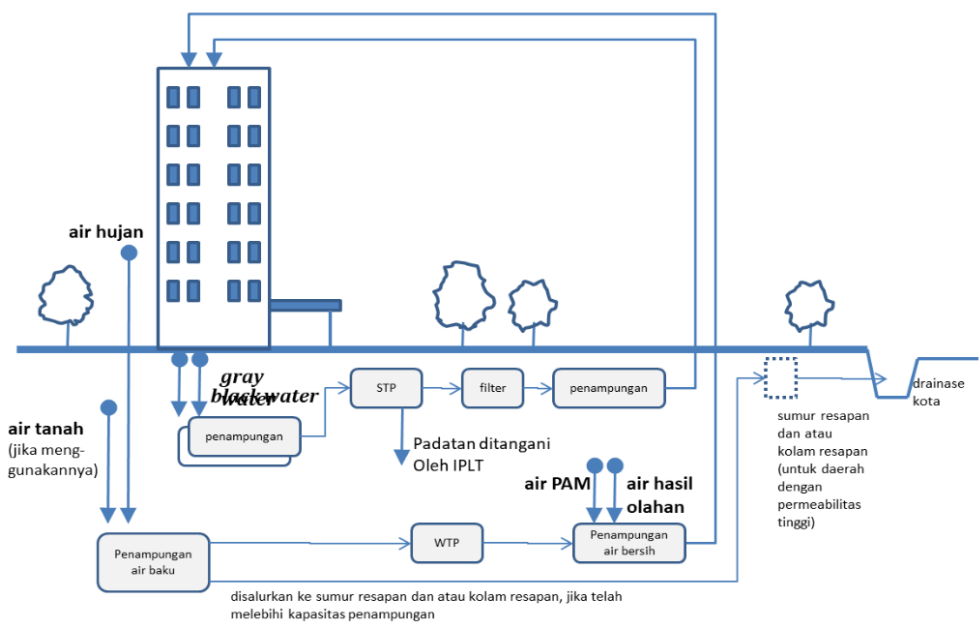
Gambar 17.10. Contoh skema pengaliran air hujan [9]

Regulasi mengenai SPAH ditetapkan pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 11/PRT/M/2014 tentang Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilnya [9] dan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 38 Tahun 2012 tentang Bangunan Gedung Hijau [16]. Prinsip dari SPAH sangat sederhana yaitu air hujan yang turun di gedung maupun di persilnya akan ditangkap dan ditampung di tempat penampungan air sementara.

Skema SPAH pada bangunan gedung ditunjukkan pada Gambar 17.11. Di situ dijelaskan bahwa air hujan bisa langsung diserap oleh tanah atau ditangkap dari atap lalu dialirkan ke tempat penampungan. Lalu air hujan tersebut akan diolah terlebih dahulu sebelum dipompa ke gedung untuk dimanfaatkan. Pilihan lainnya adalah air hujan yang sudah disuling dialirkan ke sumur resapan atau ke saluran drainase kota.

Air yang ditampung ini kemudian akan dipakai untuk berbagai keperluan. Harus diperhatikan bahwa air hujan tertampung tidak disarankan untuk dimanfaatkan untuk semua keperluan. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta memberikan rekomendasi peruntukan air hujan seperti yang tertera pada Gambar 17.12.

Biasanya air hujan akan dimanfaatkan untuk aktivitas-aktivitas yang tidak memerlukan air dengan mutu sangat tinggi misalnya menyiram tanaman, membilas toilet, mencuci kendaraan dll. Pengelola gedung juga bisa memperbaiki kualitas air hujan dengan *treatment plant* agar air hujan bisa dipakai untuk keperluan pribadi misalnya untuk mandi atau keperluan dapur.



Gambar 17.11. Skema sistem penampungan air hujan dari Pergub DKI Jakarta Nomor 38 Tahun 2012 [16]

Kemungkinan Penggunaan Air Hujan untuk Bangunan Komersial ³⁰		AIR HUJAN (Hanya Atap)	AIR BADAI (Atap & Tanah)
<div> <div></div> Dapat Diterima </div> <div> <div></div> Memungkinkan </div> <div> <div></div> Tidak Direkomendasikan </div>	Fasilitas/Kamar Mandi	<div></div>	<div></div>
	Dapur/Persiapan Makanan	<div></div>	<div></div>
	Sistem Air Panas	<div></div>	<div></div>
	Penyiram Toilet	<div></div>	<div></div>
	Binatu	<div></div>	<div></div>
	Pengairan	<div></div>	<div></div>
	Pencucian Kendaraan	<div></div>	<div></div>
	Menara Pendingin	<div></div>	<div></div>
	Kolam Air Top Up	<div></div>	<div></div>
	Air Proses Lainnya	<div></div>	<div></div>

Gambar 17.12. Kelayakan penggunaan air hujan untuk kegiatan sehari-hari [17]

Penegakan asas bangunan gedung hijau tidak hanya dilakukan dengan

menambah ketersediaan air dengan SPAH melainkan juga dengan menghemat konsumsi air oleh penggunanya. Karena itu, penggunaan air untuk keperluan sanitasi harus dibatasi dan hal ini diatur pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 02/PRT/M/2015 tentang Bangunan Gedung Hijau (lihat Gambar 17.8)[10].

No.	Perangkat sambungan air	Kapasitas maksimal
1	WC, flush valve	6 liter/flush
2	WC, flush tank	6 liter/flush
3	Urinal flush	4 liter/flush
4	Shower mandi	9 liter / menit
5	Keran tembok	8 liter / menit
6	Keran washtafel/lavatory	8 liter / menit

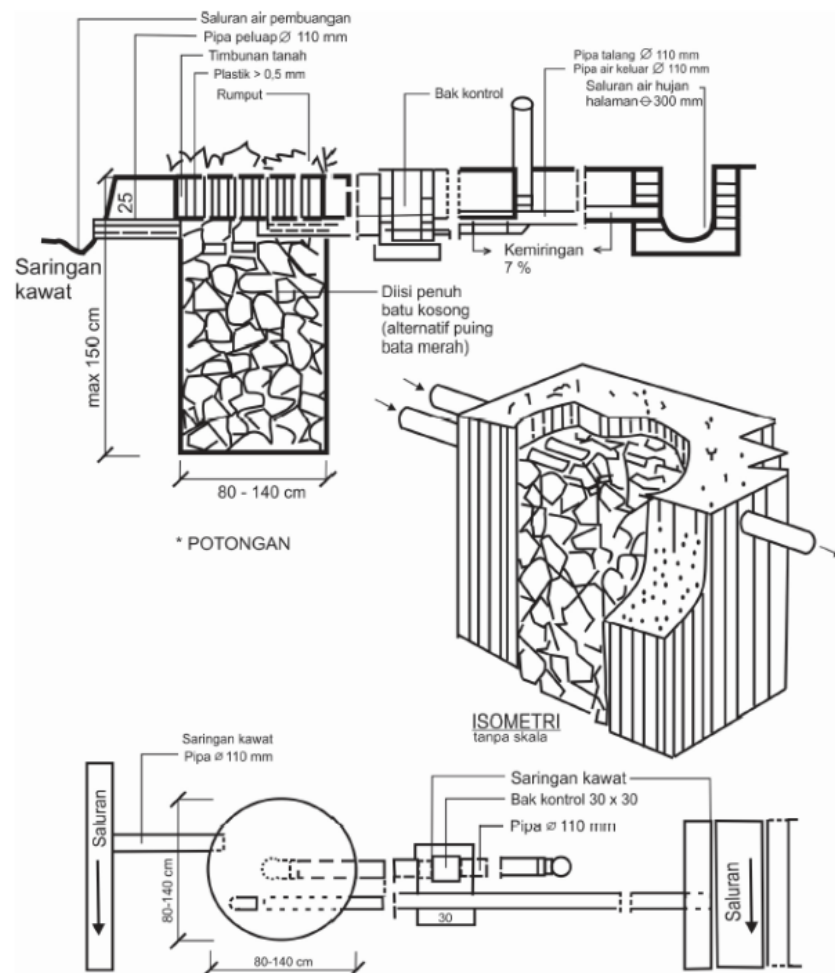
Gambar 17.13. Kapasitas maksimal peralatan saniter hemat air [10]

Pembangunan berkelanjutan tidak hanya memperhatikan konsumsi air di dalam gedung melainkan juga kelestarian air di lingkungan. Sumur resapan berfungsi untuk menjaga level air tanah di kawasan gedung berdiri. Dengan adanya sumur resapan, air limpasan permukaan bisa disalurkan ke dalam tanah untuk mengisi air tanah. Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 20 Tahun 2013 tentang Sumur Resapan telah mengatur volume sumur resapan yang dibutuhkan oleh bangunan sesuai dengan luas penampang tutupan bangunan [18].

Ilustrasi sumur resapan ditunjukkan pada Gambar 17.10. Gambar tersebut menunjukkan cara kerja sumur resapan di mana air limpasan pada saluran didistribusikan ke sumur resapan yang diisi oleh batu-batu atau puing bata merah sebagai saringan. Air yang telah tersaring akan masuk ke lapisan air tanah sedangkan air yang tidak mampu tertampung di sumur resapan akan dilimpaskan ke saluran kota.

No.	Luas Penampang Tutupan Bangunan (m ²)	Volume (m ³)
1.	=50	2
2.	51-99	4
3.	100-149	6
4.	150-199	8
5.	200-299	12
6.	300-399	16
7.	400-499	20
8.	500-599	24
9.	600-699	28
10.	700-799	32
11.	800-899	36
12.	900-999	40
dst		

Gambar 17.14. Volume sumur resapan yang dibutuhkan untuk berbagai luas bangunan [18]



Gambar 0.15. Contoh sumur resapan air hujan [9]

Penerapan asas-asas di atas sudah diterapkan oleh pengelola gedung BPPT. Disebutkan bahwa BPPT berhasil menghemat efisiensi air sebesar 38,13 % dengan membangun unit daur ulang air limbah, memanen air hujan, membuat sumur resapan, dan memperbaiki peralatan-peralatan saniter [19]. Plaza Indonesia juga menerapkan asas bangunan gedung hijau dan berhasil menghemat biaya pemakaian air sebesar Rp 4,04 miliar/tahun [17]. Hal ini membuktikan bahwa usaha menghemat air pada bangunan gedung bisa sangat bermanfaat bagi pengelola gedung.

1.3 Penutup

Kekurangan air bersih merupakan bencana yang sudah menanti bila tidak ada tindakan yang diambil untuk mengatasinya. Diharapkan dengan implementasi dari konsep-konsep bangunan hijau -seperti sistem penampungan air hujan, pembatasan konsumsi air, dan pembuatan sumur resapan- dapat memenuhi kebutuhan konsumsi air pada bangunan tanpa mengancam ketersediaan air di masa depan. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa strategi pengelolaan air pada gedung mampu menghemat pemakaian air sekaligus menghemat biaya pemakaian air.

Referensi

- [1] S. Yannopoulos, I. Giannopoulou and Mina Kaiafa-Saropoulou, 2019, *Water* **11**
- [2] United Nations Children's Fund, 2021, Reimagining Wash Water Security for All
- [3] World Resources Institute, 2015, Aqueduct Projected Water Stress Projected Water Stress
- [4] United Nations Department of Economic and Social, 2012, Back to Our Common Future Sustainable Development in the 21st century (SD21) project
- [5] H. Ritchie and M. Roser, 2018, Urbanization
- [6] M. M. Rahman, M. A. Rahma, M. M. H. and A. Rahman, 2015, *Sustainable Construction Technologies, Elsevier* 211-235.
- [7] U.S. Energy Information Administration, 2017, 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey: Water Consumption in Large Buildings Summary
- [8] T. F. Dias, A. Kalbusch and E. Henning, 2018, *Journal of Cleaner Production* **184**-160-167
- [9] Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 11/PRT/M/2014 tentang Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilnya, DKI Jakarta, 2014.
- [10] Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 02/PRT/M/2015 tentang Bangunan Gedung Hijau, DKI Jakarta, 2015.
- [11] Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, DKI Jakarta, 2005.
- [12] P. J. Coombes and G. Kuczera, 2003, *28th International Hydrology and Water Resources Symposium* 2003.
- [13] R. N. C. Cardoso, C. J. C. Blanco and J. M. Duarte, 2020, *Journal of Cleaner Production* **260**
- [14] F. F. Devitama and B. Paramita, 2018, *3rd International Symposium for*

Sustainable Landscape Development (ISSLD 2017)

- [15] I. C. Juliana, T. A. Gunawan and F. M. Litanto, 2019, in *International Conference on SMART CITY Innovation 2018*
- [16] Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 38 Tahun 2012 tentang Bangunan Gedung Hijau, DKI Jakarta, 2012.
- [17] Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta Berdasarkan Peraturan Gubernur No. 38/2012, DKI Jakarta.
- [18] Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 20 Tahun 2013 tentang Sumur Resapan, DKI Jakarta, 2013.
- [19] S. Yudo, 2018, *Jurnal Teknologi Lingkungan* **19**-1

Profil Penulis

Vitorio Kurniawan, S.T., M.Sc.



Lulus dari Program Studi Sarjana Teknik Sipil dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2011 dan dari Program Magister dari TU Delft pada tahun 2016. Setelah lulus, penulis aktif sebagai konsultan di bidang sumber daya air. Sekarang penulis aktif sebagai calon dosen tetap di Program Studi Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara.

BAB 18

Perkembangan Building Information Modeling di Bidang Pendidikan Tinggi Teknik Sipil

Basuki Anondho

Sunarjo Leman

Afriska Suwarni

Raymond Jonathan

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Seiring berkembangnya teknologi, masih terdapat engineer yang dapat dikatakan terbatas dalam pengetahuan teknologi dalam membantu pengerjaan proyek mereka. Salah satu perkembangan teknologi pada bidang konstruksi adalah Building Information Modeling (BIM). BIM merupakan salah satu inovasi yang termasuk dalam bidang Information Communication Technology (ICT) yang berada pada dunia konstruksi. Aplikasi BIM yang digunakan makalah ini adalah Cubicost untuk perhitungan volume kebutuhan besi dan Autodesk Revit untuk analisis struktural. Proses perhitungan dengan kedua perangkat lunak BIM ini lebih singkat jika dibandingkan dengan cara konvensional. Paparan sejarah menunjukkan bahwa penguasaan BIM di proses pendidikan tinggi akan memperkuat daya saing.

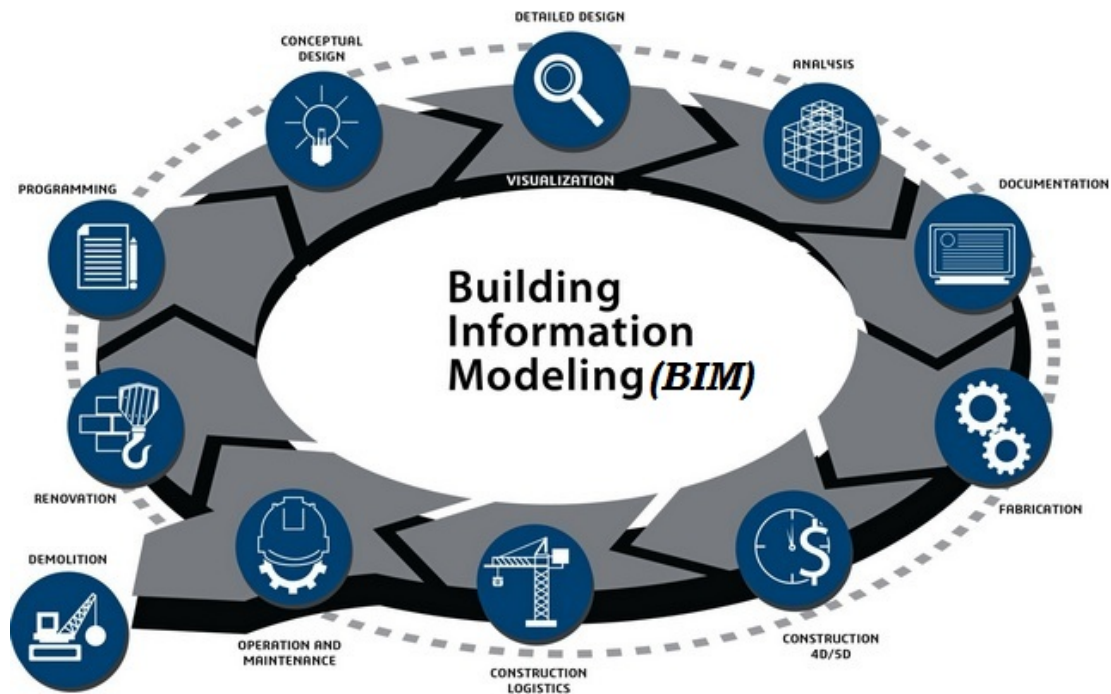
Kata kunci: Building Information Modeling; Cubicost; Revit, Pendidikan Tinggi.

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Pada jaman yang sudah berkembang ini, terdapat banyak *engineer* yang masih dapat dikatakan sangat terbatas dalam pengetahuan teknologi yang dapat membantu pekerjaan proyek mereka. Salah satu teknologi yang ada pada bidang konstruksi merupakan penggunaan *Building Information Modeling* (BIM). Hal ini diakibatkan keterbatasannya informasi dan kurangnya pengetahuan tentang penggunaan BIM bagi para *engineer* [1] BIM sendiri merupakan sebuah *Virtual Models* dari sebuah bangunan yang memiliki koleksi data – data bangunan yang disusun dalam sebuah struktur berbasis *database* yang mudah diurutkan secara visual ataupun numerik [2]. Pada masa yang akan datang, BIM diproyeksikan akan mampu membantu *engineer* dalam proses struktur dan konstruksi. Pada prosesnya, BIM akan membantu *engineer* pada saat mendesain gedung, pengendalian proyek, dan menghitung rencana anggaran biaya (RAB) [1]

BIM adalah sebuah akronim, kepanjangan dari Building Information Modelling. BIM menjadi trend di dunia konstruksi Indonesia. Namun pemahaman mengenai BIM bisa beragam. Berikut ini definisi BIM dari ISO 19650: 2019, yaitu “*Penggunaan bersama representasi digital dari aset yang dibangun untuk memfasilitasi proses desain, konstruksi dan operasi untuk membentuk dasar yang andal untuk pengambilan keputusan(Use of a shared digital representation of a built asset to facilitate design, construction and operation processes to form a reliable basis for decisions)*“. The US National Building Information Model Standard Project Committee atau Komite Proyek Standar Building Information Model Nasional Amerika Serikat menyebutkan bahwa definisi Building Information Modeling (BIM) sebagai representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu fasilitas. *Building Information Modelling* atau yang disingkat dengan BIM, merupakan proses yang melibatkan pembangkitan (*generation*) dan pengelolaan representasi digital atas karakteristik fisik dan fungsi suatu tempat. BIM juga merupakan proses yang menghasilkan dan mengelola data-data bangunan dalam siklus *project*-nya. Proses ini menghasilkan model informasi dari suatu bangunan, yang meliputi bangunan geometri, hubungan spatial, informasi

geografis, jumlah dan sifat dari komponen bangunan. BIM diterapkan pada banyak proses seperti yang terlihat pada Gambar 18.1.



Gambar 18.1 Penggambaran proses dengan BIM [3]

BIM memperkenalkan suatu proses pengembangan desain dan dokumentasi konstruksi seperti gambar, rincian pengadaan, dan spesifikasi lainnya dapat dengan mudah saling terkait. Dengan penggunaan BIM, seiring dengan meningkatnya kerjasama antar tim dalam suatu proyek dapat meningkatkan profitabilitas, pengurangan *cost* (biaya), manajemen waktu yang lebih baik dan meningkatkan hubungan antar pelanggan/*client* [4]. Pada jaman yang sudah berkembang ini, terdapat banyak *engineer* yang masih sangat terbatas dalam penguasaan teknologi yang dapat membantu pekerjaan proyek mereka [5]. Salah satu teknologi yang ada pada bidang konstruksi merupakan penggunaan BIM. Hal ini akibat keterbatasannya informasi dan kurangnya pengetahuan tentang penggunaan BIM bagi para *engineer* [1] BIM sendiri merupakan sebuah *Virtual*

Models dari sebuah bangunan yang memiliki koleksi data–data bangunan yang disusun dalam sebuah struktur berbasis *database* yang mudah diurutkan secara visual ataupun numerik [2]. Tulisan ini diharapkan dapat membantu para manajer pendidikan tinggi, yang belum menyadari pentingnya membekali lulusan dengan pengetahuan BIM, untuk ikut mempertimbangkan keikutsertaan dalam kemajuan teknologi terutamanya di bidang Teknik Sipil.

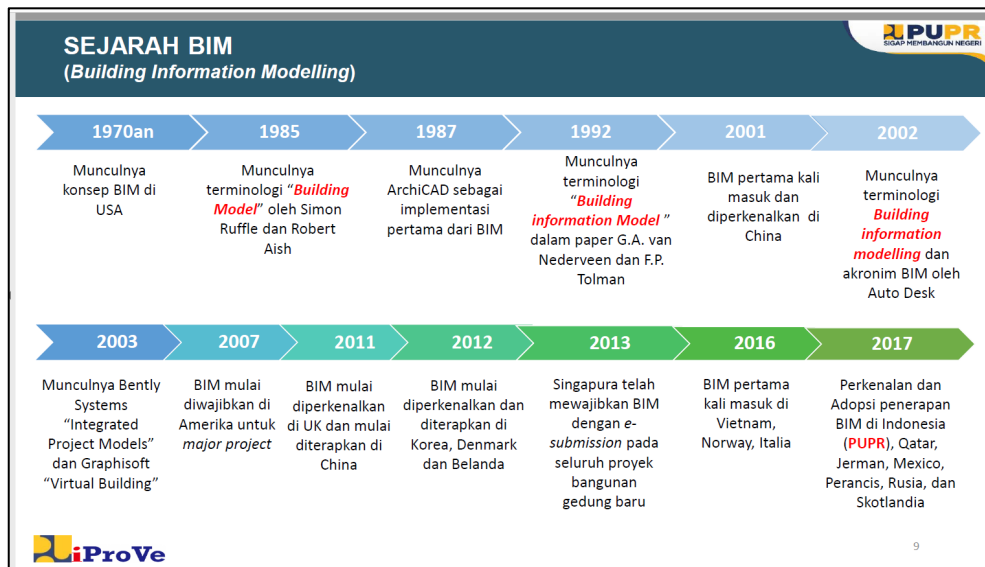
1.2 Isi/Pembahasan

Sejarah BIM

BIM mulai populer pada tahun 2002 setelah autodesk merilis sebuah makalah yang berjudul “Building Information Modeling”. Istilah *Building Information Modeling* kembali muncul di pertengahan 2005 ketika US *General Services Administration* (GSA) membuat keputusan untuk membangun gedung pengadilan baru di Jackson, Mississippi dengan total luas 410.000 ft². Sejak saat itu, 2D software yang digunakan untuk merancang dan dokumentasi semua fase konstruksi, GSA meminta stafnya untuk beralih dari 2D ke pendekatan 3D [6].

Afriska, 2020, menyatakan, pengertian serta karakteristik dari BIM sendiri banyak diperkenalkan oleh berbagai ilmunan-ilmuan menurut pengertian mereka sendiri dan dituangkan dalam bentuk jurnal [7]. BIM memperkenalkan suatu proses pengembangan desain dan dokumentasi konstruksi seperti gambar, rincian pengadaan, dan spesifikasi lainnya dapat dengan mudah saling terkait. Dengan penggunaan BIM, seiring dengan meningkatnya kerjasama antar tim dalam suatu proyek dapat meningkatkan profitabilitas, pengurangan *cost* (biaya), manajemen waktu yang lebih baik dan meningkatkan hubungan antar pelanggan/*client* [4].. Seiring dengan berjalannya waktu dan perkembangan, penggunaan BIM di Indonesia belum maksimal padahal aplikasi dengan konsep BIM sudah muncul sejak lama di Indonesia [8]. Namun baru-baru ini beberapa program perangkat lunak estimasi biaya berbasis BIM telah dikembangkan untuk meningkatkan

efisiensi estimator. Estimasi biaya konstruksi menjadi salah satu aspek-aspek penting dari desain proyek konstruksi. Selama beberapa generasi, proses estimasi biaya dilakukan secara manual, memakan waktu dan rawan kesalahan. [9]. katnya kerjasama antar tim dalam suatu proyek dapat meningkatkan profitabilitas, penguranga *cost* (biaya), manajemen waktu yang lebih baik dan meningkatkan hubungan antar pelanggan/*client* [4]. Seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan dan penggunaan BIM di Indonesia belum maksimal padahal aplikasi dengan konsep BIM sudah muncul sejak lama di Indonesia [8].. Namun baru-baru ini beberapa program perangkat lunak estimasi biaya berbasis BIM telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi estimator. Estimasi biaya konstruksi menjadi salah satu aspek-aspek penting dari desain proyek konstruksi. Selama beberapa generasi, proses estimasi biaya dilakukan secara manual, memakan waktu dan rawan kesalahan.[9]. Ilustrasi sejarah perkembangan BIM dapat dilihat pada Gambar 18.2.



Gambar 18.2 Ilustrasi Sejarah BIM [10]

Di Indonesia sendiri, penggunaan BIM untuk pekerjaan proyek konstruksi sudah cukup banyak, termasuk dari proyek-proyek kementerian PUPR seperti yang terlihat pada Gambar 18.3 tentang penggunaan BIM pada beberapa proyek. Hal ini menunjukkan kebutuhan akan lulusan yang mampu beradaptasi pada kemajuan teknologi menjadi hal penting.



Gambar 18.3 Implementasi BIM pada proyek di Indonesia [10]

Definisi dan Pengertian BIM

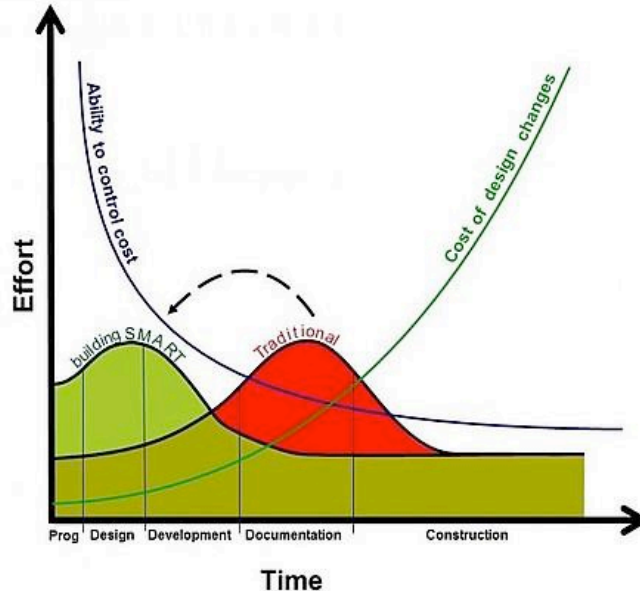
Definisi BIM atau Building Information Modelling adalah suatu sistem atau teknologi yang mencakup beberapa Informasi penting dalam proses Design, Construction, Maintenance yang terintegrasi pada pemodelan 3D [3]

BIM ini Sudah mulai digunakan pada proyek – proyek Strategis yang ada di Indonesia untuk menunjang kemajuan teknologi di bidang konstruksi. Penerapan BIM ini sangat penting dikembangkan di Indonesia karena dapat mempermudah dan mempercepat proses pekerjaan di proyek. Salah satu keunggulan dari BIM ini adalah Integrasi Informasi dari berbagai disiplin ilmu dalam satu pemodelan 3D.

Orang umum lebih mudah membaca gambar proyek 3 dimensi dibanding dengan 2 dimensi. Dengan gambar 3 dimensi owner proyek akan lebih mudah Memahami gambar teknis yang diajukan oleh kontraktor.

Manfaat dan Tujuan [3]

Manfaat dari penerapan BIM untuk proyek konstruksi bukan hanya membantu proses konstruksi di perencanaan, pembangunan dan perawatan, tetapi akan membantu kemungkinan pengendalian operasi antar pihak seperti yang digambarkan pada grafik *McLeamy Curve* pada Gambar 18.4



Gambar 18.4 McLeamy Curve-BIM membantu proses tetapi juga [10]

Beberapa manfaat penggunaan BIM di bawah ini menunjukkan mengapa penggunaan BIM pada pelaksanaan proyek dapat membantu pelaksanaan proyek:

1. BIM punyai visual 3 dimensi sehingga memudahkan pemahaman terhadap rencana gambar yang akan dibangun.
2. Penggunaan BIM akan mempermudah menghitung volume pekerjaan dengan cepat dan akurat.

3. BIM akan memberikan informasi biaya atau RAB pada tiap komponen pekerjaan sehingga kita bisa memprediksi perkiraan biaya pada satu komponen pekerjaan.
4. BIM mampu menampilkan gambar 3 dimensi pada pekerjaan yang rumit seperti pembesian pada struktur jembatan, dsb.
5. Penggunaan BIM tidak hanya sekedar menampilkan gambar animasi bangunan saja, tetapi lebih kepada manage informasi proyek secara cepat dan akurat.
6. Penggunaan BIM pada saat awal pekerjaan dijadikan sebagai *clash detection*. Kita bisa mengetahui apakah gambar rencana 2D ini jika akan diterapkan di lapangan terjadi *clash* atau tidak terutama antara gambar struktur, arsitektur, dan MEP.
7. Manfaat lain penggunaan BIM adalah koordinasi antara kontraktor dengan owner / konsultan dengan mudah di manapun dan kapanpun. BIM akan di *upload* pada layanan komputer awan (*cloud*) yang bisa diakses oleh owner. Owner akan memeriksa gambar melalui layanan komputer awan dan memberikan Marking apabila ada yang Salah.

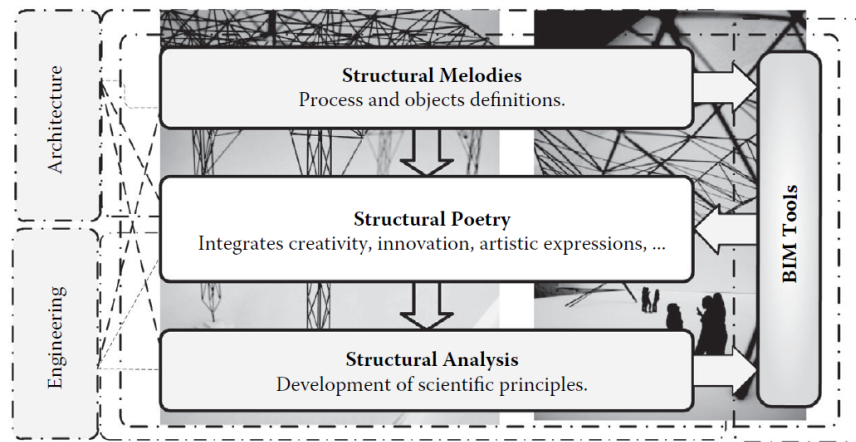
Beberapa kampus di Indonesia, sudah mulai mempelajari dan menggunakan BIM pada penelitian atau jurnal dan mata kuliah yang dibuat. Pada masa yang akan datang, BIM diproyeksikan akan mampu membantu *engineer* dalam proses struktur dan konstruksi. Pada prosesnya, BIM akan membantu *engineer* pada saat mendesain gedung, pengendalian proyek, dan menghitung rencana anggaran biaya (RAB) [11].

Beberapa Contoh Sederhana

a. BIM Analisis Struktur

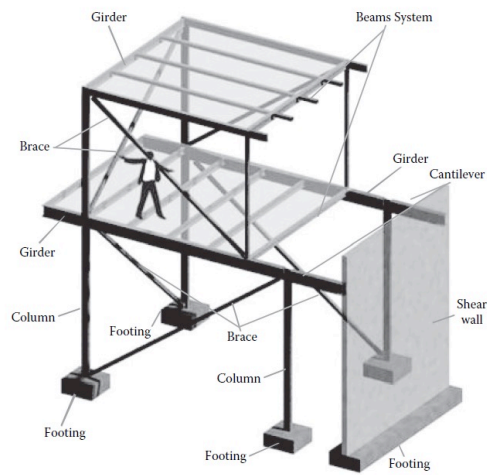
Struktur dan Arsitektur mempunyai hubungan kedekatan yang secara prinsip mempunyai sisi pandang yang berbeda dari keduanya. Struktur melihat dari sisi kekuatan dari sebuah bangunan sedangkan Arsitektur lebih kepada keindahan secara estetika dan keindahan sebuah karya. Pada saat yang sama, struktur harus

mematuhi hukum ilmiah dan rekayasa untuk menjadi benar. Pemisahan antara aspek-aspek ini dalam praktiknya terus berlanjut sejak awal Revolusi Industri, ketika teknik struktural menjadi bidang khusus yang terpisah dari arsitektur.[12] *Structure and Architecture Synergy Framework (SAS Framework)* adalah kerangka sinergi struktur dan arsitektur memberikan Bahasa penghubung untuk memahami struktur secara keseluruhan dalam hubungannya dengan kedekatannya hubungannya dengan arsitektur.



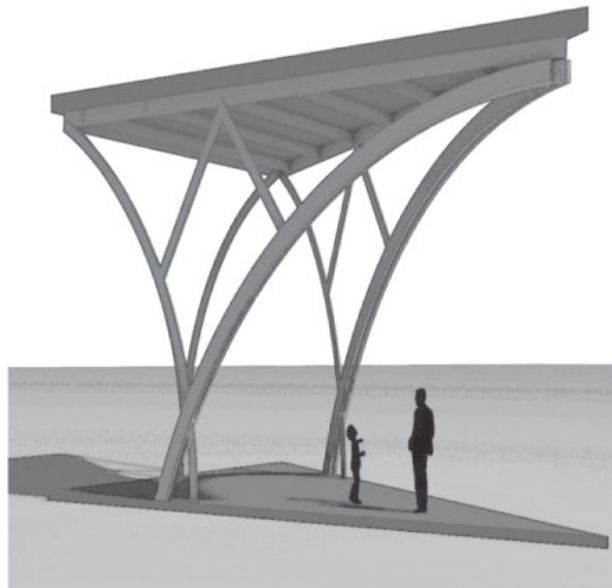
Gambar 18.5 *Structure and Architecture Synergy Framework (SAS Framework)* [1]

Structural Melodies adalah komponen dasar pertama dari kerangka SAS. Tujuannya adalah untuk memahami bagaimana elemen struktural linier, nonlinier, planar, dan volumetrik dapat diatur untuk menciptakan tatanan spasial dalam arsitektur menggunakan alat BIM.



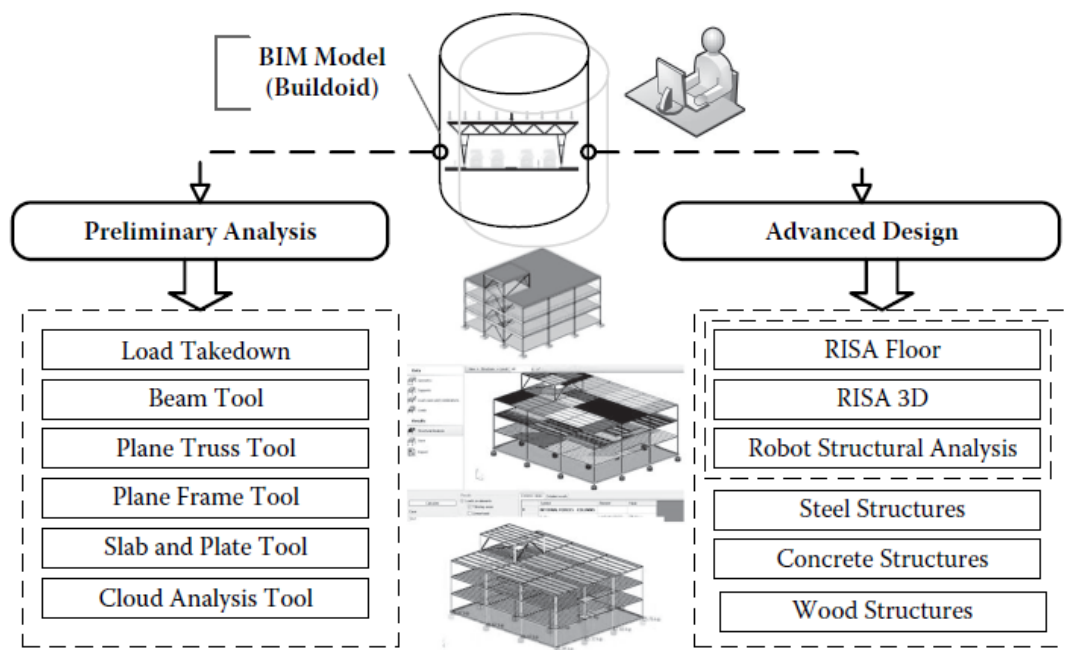
Gambar 18.6 *Structural Melodies* [1]

Structural Poetry adalah komponen kedua dari kerangka SAS dan bertujuan untuk mengembangkan kreativitas struktural dan pemikiran spasial serta meningkatkan kemampuan desain konseptual menggunakan alat BIM.



Gambar 18.7 *Structural Poetry* menggunakan elemen linier, non linier dan planar [1]

Structural Analysis adalah fase lanjutan setelah menyelesaikan fase *Structural Melodies* dan *Structural Poetry* merupakan model BIM menjadi sasaran analisis struktural.

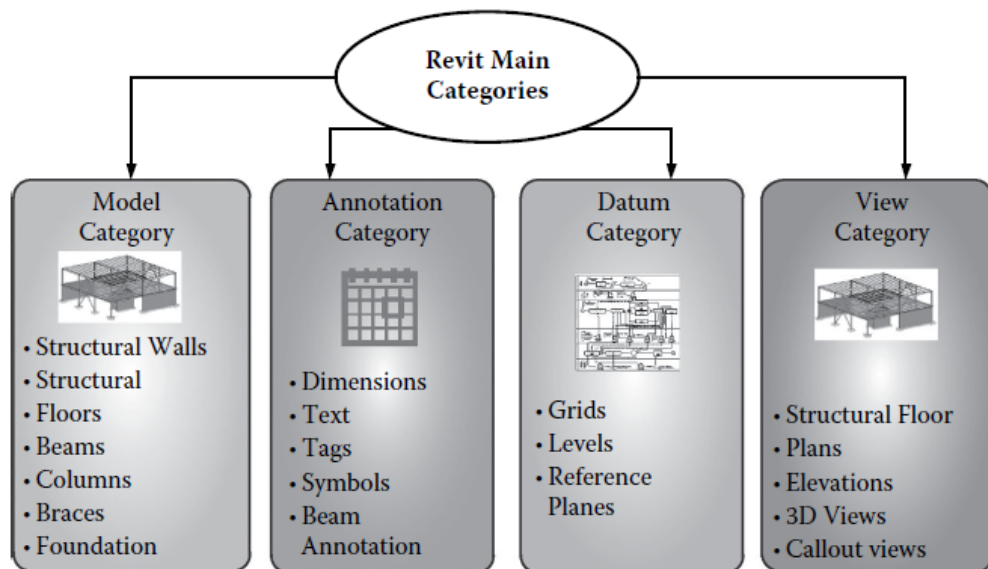


Gambar 18.8 BIM untuk *Structural Analysis* [1]

Building Information Modeling (BIM) menyediakan objek dalam bentuk tiga dimensi (3D) sebagai database untuk sebuah bangunan. Dengan kata lain BIM adalah cara untuk membangun sebuah bangunan secara virtual sebelum membangunnya di dunia nyata. Ini adalah simulasi digital dari fisik dan karakteristik fungsional suatu bangunan sebagai sumber pengetahuan untuk informasi tentang bangunan selama siklus hidupnya dari awal dan seterusnya.

Bagian BIM analisis dan desain merupakan bagian dari serangkaian siklus tersebut. Semua proses ini akan terekam dalam sebuah *big data* (database pusat) yang dipergunakan secara berbagi bersama secara simultan, sehingga apabila terdapat sebuah perubahan dan telah disepakati, maka seluruh database yang bersangkutan akan termodifikasi menjadi yang terbaru, termasuk dengan desain, skedul, material, dan sebagainya.

Di lingkungan BIM berarti membuat kumpulan data terperinci yang mendefinisikan sebuah bangunan lengkap mulai masing-masing komponen elemen-elemen pembangun bangunan tersebut mempunyai database mulai dari dimensi, bahan, jumlah tulangan, posisi tulangan, posisi elemen, lama pengerjaan, dan harga satuan. Ini tidak boleh disamakan dengan membuat gambar 3D klasik dari sebuah bangunan yang hanyalah representasi lain dari model bangunan dengan ketidaklengkapan yang sama seperti sebuah denah saja. Saat ini, sejumlah platform perangkat lunak mendukung konsep dan prinsip BIM seperti Autodesk Revit, ArchiCAD, Arsitektur Bentley, dan Tekla Structures.

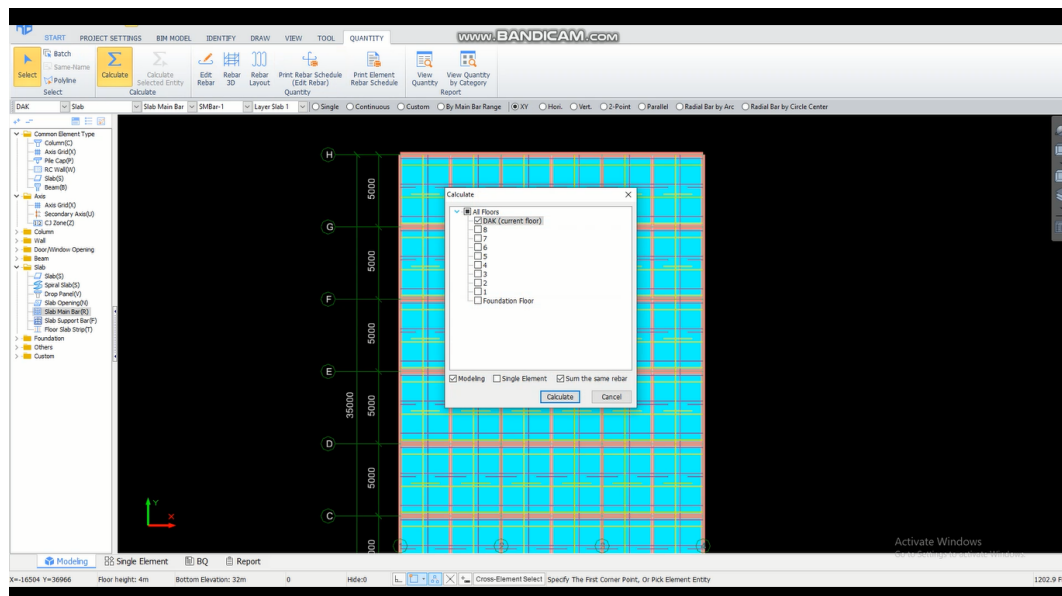


Gambar 18.9 Kategori Utama Dalam Program Revit [1]

Desain pemodelan informasi bangunan secara lengkap disimpan dalam database sehingga representasi apabila diperlukan lebih detail dapat dihasilkan secara otomatis darinya. Objek yang digunakan dalam desain BIM mengkodekan lebih banyak data daripada geometri murni dalam analisis strukturnya. Semua objek dalam model bangunan termasuk dalam kategori. Kategori adalah sekelompok elemen yang digunakan untuk memodelkan atau mendokumentasikan desain bangunan.

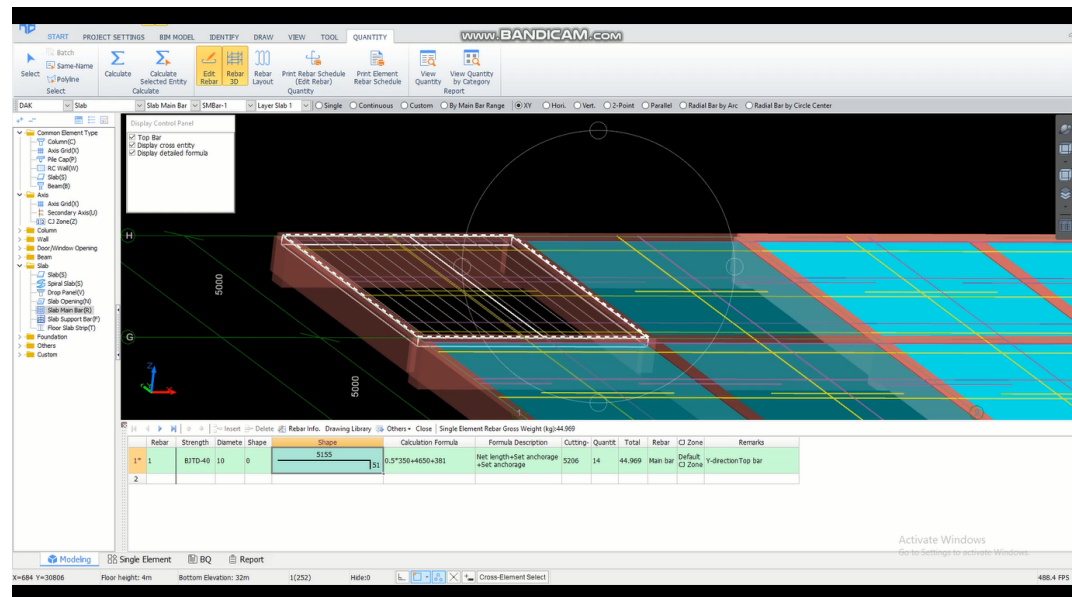
b. Perhitungan Volume Besi dengan Cubicost TRB

Setelah proses virtualisasi selesai, proses perhitungan dapat langsung dilakub)kan dengan menggunakan menu *Calculate Program* yang secara otomatis melakukan proses perhitungan.



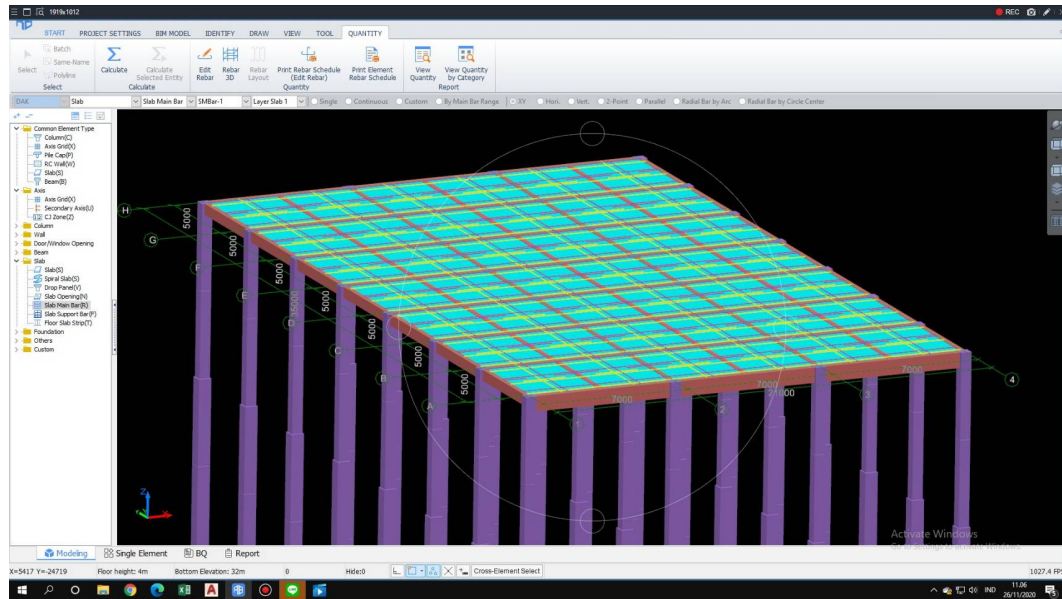
Gambar 18.10 Proses Kalkulasi Tulangan Dak Beton Bertulang

Cubicost TRB memiliki kemampuan untuk memastikan setiap angka yang diperhitungkan memiliki asal yang jelas dan dapat diperiksa terlebih dahulu sebelum tabel hasil dikeluarkan.



Gambar 18.11 Pemeriksaan Asal Angka Secara Spesifik

Setelah memastikan semua angka yang ada sesuai, dengan fitur *view quantity by category*, dapat ditampilkan tabel meliputi hasil perhitungan dan kebutuhan berat besi untuk pekerjaan pembesian.



Gambar 18.12 Pemeriksaan Asal Angka Secara Spesifik

Pada perhitungan dengan aplikasi BIM, hasil yang didapatkan berupa hasil akhir berupa berat dalam bentuk kg pada volume pekerjaan pembesian dan berupa volume dalam bentuk m^3 pada volume pekerjaan beton.

1.3 Penutup

Dari paparan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Persiapkan Diri untuk Unggul menghadapi Society5.0
2. Menjadi UNGGUL dg menjadi SPESIALIS (sesuai *PASSION*:)
3. UNGGUL dengan BIM
4. *Stay UPDATE* dan KUASAI IT, *trend* kedepan berbasis *Internet of Things* (IoT) seperti Robotics dan Otomasi (KonstruksiDigital)
5. BIM dengan scope yang luas dapat dipilih beberapa sebagai kekuatan program studi.

Referensi

- [1] Rizaldi, R. I., Farni, I., Mulyani, R. (2016). *Kajian Potensi Bangunan Building Information Modeling (BIM) Dalam Merencanakan Gedung di Indonesia*. Padang: Bung Hatta University.
- [2] Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 241-252
- [3] Budi Suanda, 2020, BIM, , BIM workflow, Building Information Modelling, Definisi BIM, Model bangunan dengan BIM, Pemodelan BIM, Penerapan BIM, Penjelasan BIM, Project Management, Sejarah BIM.
- [4] Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J. Y., & Leung, B. H. (2008). Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects. *First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I)*. Karachi, Pakistan.
- [5] Raymond Jonathan, 2020, Perbandingan Perhitungan Volume Pekerjaan Dak Beton Bertulang Antara Metode *Building Information Modeling* Dengan Konvensional
- [6] Dinaspupr, 2020, Pengertian BIM (Building Information Modelling)
- [7] Liu, Z.-Q., Zhang, F., & Zhang, L. (2016). The building information modeling and its use for data transformation in the structural design stage. *Journal of Applied Science and Engineering*.
- [8] P., C. A., Adhi, R. P., Hidayat, A., & Nugroho, H. (2016). Perbandingan Efisiensi Waktu, Biaya, Dan Sumber Daya Manusia Antara Metode Building Information Modelling (Bim) Dan Konvensional (Studi Kasus: Perencanaan Gedung 20 Lantai) . *Jurnal Karya Teknik Sipil*.
- [9] Abanda, F. H., Kamsu-Foguem, B., & Tah, J. H. (2015). Towards an Intelligent Ontology Construction Cost Estimation System: Using BIM and New Rules of Measurement Techniques. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*.

- [10] Rezza Munawir, ST, MT, MMG, 2020, Construction Society 5.0 with Building Information Modelling, Kementerian PUPRR,
- [11] Rizaldi, R. I., Farni, I., Mulyani, R. (2016). Kajian Potensi Bangunan Building Information Modeling (BIM) Dalam Merencanakan Gedung di Indonesia. Padang: Bung Hatta University
- [12] Nawari O, Nawari, Kuenstle, Michael Noor, 2015, Building Information Modeling Framework for Structural, CRC Press, Boca Raton.

Profil Penulis

Dr. Ir. Basuki Anondho, M.T.



S1 Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia

S2 Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia

S3 Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia

Bidang keahlian: Manajemen Proyek

Sertifikat keahlian: AVS (Associate Value Specialist International)

Dosen tetap di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara.

Ir. Sunarjo Leman, M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1999 dalam bidang Struktur dan Konstruksi dengan jabatan akademik dosen Lektor. Bidang yang ditekuni Finite Element Method Modeling, Programing Computer di Program Studi Teknik Sipil, bidang lain seni fotografi sejak tahun 1980 dan mengajar di Jurusan Arsitektur, Fakultas Ilmu Komunikasi, Fakultas Seni Rupa dan

Desain Universitas Tarumanagara, Jakarta. Peminatan fotografi dibidang Lanskap, Arsitektur, Alam, Makro, Produk dan Fashion

Afriska Suwarni, S.T.

Raymond Jonathan, S.T.

BAB 19

Manajemen Komunikasi Proyek Konstruksi Gedung Tinggi

Hendrik Sulistio

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Manajemen Komunikasi pada suatu proyek konstruksi sangatlah memegang peranan penting, baik melalui verbal maupun non verbal. Komunikasi kunci keberhasilan proyek. Teori dan hasil penelitian terdahulu dapat menjadi pelajaran bagi proyek kedepannya. Tujuan penulisan adalah melihat beberapa literatur, penelitian terdahulu dan memberi gambaran tentang manajemen komunikasi pada Gedung bertingkat tinggi. Komunikasi faktor terpenting bagi *stakeholder*. Perencanaan komunikasi bermanfaat agar informasi tepat waktu, dapat diakses, mudah diserap, dicerna, dan disajikan sehingga memitigasi ketidakpastian informasi. Sajian visual dengan grafik dapat membantu pemangku kepentingan menyerap dan memahami informasi. Komunikasi dengan Darbor, Radiator Informasi, Kontrol visual dibutuhkan pada Gedung bertingkat tinggi.

Kata kunci: Komunikasi, Proyek manager, stakeholder

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Definisi Komunikasi

Komunikasi adalah upaya dua arah, yang melibatkan transmisi informasi dan pemahaman dari satu orang atau kelompok ke orang lain melalui penggunaan simbol-simbol umum. Simbol-simbol umum ini dapat berupa verbal, atau non verbal, tertulis, grafik, atau multimedia.

Definisi Manajemen Komunikasi Proyek

Manajemen komunikasi proyek adalah kemampuan seorang proyek manager yang bertujuan agar semua informasi mengenai proyek akan tersampai tepat pada waktunya, dibangun dengan presisi dengan ketelitian yang tinggi, dikolektif, disebarkan, diarsipkan dan dimanagemen dengan sempurna dengan berpedoman pada *zero defect*, mengingat setiap proyek adalah unik, kejadiannya sekali saja dan tidak terulang pada proyek berikutnya [3] PMBOK,2021 dan [2] PMBOK,2017.

Sebagai seorang Proyek manager yang baik dan sukses harus memiliki kemampuan berkomunikasi dengan apalagi pada sebuah proyek Gedung bertingkat tinggi. Tujuan agar semua informasi mengenai proyek akan tersampai tepat pada waktunya, dibangun dengan presisi dengan ketelitian yang tinggi, dikolektif, disebarkan, diarsipkan dan dimanagemen dengan sempurna dengan berpedoman pada *zero defect*. Bangunan tinggi tidak diperboleh ada kesalahan yang yang kecil apalagi fatal atau terlalu banyak toleransi karena *end user* penggunaanya dan pengunjung yang banyak sehingga dapat menyebabkan kecelakaan yang fatal yang mengakibatkan korban jiwa.

Beberapa Tujuan dari komunikasi proyek konstruksi adalah Memahami proses manajemen konstruksi itu sendiri berdasarkan peraturan yang ada, memahami manfaat berkomunikasi yang baik dalam proyek konstruksi dan mempelajari semua dokumen proyek yang ada dalam kontrak dan peraturan terkait pada proyek konstruksi. Mengapa komunikasi menjadi sangat penting apalagi pada proyek bangunan tinggi, karena komunikasi yang buruk menyebabkan kegagalan pada

proyek konstruksi pada Gedung tinggi dimana memerlukan ketepatan dan presisi yang baik. Banyak proyek manager yang belum mengerti berkomunikasi pada proyek konstruksi bangunan tinggi dengan baik, terutama pada negeri kita yang amat erat kaitannya dengan kultur dan kearifan lokal.

Definisi Bangunan Tinggi

Definisi bangunan gedung menurut [11] UU No. 28 tahun 2002, tentang Bangunan Gedung pasal 1, adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus.

Berdasarkan pasal 1 diatas, fungsi bangunan gedung dibedakan menjadi beberapa macam. Penggolongan bangunan gedung menurut fungsinya diatur dalam [11] UU No. 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung pasal 5 yaitu :

- (1) Fungsi bangunan gedung meliputi fungsi hunian, keagamaan, usaha, sosial dan budaya, serta fungsi khusus.
- (2) Bangunan gedung fungsi hunian sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) meliputi bangunan untuk rumah tinggal tunggal, rumah tinggal deret, rumah susun, dan rumah tinggal sementara.
- (3) Bangunan gedung fungsi usaha sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) meliputi bangunan gedung untuk perkantoran, perdagangan, perindustrian, perhotelan, wisata dan rekreasi, terminal, dan penyimpanan.
- (4) Bangunan gedung fungsi sosial dan budaya sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) meliputi bangunan gedung untuk pendidikan, kebudayaan, pelayanan kesehatan, laboratorium, dan pelayanan umum.
- (5) Bangunan gedung selain digolongkan berdasarkan fungsi bangunannya, juga digolongkan berdasarkan ketinggiannya. bangunan gedung berdasarkan ketinggiannya dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu :

Klasifikasi bangunan gedung berdasarkan ketinggian :

1. Bangunan gedung bertingkat tinggi dengan jumlah lantai lebih dari 8 lantai
2. Bangunan gedung bertingkat sedang dengan jumlah lantai 5 - 8 lantai
3. Bangunan gedung bertingkat rendah dengan jumlah lantai 1 - 4 lantai.

Karakteristik gedung bertingkat menurut [8] Mulyono,2000 dikelompokkan menjadi :

1. Gedung bertingkat rendah (Low Rise Building) Gedung bertingkat rendah, dengan jumlah lantai 1 – 3 lantai, tingginya $< 10\text{m}$
2. Gedung bertingkat sedang (Medium Rise Building) Bangunan bertingkat sedang, dengan jumlah lantai 3 – 6 lantai, tingginya $< 20\text{ m}$
3. Gedung bertingkat tinggi (High Rise Building) Bangunan bertingkat tinggi, dengan jumlah lantai > 6 lantai, tingginya $> 20\text{ m}$

Melihat definisi dan persyaratan diatas maka untuk suksesnya pembangunan bangunan tinggi tidaklah mudah perlu suatu tim pengelola proyek yang kompak dan mempunyai komunikasi yang baik dan lancar.

1.2 Isi/Pembahasan

Model Komunikasi

Keberhasilan proyek tergantung pada komunikasi yang efektif. Model komunikasi menunjukkan konsep yang terkait dengan bagaimana kerangka acuan pengirim dan penerima memengaruhi efektivitas komunikasi, bagaimana media komunikasi memengaruhi efektivitas komunikasi, dan jenis keputusan antara harapan pengguna akhir dan kenyataan. Prevalensi tim proyek multikultural dan pemangku kepentingan yang tersebar, model ini memberikan cara untuk melihat gaya dan metode komunikasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas komunikasi. Ada banyak model komunikasi yang menunjukkan berbagai aspek komunikasi seperti [3] PMBOK,2021 :

a. Model Komunikasi Lintas Budaya

Model komunikasi yang dikembangkan oleh Browaeys dan Price menggabungkan gagasan bahwa pesan itu sendiri dan bagaimana pesan itu ditransmisikan dipengaruhi oleh pengetahuan, pengalaman, bahasa, pemikiran, dan gaya komunikasi pengirim saat ini, serta stereotip dan hubungan dengan penerima. Demikian pula, pengetahuan penerima, pengalaman, bahasa, pemikiran, dan gaya komunikasi, serta stereotip dan hubungan dengan pengirim akan mempengaruhi bagaimana pesan diinterpretasikan.

b. Model Efektivitas Saluran Komunikasi

Alistair Cockburn mengembangkan model yang menggambarkan saluran komunikasi di sepanjang sumbu efektivitas dan sempurna. Seperti yang didefinisikan oleh Richard Daft dan Robert Lengel, kekayaan berkaitan dengan jumlah pembelajaran yang dapat ditransmisikan melalui media. Kesempurnaan media komunikasi adalah fungsi dari karakteristik, termasuk kemampuan untuk :

- Menangani beberapa isyarat informasi secara bersamaan.
- Memfasilitasi umpan balik yang cepat.
- Tetapkan fokus secara personal.
- Menggunakan bahasa natural.

Kesempurnaan dalam komunikasi memungkinkan spektrum informasi yang luas untuk disampaikan dengan cepat. Situasi yang memerlukan informasi yang kompleks, rumit, dan personal dalam mendapat manfaat dari saluran komunikasi yang lebih sempurna, seperti komunikasi tatap muka. Situasi yang memberikan informasi faktual sederhana dapat menggunakan saluran komunikasi yang sederhana seperti catatan atau pesan teks [3] PMBOK,2021.

c. Model Teluk Eksekusi dan Evaluasi

Donald Norman menggambarkan jurang eksekusi sebagai sejauh mana suatu item sesuai dengan apa yang diharapkan seseorang untuk diterapkan. Kata lainnya adalah, perbedaan antara niat pengguna dan item apa yang memungkinkan seseorang untuk menerapkan atau mendukung dalam mempraktekannya. Misalnya Sebuah mobil memiliki kemampuan untuk parkir sendiri menjadi aneh akan terjadi jurang eksekusi jika pengemudi yang diharapkan untuk menekan tombol berlabel "parkir" yang dimiliki mobil parkir tersebut, dan ternyata mobil tidak parkir sendiri [3] PMBOK,2021.

Jurang evaluasi adalah sejauh mana suatu indikator mendukung pengguna dalam menemukan bagaimana menginterpretasikan indikator tersebut dan berinteraksi dengannya secara efektif. Contoh parkir yang sama akan memperlihatkan jurang evaluasi jika kontrol tidak dirancang sedemikian rupa sehingga pengemudi dapat dengan mudah menentukan cara memulai fungsi parkir mandiri [3] PMBOK,2021.

Proses Komunikasi

Pada awalnya seorang proyek manager memberikan gagasan kepada para staf proyek mengenai visi misi dan tujuan proyek dan kemudian menularkan cara menyampaikan komunikasi dari pihak pemberi pesan maupun penerima, baik secara hirarki maupun direct. Kemudian para peserta diajak dialog tentang metode komunikasi tersebut.

Metode penularan cara berkomunikasi bisa menggunakan Bahasa sederhana, permainan, pemamfaat multi media, peluit, alaram, lampu, *handi talky*, *Hand phone*, Bendera, selebaran dan umbul-umbul dan lain-lain.

Apakah cara ini bisa efektif, tentu belum tentu semua peserta dapat mengikuti proses dengan baik. Ada mengerti 100% ada yg mengerti 50% dan lainnya

beragam. Banyak faktor menyebabkan keberhasilan ini antara lain faktor lingkungan, faktor kemampuan proyek manager dan faktor dari staf proyek itu sendiri dari terdiri dari berbagai latar belakang.ada beberapa cara berkomunikasi sebagai contoh alat komunikasi dan dari table terlihat yang mana lebih efektif dari pada yang lainnya baik tertulis maupun ucapan. [5] Hapsari et al.,2019. Dari penelitian [6] Simanjuntak dan Ndraha, 2019. Kajian Variabel ditemukan faktor-faktor yang penting dalam pemahaman tentang penerapan manajemen komunikasi yang baik untuk meningkatkan manajemen komunikasi, akan menghasilkan manajemen proyek yang baik, sehingga kinerja proyek konstruksi akan meningkat. senada dengan hal diatas maka [7] Haryanto, Y, 2019 juga meneliti betapa pentingnya manajemen komunikasi pada sisi berbeda. Dan ketika kemampuan berkomunikasi menjadi budaya organisasi dan keterampilan yang terus disempurnakan, tujuan organisasi akan lebih terbuka untuk dicapai, [10] Sahputra, 2020.

Tujuan Komunikasi

Memahami arti dan maksud penyampai pesan ke penerima pesan, memahami dengan siapa lawan komunikasinya dalam rangka memahami orang lain, lebih menerima masukan dan mempunyai kreativitas yang kuat.menghasilkan kesuksesan dalam berkomunikasi diproyek konstruksi Gedung bangunan tinggi yang begitu rumit dan kompleks. Proyek sukses dan mencapai tujuan dengan Batasan biaya waktu dan mutu dengan baik.[1] PMBOK 2004. Pada Tabel 1. Terlihat Gambaran Indentifikasi Tujuan komunikasi dan beberapa metode dan alat komunikasi.

Tabel 19.1 Indentifikasi Tujuan komunikasi terhadap alat komunikasi

Tujuan Komunikasi	Metodel/Alat Komunikasi	
	Ucapan	Menulis
	Level of efektivitas	
Gambaran Umum (Gambaran Umum, Latar Belakang, dll)	Medium High	Medium
Diperlukan Tindakan Segera	Medium High	Low

Tujuan Komunikasi	Metodel/Alat Komunikasi		
	Ucapan	Menulis	
Future Action Required	Low Medium		High
Diperlukan Tindakan di Masa Depan	Low	Medium	High
Laporan Kemajuan ke Supervisor	Low	Medium	High
Kampanye Kesadaran	Low	Low	High
Pujian untuk Kualitas Kerja	Low	Low	High
Tegur Anggota Tim	High	Low	Medium
Menyelesaikan Perselisihan	High	Low	Medium

Komunikasi Verbal lebih efektif dan paling digunakan pada pada lingkungan proyek konstruksi, Ada beberapa pendapat masalah antara lain adalah Pertukaran informasi tepat waktu, umpan balik yang cepat, sintesis pesan segera, dan Penutupan dengan tepat waktu. Namun ada beberapa kelemahan komunikasi verbal terutama dalam proyek Gedung bertingkat tinggi yang kompleks di mana jargon teknis sulit dipahami oleh pihak luar dan personel nonteknis, disamping it ada banyak lantai yang harus ditangani.

Komunikasi non verbal , Apa yang termasuk dalam Komunikasi Nonverbal

1. Gestur (isyarat)
2. Nada Suara
3. Ekspresi Wajah dan
4. Bahasa Tubuh

Komunikasi nonverbal penting karena faktor-faktornya umumnya lebih berpengaruh terhadap dampak total suatu pesan daripada faktor verbal.

Total Dampak Pesan = Kata (7%) + Nada Vokal (38%) + Ekspresi Wajah (**55%**)

Jikalau kita melihat jumlah diatas maka komunikasi non verbal dapat mencapai **55%** suatu person yang tinggi efektifitasnya dapat diterima oleh penerima pesan. Hal ini dapat diandalkan dalam memecahkan kebutuhan berkomunikasi jarak jauh atau dalam suatu kebisingan. Sinyal sinyal yang dikirimkan dapat ditangkap paling tidak 55%. Ditambah dengan alat bantu lainnya. Berikut contoh komunikasi non

verbal dan interpretasinya penerima pesan (lihat Tabel 2).

Tabel 19.2 Hubungan antara Body language dengan interpretation.

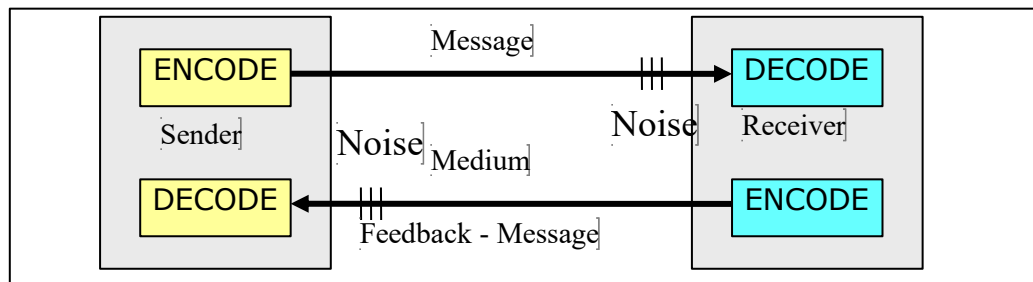
Body Language	Interpretation
Pointing (menunjuk)	Aggressiveeeness
Sighing (tarik nafas panjang)	Impatience, Boredom, or Grief (tdk sabar)
Scratching Head or Face (garuk2 kepala)	Uncertainty or Risk
Concealing Mouth with Hands (menutup mulut dgn tangan)	Uncertainty about ward- or Dishonesty
Bending Forward (membungkukkan)	Interest
Learning Back with Hands behind head (bersandar dgn tangan di kepala)	Superiority or Confidence
Clenched Fists or Crossed Arms (kepal tangan bersilang)	Defensive attitude (sikap bertahan)
Rubbing Hands (gosok2 tangan)	Expectation

Proses komunikasi terdiri dari pengirim pesan disebut *sender* yang ingin menyampaikan pesan kepada penerima yang kemudian disebut *reciver*. Pesan it sendiri dinamakan *message*. Kadang kala pesan harus dirubah oleh pengirim dalam bentuk lain, bisa berupa audio atau visual atau keduanya yaitu audio visual, kemudian dikirim dapat berupa *symbols*. Pembuatan *symbols* disebut sandi atau *encoding*. Simbol harus disampaikan melalui sebuah alat channel. Sedangkan pihak penerima bukaan sandi it disebut *decoding* [4] Evirianto,2005.

Encoding adalah proses membuat gagasan menjadi pesan melalui *symbol* yang telah disepakati. *Symbol* yang digunakan bermacam-macam dan telah disepakati pada pertemuan pendahuluan yang membicarakan komunikasi. Komunikasi yang efektif adalah apabila pemilihan pesan yang tepat mengenai *symbol* dan bentuk pesan. Sehingga mengurangi kesalahan komunikasi. Seperti dijelaskan pada gambar dibawah.

Decoding adalah proses mengartikan *Symbol*. Dalam membuka sandi, *reciver* berusaha mengartikan dan memahami, tetapi tidak semua *symbol* dapat dipahami dan dimengerti oleh *reciver*, tentu ada beberapa halangan seperti dijelaskan pada gambar dibawah.

Channel adalah alat digunakan untuk berkomunikasi, ketepatan dalam memilih jenis saluran dapat diukur dengan berbagai alat ukur yaitu : cepat diterima, tanpa halangan, ongkos pengiriman rendah. Sistem komunikasi dasar dapat dilihat pada Gambar 19.1, dibawah ini.



Gambar 19.1 Komunikasi -Basic Model [1] PMBOK, 2004

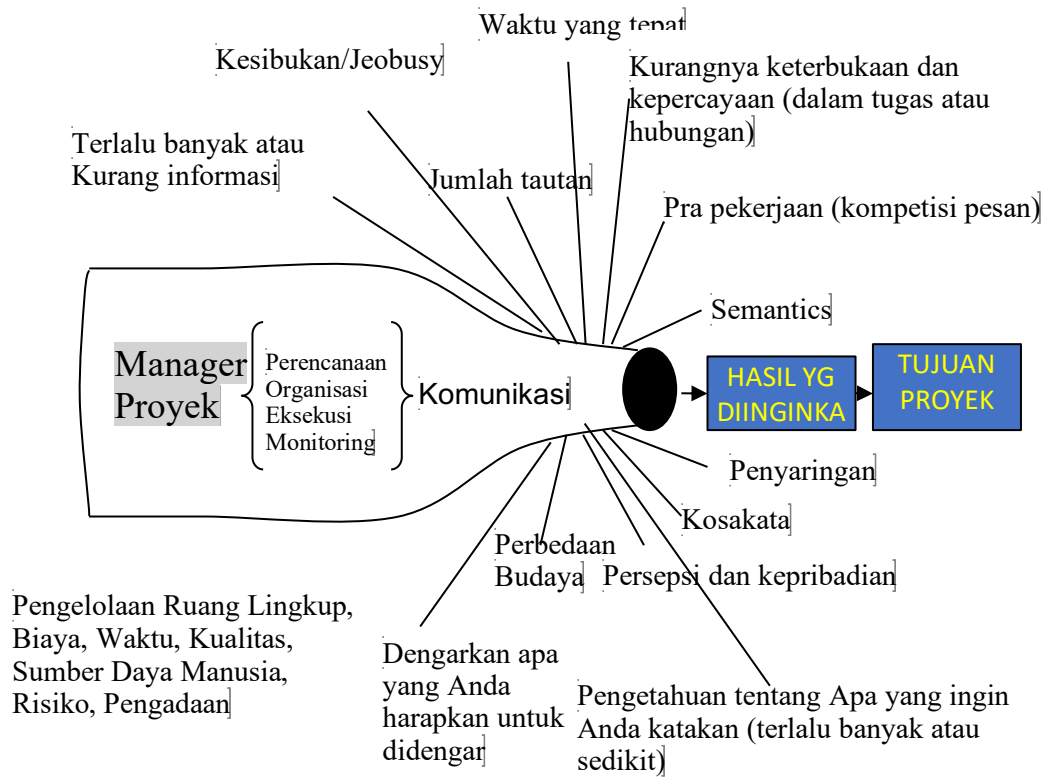
Kegagalan Pesan

Kegagalan dalam menyampaikan pesan dapat terjadi karena banyak sekali kendala dalam penyampaian. Seperti misalnya noise dan gangguan lainnya seperti *Bottlenecks* atau leher botol. Hal ini dapat menjadi hambatan, sehingga ada upaya memecahkan kebutuhan yang terjadi sehingga leher botol dapat Kembali sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan, ada beberapa kendala sehingga terjadi *Bottlenecks* antara lain adalah : Terlalu banyak informasi yang menyesatkan, atau terlalu minim informasi, kesibukan para pihak sehingga tidak sempat menyampaikan

pesan, Terlalu banyak yang di hendel sehingga jumlah tautan begitu banyak akhirnya ada yang terlupakan, waktu yang kurang tepat menyampaikan pesan, Kurang keterbukaan dan kepercayaan dalam memberi tugas atau hubungan kurang baik, Pra pekerjaan atau terlalu berkomputisi masalah pesan, sematik, terlau menyaring atau kurang tersaring pesan akan disampaikan, Kosakata yang dipilih salah, persepsi dan kepribadian yang berbeda, Pengetahuan tentang apa yang ingin anda katakana terlalu banyak atau terlalu sedikit kurang efektif, perbedaan budaya, Dengarka apa yang anda harapkan untuk didengar, Pengelolaan ruang lingkup, Biaya, waktu kualitas sumber daya risiko dan pengadaan itu semua dapat mencekik sehingga menjadi *Bottlenecks* seperti Gambar 19.2 dibawah ini [1] PMBOK, 2004.

Urutan Proses komunikasi ada 4 antara lain :

- Perencanaan komunikasi
Menentukan informasi dan komunikasi kebutuhan para pemangku kepentingan
- Distribusi Informasi
Membuat informasi yang diperlukan tersedia untuk para pemangku kepentingan proyek tepat pada waktunya
- Pelaporan Kinerja
Pengumpulan dan penyebaran informasi kinerja, termasuk laporan, proses pengukuran, dan perencanaan
- Mengelola *stakeholders*
Mengelola komunikasi untuk memenuhi kebutuhan dan harapan dari *stakeholder* proyek dan untuk menyelesaikan masalah.



Gambar 19.2 *Bottlenecks* dalam Komunikasi

Perencanaan Komunikasi

1. Merupakan proses yang sangat penting dalam proyek, mengingat seringnya kegagalan proyek terkait dengan kegagalan komunikasi
2. Membuat analisis *stakeholder* untuk komunikasi proyek juga membantu dalam perencanaan komunikasi.

Isi rencana manajemen komunikasi

1. Kebutuhan komunikasi stakeholder

2. Informasi yang akan dikomunikasikan termasuk format, konten dan tingkat rincian
3. Orang-orang yang terlibat
4. Metode dan teknologi yang digunakan dalam penyampaian informasi
5. Jadwal penyampaian informasi
6. Metode untuk memperoleh informasi
7. Metode penyampaian komunikasi terkait progress kerja
8. Metode penyelesaian masalah
9. Daftar istilah/terminologi

Distribusi Informasi

Proses distribusi informasi, diperlukan cara yang tepat, orang yang tepat, waktu yang tepat dan format yang berguna, termasuk dalam menggunakan teknologi untuk meningkatkan distribusi informasi serta metode formal maupun informal.

Beberapa hal penting dalam melakukan distribusi informasi :

1. Penggunaan teknologi
2. Cara formal atau informal
3. Penanganan informasi yang sangat penting agar dapat didistribusikan dengan efektif dan tepat waktu
4. Memilih media yang cocok untuk berkomunikasi
5. Pemahaman akan teknik komunikasi individual atau berkelompok
6. Teknik menyampaikan berita “buruk”
7. Pengaturan jumlah jalur komunikasi

Pelaporan Kinerja

- Merupakan mekanisme penyampaian informasi terkait hasil kerja yang sudah dicapai, termasuk didalamnya adalah penggunaan sumber daya (manusia, anggaran, waktu) untuk mencapai tujuan proyek

- Yang termasuk dalam pelaporan kinerja antara lain :

1. Laporan status

menjelaskan di mana proyek berdiri di titik tertentu dalam waktu

2. Laporan kemajuan

menjelaskan apa yang telah dilakukan tim proyek selama kurun waktu tertentu

3. Perkiraan

memperkirakan status dan kemajuan proyek masa depan berdasarkan informasi terakhir dan trend

Mengelola *Stakeholder*

- Manajer Proyek harus memahami dan bekerja dengan berbagai pihak yang berkepentingan.
- Perlu merancang suatu cara untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah.
- Dua alat penting termasuk :
 - Matriks manajemen harapan
 - Catatan isu

1.3 Penutup

Perencanaan komunikasi tumpang tindih dengan identifikasi, analisis, prioritas, dan keterlibatan pemangku kepentingan seperti yang dijelaskan dalam Domain Kinerja Pemangku Kepentingan. Komunikasi adalah faktor terpenting dalam melibatkan pemangku kepentingan secara efektif. Perencanaan komunikasi untuk proyek memerlukan pertimbangan sebagai berikut:

- Siapa yang membutuhkan informasi?
- Informasi apa yang dibutuhkan setiap pemangku kepentingan?
- Mengapa informasi harus dibagikan dengan pemangku kepentingan?

- Apa cara terbaik untuk memberikan informasi?
- Kapan dan seberapa sering informasi dibutuhkan?
- Siapa yang memiliki informasi yang dibutuhkan?

Mungkin ada kategori informasi yang berbeda, seperti internal dan eksternal, sensitif dan publik, atau umum dan rinci. Menganalisis pemangku kepentingan, kebutuhan informasi, dan kategori informasi memberikan dasar untuk menetapkan proses komunikasi dan rencana proyek. [3] PMBOK,2021.

a. Komunikasi dan keterlibatan proyek konstruksi

Sebagian besar pekerjaan proyek dikaitkan dengan komunikasi dan keterlibatan, terutama pekerjaan yang terkait dengan pemeliharaan anggota tim proyek dan keterlibatan pemangku kepentingan lainnya. Sebagaimana dijelaskan dalam Domain Kinerja Pemangku Kepentingan, komunikasi mencakup komunikasi formal dan informal, selain komunikasi verbal dan tertulis. Informasi dapat dikumpulkan dalam rapat, percakapan, dan dengan menarik informasi dari repositori elektronik. Setelah dikumpulkan, itu didistribusikan seperti yang ditunjukkan dalam rencana komunikasi manajemen proyek.

Setiap hari, ada permintaan ad hoc untuk informasi, presentasi, laporan, dan bentuk komunikasi lainnya. Banyaknya permintaan komunikasi ad hoc dapat menunjukkan bahwa perencanaan komunikasi tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan pemangku kepentingan. Dalam situasi ini, keterlibatan pemangku kepentingan lebih lanjut mungkin diperlukan untuk memastikan persyaratan informasi pemangku kepentingan terpenuhi.

b. Menyajikan informasi

Langkah-langkah yang dikumpulkan itu penting, tetapi apa yang dilakukan dengan langkah-langkah itu sama pentingnya. Agar informasi bermanfaat,

informasi harus tepat waktu, dapat diakses, mudah diserap dan dicerna, dan disajikan sehingga menyampaikan tingkat ketidakpastian yang terkait dengan informasi dengan benar. Tampilan visual dengan grafik dapat membantu pemangku kepentingan menyerap dan memahami informasi.

c. Dasbor

Cara umum untuk menampilkan informasi dalam jumlah besar tentang metrik adalah dasbor. Dasbor umumnya mengumpulkan informasi secara elektronik dan menghasilkan bagan yang menggambarkan status. Seringkali, dasbor menawarkan ringkasan data tingkat tinggi dan memungkinkan analisis penelusuran ke dalam kontribusi data. Gambar dibawah memberikan contoh dasbor seperti terlihat pada Gambar 19.3, dibawah ini.

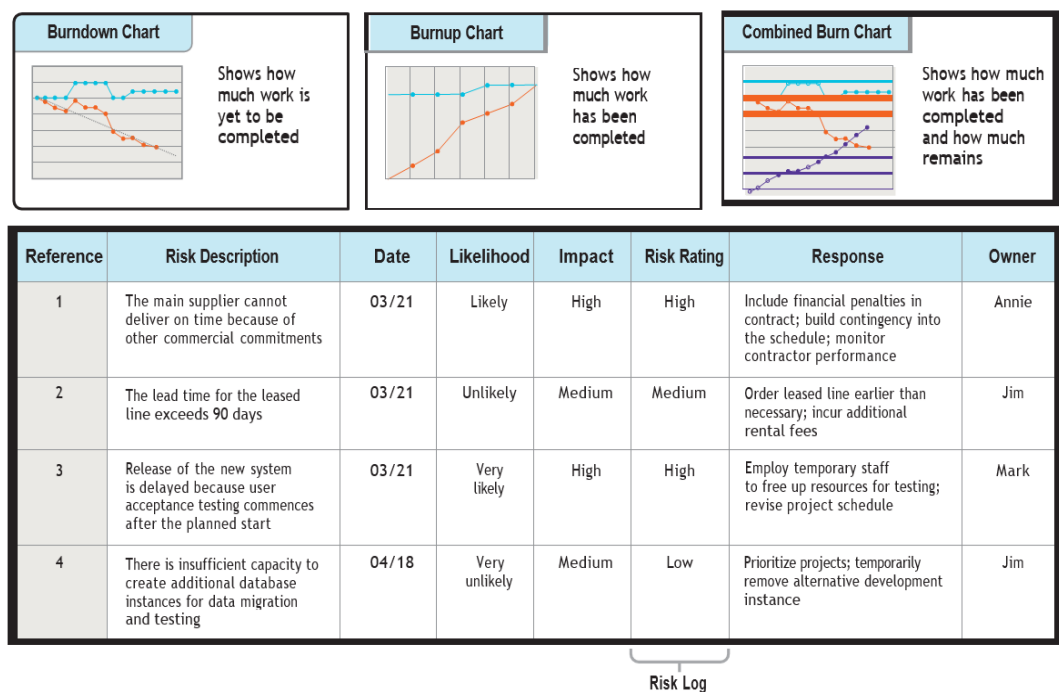
Organization Project Name					
Project Name and High-Level Description					
Exec Sponsor:		PM:			
Start Date:		End Date:		Report Period:	
Status:	Schedule	Resources	Budget		
Key Activities	Recent Accomplishments	Upcoming Key Deliverables	Status		
Activity #1			Concern		
Activity #2			On Track		
Activity #3			Issue		
<div> <div>On Track</div> <div>Complete</div> <div>Concern</div> <div>Issue</div> <div>On Hold</div> <div>Canceled</div> <div>Not Started</div> </div>					
Current Key Risks - Threats and <u>opportunities</u> ; Mitigation		Current Key Issues - Description			

Gambar 19.3 Gambar contoh Dasbor

Dasbor sering kali menyertakan informasi yang ditampilkan sebagai bagan lampu lalu lintas (juga dikenal sebagai bagan RAG di mana RAG adalah singkatan dari merah-kuning-hijau), bagan batang, bagan pai, dan bagan kontrol. Penjelasan teks dapat digunakan untuk tindakan apa pun yang berada di luar ambang batas yang ditetapkan.

d. Radiator Informasi

Radiator informasi, juga dikenal sebagai grafik terlihat besar (BVC), terlihat, tampilan fisik yang memberikan informasi ke seluruh organisasi, memungkinkan berbagi pengetahuan tepat waktu. Mereka diposting di tempat di mana orang dapat melihat informasi dengan mudah, daripada memiliki informasi di alat penjadwalan atau pelaporan. BVC harus mudah diperbarui, dan harus sering diperbarui. BVC sering "berteknologi rendah dan sentuhan tinggi" karena dikelola secara manual daripada dihasilkan secara elektronik. Gambar 19.4, menunjukkan radiator informasi yang terkait dengan pekerjaan yang diselesaikan, pekerjaan yang tersisa, dan risiko.



Gambar 19.4 Gambar Radiator informasi terkait pekerjaan sisa dan Risiko

e. Kontrol Visual

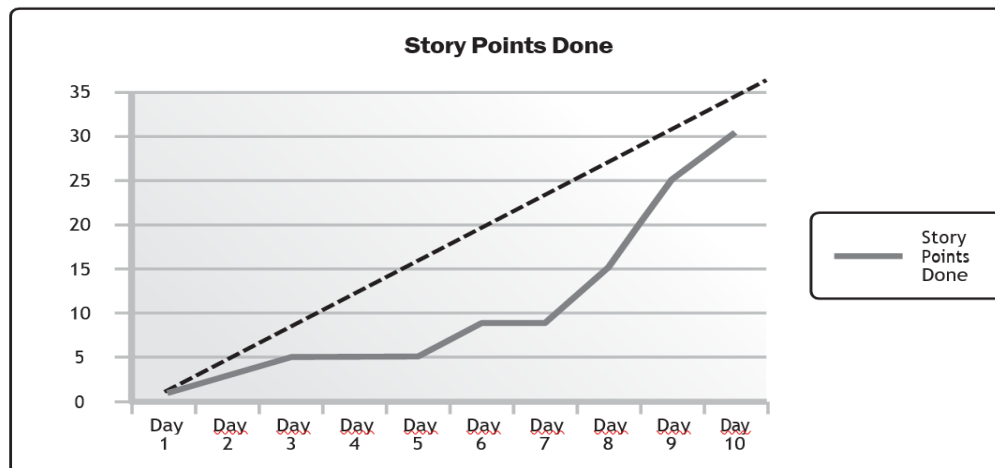
Di lingkungan ramping, radiator informasi dikenal sebagai kontrol visual. Kontrol visual menggambarkan proses untuk dengan mudah membandingkan kinerja aktual dengan kinerja yang diharapkan. Kontrol visual menunjukkan

proses menggunakan isyarat visual. Kontrol visual dapat hadir untuk semua tingkat informasi dari nilai bisnis yang dikirimkan ke tugas yang telah dimulai. Kontrol visual harus sangat terlihat bagi siapa saja untuk melihat.

Papan tugas. Papan tugas adalah representasi visual dari pekerjaan yang direncanakan yang memungkinkan setiap orang untuk melihat status tugas. Papan tugas dapat menunjukkan pekerjaan yang siap untuk dimulai (*to do*), pekerjaan yang sedang berlangsung, dan pekerjaan yang sudah selesai (lihat Gambar 19.5, dibawah ini).

Jika kolom mendekati batas pekerjaan yang sedang berlangsung, anggota tim proyek dapat "berkerumun" di sekitar pekerjaan saat ini untuk membantu mereka yang mengerjakan tugas yang memperlambat aliran.

Bagan burn, seperti bagan *burnup* atau *burndown*, dapat menunjukkan kecepatan tim proyek. *Velocity* mengukur tingkat produktivitas di mana kiriman diproduksi, divalidasi, dan diterima dalam interval yang telah ditentukan. Bagan *burnup* dapat melacak jumlah pekerjaan yang dilakukan dibandingkan dengan pekerjaan yang diharapkan yang harus dilakukan (lihat Gambar 19.6, dibawah ini).



Gambar 19.6 Bagan *Burn Down/ Burn up*

Bagan *burndown* dapat menunjukkan jumlah poin cerita yang tersisa atau jumlah eksposur risiko yang telah dikurangi. Jenis grafik lainnya. Bagan visual juga dapat menyertakan informasi seperti daftar hambatan yang menunjukkan deskripsi hambatan untuk menyelesaikan pekerjaan, tingkat keparahan, dan tindakan yang diambil untuk mengatasi hambatan.

Referensi

- [1] Project Management Body OF Knowledge Third Edition, Proyek Management Institute, 2004
- [2] Project Management Body OF Knowledge Six Edition, Proyek Management Institute, 2017
- [3] Project Management Body OF Knowledge Seven Edition, Proyek Management Institute, 2021
- [4] Ervianto, W.I., 2005. Manajemen proyek konstruksi. *Andi, Yogyakarta*.
- [5] Hapsari, W.P., Huda, M. and Rini, T.S., 2019. Pengaruh manajemen komunikasi terhadap kinerja proyek konstruksi (studi kasus di kota Surabaya). *Axial: Jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, 6 (3), pp.207-214.
- [6] Simanjuntak, M.R.A. and Ndraha, B., 2019. Kajian Variabel Manajemen Komunikasi pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Bangunan Gedung Tinggi (Studi Kasus di Perusahaan Konstruksi PT. BS-Jakarta). Seminar Nasional Teknik Sipil IX 2019.
- [7] Haryanto, Y., 2019. *Faktor Yang Mempengaruhi Keberhasilan Manajemen Komunikasi Pada Proyek Rancang Bangun Di Kontraktor BUMN* (Doctoral dissertation, Podomoro University).
- [8] Mulyono, T., 2021. *BAHAN BANGUNAN DAN KONSTRUKSI*. Stiletto Book.
- [9] Wesley, J., 2017. Pengaruh kualitas manajemen komunikasi antara kontraktor dan konsultan terhadap keberhasilan proyek jalan di lingkungan Kota Baru Parahyangan.
- [10] Sahputra, D., 2020. Manajemen komunikasi suatu pendekatan komunikasi. *JURNAL SIMBOLIKA: Research and Learning in Communication Study*, 6(2), pp.152-162.
- [11] UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 28 TAHUN 2002 TENTANG BANGUNAN GEDUNG.

Profil Penulis

Dr. Ir. Hendrik Sulistio, M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tujuh Belas Agustus 1945 Samarinda bekerja sama dengan Universitas Brawijaya Malang, Magister Teknik Sipil dari Universitas Tujuh Belas Agustus 1945 Surabaya jurusan Management Konstruksi, dan lulus Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang Jurusan Management Konstruksi. Mendirikan Konsultan Teknik PT. Struktur Konsultan dengan Jabatan sebagai Direktur sejak tahun 1993 sampai dengan sekarang. Kemudian Mendirikan Perusahaan Kontraktor CV. Mega Sipil Konsruksi pada tahun 2000 sampai sekarang. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1993 dalam bidang Manajemen Rekayasa Konstruksi dengan jabatan akademik dosen pada tahun 2012 mengajukan Guru besar melalui kopertis XI, dan masih dalam perjuangan sampai sekarang, pada kopertis III melalui Sijali. Menjadi Wakil Dekan 1 pada Fakultas Teknik pada bidang Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda sejak tahun 2002-2004, Menjadi Sekretaris Lembaga Penelitian Universitas 1945 Samarinda sejak tahun 2006-2010, Menjadi Dekan Fakultas Teknik dari tahun 2013-2015, Menjadi Staf Ahli Dewan Riset daerah Kalimantan Timur 2008-2018 ketua Bidang Infrastruktur, Pengurus Inkindo Bidang Luar Negeri dan Bidang Koordinator Pekerjaan kearian tahun 2000-2010. Saat ini Menjadi Dosen Tetap Program Studi Pasca Sarjana Doktor Teknik Sipil sejak tahun 2017 sampai dengan sekarang. Ketertarikan Penulis banyak menulis tentang Management Konstruksi, sesuai dengan bidang studi. Kemudian mendapat sertifikat keahlian ahli madya dan utama pada berbagai keahlian yaitu ahli jembatan, ahli jalan, ahli Gedung, ahli air, ahli management konstruksi, dan ahli K3L, sampai dengan tahun 2018.

BAB 20

Sumberdaya Manusia dan Organisasi Dalam Pembangunan Superblok

Wahyu Indra Sakti

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Superblok adalah solusi untuk kota yang terus tumbuh, konsep pembangunan dengan menata ruang dan memaksimalkan fungsi lahan. Bangunan gedung tinggi ada area superblok dibuat jadi beberapa fungsi, seperti pemukiman, lahan perdagangan, pusat perbelanjaan, rumah sakit, pendidikan, bahkan hingga tempat rekreasi. Proyek konstruksi superblok, pembangunan beberapa gedung adalah serangkaian aktivitas kompleks yang melibatkan banyak sumberdaya manusia. Melibatkan berbagai organisasi, pemilik, desainer, beberapa konsultan konsultan, kontraktor serta pengawas, dan masing-masing punya budaya berbeda. Aktivitas proyek akan berjalan baik apabila ada manajemen baik yang mengelola sumberdaya manusia dan organisasi yang tertata efektif. Kedua hal ini berpadu sebagai manajemen proyek konstruksi yang akan mengawal dan mengendalikan proyek dari tahap awal, desain sampai selesai, sesuai target waktu, biaya dan mutu. Sukses proyek superblok 57th promenade, ditentukan faktor sumberdaya manusia dalam kerangka organisasi dengan faktor yang paling berpengaruh yaitu strategi organisasi, teknologi, lingkungan kerja dan skala organisasi.

Kata Kunci: Sdm, Organisasi, Proyek Konstruksi, Superblok.

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Kota akan berkembang sejalan dengan pertumbuhan ekonomi, penambahan penduduk dan semakin beragamnya kegiatan, sementara untuk melayani semua pertumbuhan itu lahan perkotaan tidak pernah bertambah, maka yang terjadi area sub urban perkotaan meluas, atau pemanfaatan lahan dengan cara lebih efisien dan efektif.

Meningkatnya pendapatan seiring dengan kesadaran membina keluarga yang baik, maka kebutuhan untuk tempat tinggal yang nyaman dan dekat dengan tempat kerja menjadi salah satu tuntutan bagi sebagian warga kota. Para pengembang menyadari bahwa ada permintaan pasar akan tempat tinggal, yang dapat memberikan kedekatan antara tempat tinggal, perkantoran dan pusat perbelanjaan, bahkan jika memungkinkan untuk fungsi rekreasi, pendidikan dan rumah sakit.

Pembangunan superblok dan bangunan multi fungsi (*mixed-used*) adalah salah satu solusi, suatu konsep penataan ruang di perkotaan yang memaksimalkan fungsi lahan. Di lahan yang terbilang cukup terbatas tersebut, dibuat beberapa fungsi seperti fungsi permukiman, fungsi perdagangan, pendidikan dan juga rekreasi. Tinggal di sebuah superblok serta bangunan multi fungsi membuat para penghuni dapat memenuhi kebutuhan hidupnya di satu kawasan kecil, membuat tingkat mobilisasi ke tempat yang jauh dapat berkurang jauh. Hal ini membuat kualitas hidup individu dan keluarga jadi lebih baik, efisien, dan tentu saja hemat waktu, uang, dan energi.

Konsekuensinya dari pembangunan superblok dan bangunan multi fungsi maka dibutuhkan pembangunan gedung-gedung secara vertical, gedung tinggi dan jangkung. Pembangunan ini merupakan sebuah keharusan bagi kawasan pusat kota yang lahannya makin terbatas.

Proyek konstruksi, pembangunan beberapa gedung jangkung dan fasilitasnya, adalah peristiwa kolaboratif yang sangat kompleks yang melibatkan banyak orang. Makin besar volume satu proyek konstruksi dan makin besar biaya yang dibutuhkan maka perlu sumberdaya manusia yang kompeten dengan organisasi yang makin rumit. Dibutuhkan sumberdaya manusia yang bertugas pada

organisasi pemilik, desainer, konsultan, kontraktor dan pengawas [1]. Sumberdaya manusia, tim konstruksi sebagai sekelompok spesialis yang membawa nilai-nilai dan niat yang berbeda untuk tujuan tertentu dalam proyek konstruksi [2].

Agar aktivitas proyek dapat berjalan dengan baik, maka diperlukan manajemen, serangkaian kegiatan untuk mencapai tujuan atau sasaran yang telah ditentukan terlebih dahulu dengan menggunakan orang. Manajemen proyek konstruksi dibutuhkan karena dengan adanya manajemen proyek diharapkan proyek dapat berjalan dengan baik dan tertata rapi. Manajemen Proyek Konstruksi merupakan tata cara mengorganisasikan dan mengelola sumber penghasilan yang penting untuk menyelesaikan proyek dari awal sampai akhir. Manajemen proyek merupakan pengelolaan sumber daya manusia [3].

Perlu diingat bahwa pada setiap jenis proyek apapun dalam ukuran berapapun selalu terdapat tugas-tugas tertentu yang demikian pentingnya untuk keberhasilan operasi proyek sehingga harus dibentuk satu jabatan khusus untuk menanganinya [4]. Komunikasi juga merupakan aktivitas yang amat penting dan tak dapat dipisahkan dari kehidupan makhluk di dunia, terutama umat manusia, dan akan terus ada sampai akhir zaman. Dengan demikian, peranan komunikasi yang efektif merupakan persyaratan bagi pencapaian tujuan-tujuan organisasi [5].

Manusia merupakan faktor terpenting dalam organisasi. Tanpa manusia tidak akan ada organisasi, baik ia sebagai pemimpin maupun bukan. Demikian pula tanpa manusia tidak akan ada bisnis. Sebab dalam organisasi itulah justru manusia dengan sadar dan sengaja mempersatukan diri dalam kerjasama dan hubungan kerja untuk mencapai sasaran yang telah ditetapkan sebelumnya [6]. Kerja sama antar manusia tersebut harus terhimpun dalam satu wadah yang lazim disebut organisasi [7].

1.2 Isi/Pembahasan

Fasilitas Perkotaan

Semakin besarnya pertumbuhan penduduk seperti di metropolitan Jakarta ini, maka semakin besar pula kebutuhan masyarakatnya akan fasilitas suatu perkotaan,

agar bias menjalani kehidupan dengan baik, sehat dan nyaman. Pertumbuhan kota dan penambahan penduduk membuat lahan semakin terbatas. Karena lahan tersebut maka banyak dibangun gedung tinggi, memenuhi kebutuhan pemukiman, untuk perkantoran dan untuk komersial.

Superblock adalah gabungan gedung pemukiman dan gedung komersial yang luas yang berhubungan satu sama lain (Meriam-Webster). Kawasan superblok membantu memecahkan kemacetan kota. Kawasan superblok dan bangunan multi fungsi atau *Mixed-Use Building* dari satu atau beberapa massa bangunan tin. ggi yang terpadu dan saling berhubungan secara langsung. Gedung-gedung ini dibangun dengan peruntukan yang berbeda. Bangunan superblok multifungsi menggabungkan antara fasilitas pemukiman, fasilitas bisnis perkantoran, pertokoan dan fasilitas rekreasi seperti mall serta pusat bermain. Superblok biasanya dibangun, dimiliki dan dikelola oleh satu pengembang.

Superblok sudah umum dibangun dan digunakan untuk memecahkan masalah perkotaan [2]. Di Jakarta, sudah banyak proyek properti yang masuk kategori superblok misalnya Mega Kuningan, Central Park, Rasuna Epicentrum dan Mega Kuningan. Untuk kelas menengah sudah ada Kalibatas City, Grand Pramuka dan yang lainnya. Kawasan superblok juga membangun berbagai fasilitas publik seperti pusat pendidikan, mall, perbankan, dan rumah sakit. Fasilitas tambahan ini sebagai pelengkap yang menghubungkan pusat-pusat kegiatan utama sekaligus akan menjadi nilai tambah.

Manajemen Proyek Konstruksi

Proyek adalah aktifitas unik untuk mencapai tujuan spesifik dan hasil yang diinginkan dengan mengkoordinasi kejadian atau kegiatan dan aktivitas-aktivitas dalam kerangka waktu tertentu. Manajemen konstruksi adalah serangkaian kegiatan yang dilaksanakan oleh manager proyek agar proyek bisa terlaksana dengan baik mulai dari perencanaan, mulai dari desain sampai terwujud. Manajemen proyek konstruksi mengendalikan waktu, biaya dan kualitas [13].

Proyek merupakan serangkaian aktivitas temporer dalam usaha melakukan dan mencapai tujuan unik, sedangkan manajemen proyek adalah sekelompok alat, proses, dan sumber daya manusia yang berkompeten untuk mengerjakan aktivitas-aktivitas yang berkaitan dan berusaha untuk menggunakan sumber daya secara efektif untuk menyelesaikan proyek secara efisien dan tepat waktu [3]. Berdasarkan PMBOK *Guide Project Management Institue* (2013), definisi proyek adalah usaha temporer yang dilakukan untuk menciptakan proyek atau jasa (*service*) yang unik. Manajemen proyek adalah aplikasi dari ilmu pengetahuan, *skills*, *tools* dan teknik untuk aktivitas suatu proyek dengan maksud memenuhi atau melampaui kebutuhan *stakeholder* dan harapan dari sebuah proyek [8].

Menurut Dimiyati dan Nurjaman (2014), penerapan konsep manajemen konstruksi yang baik dimulai dari tahap perencanaan, tetapi dapat juga tahap lain sesuai dengan tujuan dan kondisi proyek tersebut [3]. Konsep MK dapat diterapkan pada tahap-tahap proyek berikut:

1. Seluruh tahapan proyek. Pengelolaan proyek dengan sistem MK, mencakup pengelolaan teknis operasional proyek, dalam bentuk masukan-masukan dan atau keputusan yang berkaitan dengan teknis operasional proyek konstruksi, yang mencakup seluruh tahapan proyek, mulai persiapan, perencanaan, perancangan, pelaksanaan dan penyerahan proyek.
2. Tim MK berperan sejak awal desain, pelelangan dan pelaksanaan proyek selesai, setelah suatu proyek dinyatakan layak (*feasible*) mulai dari tahap desain.
3. Tim MK memberikan masukan dan / atau keputusan dalam penyempurnaan desain sampai proyek selesai, apabila manajemen konstruksi dilaksanakan setelah tahap desain.
4. MK berfungsi sebagai koordinator pengelolaan pelaksanaan dan melaksanakan fungsi pengendalian atau pengawasan apabila manajemen konstruksi dilaksanakan mulai tahap pelaksanaan dengan menekankan pemisahan kontrak-kontrak pelaksanaan untuk kontraktor.

Manajemen dalam pengelolaan proyek lebih berkaitan dengan peran pimpinan proyek, baik secara prinsip maupun fungsi manajemen yang ada. Artinya, manajemen proyek ataupun pimpinan proyek dapat memberikan arahan dan kontribusi dalam mencapai tujuan yang direncanakan secara tepat, efektif, dan efisien. Dalam menjalankan pengelolaan proyek, pimpinan proyek diharapkan dapat :

1. Memahami sifat khas dan karakteristik proyek
2. Memahami rencana dan tujuan proyek yang spesifik, rawan ataupun kritis, agar dapat mengantisipasi permasalahan lebih dini dan tepat
3. Membuat perencanaan pelaksanaan proyek
4. Menentukan penggunaan peralatan berdasarkan kebutuhan dalam pelaksanaan proyek
5. Melaksanakan tindakan kendali serta perbaikan selama dibutuhkan

Sumber Daya Manusia

Pengelolaan sumber daya manusia meliputi proses perencanaan dan penggunaan sumber daya manusia dengan cara yang tepat untuk memperoleh hasil yang optimal. Dalam aspek ini seringkali pengelola proyek kurang memberi penekanan dibanding dengan pengelolaan kegiatan inti (lingkup, biaya, jadwal, dan mutu), padahal pada kenyataannya kualitas dan kuantitas sumber daya manusia yang memenuhi syarat akan menjadi faktor penentu keberhasilan suatu proyek [9].

Upaya mengembangkan sumber daya manusia dimaksudkan untuk meningkatkan keterampilan atau kemampuan manusia dalam melakukan berbagai kegiatan dalam masyarakat. Kegiatan pembinaan sumber daya manusia terkait erat dengan usaha peningkatan taraf hidup, dengan produktivitas kerja serta peningkatan kesejahteraan [10].

Profesional SDM harus memahami bagaimana menjalankan bisnis dengan

kompetensi manajemen strategis sehingga sistem sumber daya manusia dapat tersusun secara strategis yang mempengaruhi perilaku karyawan. Manajemen sumber daya manusia adalah ilmu seni mengatur hubungan dan peranan tenaga kerja agar efektif dan efisien membantu terwujudnya tujuan perusahaan, karyawan dan masyarakat.

Tugas Manajemen Sumber Daya Manusia adalah untuk mengelola unsur manusia secara baik agar diperoleh tenaga kerja yang puas akan pekerjaannya. Atas definisi diatas, tugas MSDM terdiri atas tiga fungsi yaitu berupa [7]:

1. Fungsi manajerial, yaitu berupa perencanaan, pengorganisasian, penggerak, dan pengendalian.
2. Fungsi operasional yaitu berupa pengadaan, pengembangan, kompensasi, pengintegrasian, pemeliharaan, dan pemutusan hubungan kerja.
3. Fungsi ketiga yaitu kedudukan MSDM dalam pencapaian tujuan organisasi perusahaan terpadu.

Manajemen sumber daya manusia terdiri atas serangkaian keputusan yang terintegrasi tentang hubungan ketenagakerjaan yang memengaruhi efektivitas karyawan dan organisasi. Manajemen sumber daya manusia merupakan aktivitas-aktivitas yang dilaksanakan agar sumber daya manusia di dalam organisasi dapat digunakan secara efektif guna mencapai berbagai tujuan.

Organisasi

Organisasi adalah sekumpulan orang yang bersepakat untuk berkegiatan guna mewujudkan tujuan bersama. Anggota organisasi masing-masing mendapatkan tugas dan tanggung jawab berbeda-beda, tampak dalam susunan anggota organisasi, agar mereka memiliki kejelasan tentang kegiatan-kegiatan yang akan dilakukan. Suatu organisasi juga harus diakui oleh pihak-pihak tertentu yang berwenang memberi legalitas sehingga keberadaannya tidak menjadi persoalan

bagi masyarakat. Organisasi mengatur kerja anggota, menyediakan fasilitas, memberi arah, agar tujuan tercapai. Organisasi membuat kerja efisien, sistematis, terkoordinir dan dalam satu irama [11].

Struktur Organisasi adalah pola formal mengelompokkan orang dan pekerjaan. Struktur organisasi memberikan penjelasan mengenai struktur (bentuk) organisasi, yang merupakan pengembangan dari tujuan yang ingin dicapai oleh organisasi. Bentuk organisasi dipengaruhi oleh ukuran, birokrasi, serta teknologi yang digunakan. Struktur organisasi biasanya digambarkan melalui bagan organisasi. Proses adalah aktivitas yang memberikan kehidupan bagi bagan organisasi. Komunikasi, pengambilan keputusan, dan pengembangan organisasi merupakan contoh proses dalam organisasi.

Pengelompokan dapat menyebabkan peningkatan koordinasi dan peningkatan standar akan output yang diharapkan, namun kerap kali dapat memiliki efek negative seperti komunikasi antarunit dalam suatu grup yang kerap kali menjadi bersaing sehingga mengisolasi seseorang yang dalam satu unit terhadap unit yang berbeda. Pengelompokan grup dari unit-unit atau satu unit ke dalam sebuah grup dilandaskan berdasarkan beberapa pertimbangan, berikut ini:

1. Mengelompokkan berdasarkan kompetensi yang terdiri atas pengetahuan, keterampilan dan perilaku.
2. Mengelompokkan berdasarkan fungsional, ini adalah yang paling umum dilakukan oleh setiap pemimpin dengan melakukan hal ini keterampilan yang memiliki kesamaan “rumpun” pengetahuan akan terkelompokkan secara otomatis.
3. Pengelompokkan berdasarkan proses kerja. Unit kerja dimungkinkan dikelompokkan berdasarkan proses kerja dan aktivitas yang dilakukan oleh para pekerja.
4. Pengelompokkan berdasarkan waktu dilaksanakannya pekerjaan. Unit yang berbeda untuk mengerjakan pekerjaan yang sama dengan cara yang sama namun memiliki waktu kerja yang berbeda.

5. Pengelompokkan berdasarkan hasil. Membedakan unit kerja berdasarkan produk atau servis yang dihasilkan.
6. Pengelompokkan berdasarkan pelanggan. Membedakan kelompok kerja berdasarkan perbedaan jenis dari karakteristik pelanggan.
7. Pengelompokkan berdasarkan tempat dilakukan berdasarkan kondisi local geografis dimana organisasi tersebut beroperasi.

Setelah semua jenis tugas pokok untuk memutar roda operasi proyek, baik yang bersifat umum maupun khusus dapat ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah mengelompokkan dan menuangkan tugas-tugas tersebut dalam jabatan-jabatan tertentu dalam perusahaan yang akan mengelola operasi proyek yang bersangkutan. Terlepas dari apapun dan berapapun jumlah jabatan yang direncanakan akan diciptakan, hendaknya dipikirkan secara matang bagaimana caranya mengaitkan jabatan-jabatan tersebut dalam satu atau beberapa macam pilihan struktur organisasi yang harmonis dan dapat menjamin efektivitas dan efisiensi operasi proyek nantinya. Wewenang dan tanggungjawab masing-masing jabatan harus dibatasi secara tegas dan jelas, demikian pula hubungan timbal balik dan pengaruh satu jabatan dengan jabatan yang lain. Dalam struktur manajemen proyek sepenuhnya, maka semua rekan kerja dan semua faktor-faktor produksi lainnya yang diperlukan untuk melaksanakan suatu proyek,

Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi struktur organisasi. Ernie (2006), menyatakan ada 4 (empat) faktor yang mempengaruhi struktur organisasi antara lain [7]:

1. Strategi Organisasi

Strategi organisasi dibuat sebagai upaya pencapaian tujuan organisasi. Oleh karena itu, jika struktur organisasi dibentuk sebagai jalan untuk pencapaian tujuan maka struktur organisasi pun selayaknya sejalan dengan strategi organisasi. Maka, jika terjadi perubahan pada strategi organisasi akan berdampak pula pada perubahan

struktur organisasi. Strategi organisasi adalah salah satu sarana yang digunakan manajemen untuk mencapai sasaran maupun tujuannya.

2. Skala Organisasi

Organisasi dapat dibedakan skalanya menurut berbagai faktor diantaranya adalah dari jumlah penjualan, pangsa pasar hingga jumlah tenaga kerja. Organisasi yang berskala besar artinya organisasi tersebut barangkali memiliki berbagai cabang diberbagai daerah dikarenakan pangsa pasarnya yang luas, dengan demikian memiliki tenaga kerja yang juga tidak sedikit. Organisasi yang berskala besar membutuhkan ruang lingkup aktivitas yang luas maka memerlukan pendelegasian wewenang dan pekerjaan sehingga dalam mendesain struktur organisasinya pun perlu mempertimbangkan berbagai faktor yang terkait dengan aktifitas yang luas tersebut. Sedangkan organisasi berskala kecil biasanya memiliki jumlah tenaga kerja yang sedikit karena pangsa pasar yang mungkin masih sedikit, jumlah penjualan atau produksi yang juga sedikit. Organisasi yang berskala kecil biasanya memiliki struktur organisasi yang lebih sederhana dan tidak terlalu banyak terjadi pendelegasian wewenang dan pekerjaan.

3. Teknologi

Teknologi didefinisikan sebagai pengetahuan, alat-alat teknik, dan kegiatan, yang digunakan untuk mengubah input menjadi output. Karena itu dapat dikatakan bahwa teknologi meliputi seluruh proses transformasi yang terjadi dalam organisasi, yang juga menyangkut mesin-mesin yang digunakan, pendidikan dan keahlian karyawan, serta prosedur kerja yang digunakan dalam pelaksanaan seluruh kegiatan.

Teknologi mencakup aspek yang luas dan kegiatan yang jenisnya saling berbeda. Hal ini juga menyebabkan teknologi bisa dipandang dengan cara yang saling berbeda, misalnya sebagai masuknya bahan baku ke dalam organisasi, hingga keluar kembali menjadi produk, tingkat otomatisasi dalam proses transformasi,

variabilitas kegiatan kerja, tingkat penggunaan alat-alat mekanis dalam proses transformasi bahan baku menjadi produk, tingkat ketergantungan antar proses yang dilakukan dalam proses transformasi, dan juga banyaknya produk yang dihasilkan.

4. Lingkungan

Lingkungan organisasi secara umum dapat diartikan sebagai sesuatu yang tidak berhingga dan mencakup seluruh elemen yang terdapat di luar suatu organisasi. Untuk keperluan analisis, lingkungan bisa diartikan sebagai seluruh elemen yang terdapat di luar batas-batas organisasi, yang mempunyai potensi untuk mempengaruhi sebagian ataupun suatu organisasi secara keseluruhan.

Setiap elemen ini perlu dianalisis untuk mengetahui elemen-elemennya dan juga kesempatan serta hambatan yang dapat ditimbulkannya bagi organisasi.

Kinerja Proyek

Kinerja seorang karyawan merupakan hal yang bersifat individual, Karena setiap karyawan mempunyai tingkat kemampuan yang berbeda-beda dalam mengerjakan tugasnya. Pihak manajemen dapat mengukur karyawan atas untuk kerjanya berdasarkan kinerja masing-masing karyawan. Kinerja tergantung pada kombinasi antara kemampuan, usaha dan kesempatan yang diperoleh. Hal ini berarti bahwa kinerja merupakan hasil kerja karyawan dalam bekerja untuk periode waktu tertentu dan penekanannya pada hasil kerja yang diselesaikan karyawan dalam periode waktu tertentu [6].

Kinerja adalah penilaian karyawan mengenai hasil kerja yang dicapai pegawai dalam melaksanakan tugasnya sesuai dengan tanggung jawab yang diberikan kepadanya ditinjau dari aspek-aspek: kecepatan, layanan, nilai, terbuka untuk berubah, kreativitas, inisiatif dan perencanaan organisasi. Tolak ukur keberhasilan proyek secara tradisional adalah bahwa proyek itu: tepat waktu, sesuai anggaran,

tujuan proyek terpenuhi, kualitas, dan Sumber Daya [12].

Kinerja Proyek merupakan bagaimana cara kerja proyek tersebut dengan membandingkan hasil kerja nyata dengan perkiraan cara kerja pada kontrak kerja yang disepakati oleh pihak owner dan kontraktor pelaksana.

Kinerja suatu proyek erat hubungannya dengan pencapaian tujuan proyek, dimana tujuan proyek dibatasi oleh 3 batasan (*triple constraint*), yaitu [12]:

1. Anggaran, proyek harus diselesaikan dengan biaya yang tidak melebihi anggaran.
2. Jadwal, proyek harus dikerjakan sesuai dengan kurun waktu dan tanggal akhir yang telah ditentukan.
3. Mutu, produk atau hasil kegiatan proyek harus memenuhi spesifikasi dan kriteria yang dipersyaratkan.

Analisis Proyek

Proyek 57th Promenade yang merupakan kawasan superblok di tengah kota Jakarta. Area di tepi waduk melati, seluas 3,1 ha di Jalan Kebon Melati Tanah Abang Jakarta Pusat. Tahap awal kini telah dibangun apartemen yang terdiri dari 2 tower yang tersambung oleh skybridge diketinggian 99m dan total ketinggian 205 m serta kawasan perkantoran dan hotel, dengan ketinggian 180m, serta 5 tower apartemen dengan ketinggian 18 sampai 48 lantai, dengan total luas bangunan 275.795 m².

Kawasan superblok ini memiliki beberapa konsultan yang digunakan untuk membantu dan mendukung proses pembangunan, yaitu Konsultan Arsitek, Struktur, Mekanikal Elektrikal, Quality Service, Façade, Infrastruktur, Signage & Lighting, Interior serta Manajemen Konstruksi, MK.

Proyek Mixed Use ditengah kota ini sangat sulit mulai dari pemilihan konsultan hingga perijinan yang harus dilalui satu per satu. Pemilihan konsultan pada proyek

tidak mudah dimulai dari pemilihan Arsitektur utama (*Masterplanning*), biasanya konsultan arsitektur dari luar negeri. Perlu menggunakan arsitektur dari luar negeri, karena nama konsultan arsitektur yang terkenal diharapkan dapat membantu pemasaran. Disamping itu proyek juga harus memiliki arsitektur lokal yang sangat mengerti mengenai peraturan-peraturan yang ada di Indonesia.

Konsultan arsitektur luar dan local sudah didapat, maka konsultan tersebut bersama perwakilan pemilik memilih konsultan struktur, MEP, Infrastruktur, Fasade, Signage, Landscape, Lighting, Amdal, wind tunnel dan Building Management. Untuk proyek superblock yang besar memang dibutuhkan banyak konsultan seperti yang disebutkan diatas. Tujuannya agar dapat memberikan kelancaran dalam proses perijinan dan dapat merealisasi pembangunan proyek tepat waktu.

Terdapat beberapa kendala pada pelaksanaan proyek ini dimana koordinasi antar konsultan dan perwakilan pemilik, (sebut saja sebagai *owner*), kurang komunikatif dan kooperatif. Konsultan-konsultan di bawah konsultan arsitektur tidak pernah memberikan hasil output dari rapat antar konsultan ke *owner*. Hal tersebut mempersulit kelancaran koordinasi suatu proyek dan membuat *owner* terbuang banyak waktu. Karena konsultan selalu meminta waktu yang cukup banyak bila ada sedikit permasalahan.

Peraturan pemerintah juga harus ditaati dan diakomodasi. Skala proyek yang besar menuntut banyak item yang perlu diurus serta banyak faktor-faktor membuat permasalahan rumit dan perlu diuraikan satu per satu. Demikian juga dengan peraturan yang mengakibatkan perubahan-perubahan design pada proyek. Kerumitan desain dan perijinan, membutuhkan waktu bias sampai kurang lebih 4 tahun untuk membereskannya, mulai tahap konsep hingga tahap skematik.

Keterlambatan ditambah dengan kerumitan, Dikarenakan keterlambatan design dari proyek ini, maka owner memutuskan untuk menambah satu konsultan yakni

konsultan manajemen konstruksi pre-konstruksi atau dikenal sebagai MK. Konsultan baru ini, MK merupakan tangan kanan *owner* yang dapat mewakili *owner* untuk memberikan pengarahan dan membuat *summary* dari setiap hal yang terjadi di proyek ini. Dengan kehadiran MK kerja proyek terlihat dengan jelas dan lebih baik. Sudah banyak yang diputuskan, MK membantu menyelesaikan kerumitan koordinasi dan komunikasi antar konsultan.

Hambatan tambahan sering terjadi perdebatan antar konsultan dikarenakan munculnya MK, karena konsultan-konsultan banyak yang merasa level mereka sama dengan MK sehingga mereka merasa tidak harus menjelaskan kepada MK mengenai design yang sudah ada, mereka hanya mau menjelaskan kepada *owner*. Agar konsultan taat kepada MK, maka semua konsultan meminta penambahan *fee* konsultan, akhirnya *owner* menyetujui untuk *claim* penambahan *fee* pada beberapa konsultan.

Namun, hal tersebut tidak mengurangi permasalahan melainkan muncul permasalahan baru lagi yaitu setiap rapat koordinasi konsultan-konsultan selalu mengeluh mengenai ketidakmengertian MK dalam hal arsitektur, struktur, MEP dan lainnya. Sering terjadi perselisihan pada rapat tetapi dapat diselesaikan secara damai oleh *owner*. Bila kita melihat dari proyek-proyek besar di luar negeri banyak sekali yang menggunakan MK pre-konstruksi ini yang diharapkan dapat menjaga total budget Proyek dan dapat membantu untuk melakukan *Value Engineer* pada proyek ini. Value Engineer ini tidak hanya terkait pengurangan budget tetapi juga diharapkan dapat mempersingkat durasi kerja dan kualitas tetap terjaga sesuai dengan standar dari *Owner*.

Adapun kecenderungan yang terjadi yaitu seringkali konsultan-konsultan lokal yang selalu mencari aman sehingga selalu memberikan design yang terkadang dapat dibilang tidak efisien atau boros. Seperti contoh konsultan MEP yang selalu memberikan kapasitas yang besar dan sistem yang boros padahal kita bisa

menggunakan sistem yang lebih *easy maintenance* dan lain sebagainya. Contoh lain konsultan struktur yang selalu membuat dimensi struktur yang besar dan ratio besi yang besar serta tidak mau menghitung ulang pekerjaan sehingga saat TPAK diterima mereka baru melakukan revisi dimensi struktur yang mengakibatkan keterlambatan pelaksanaan proyek.

Dengan adanya MKini juga, dapat membantu *mereview design* yang ada dan memberikan masukan kepada *owner*. Pada dasarnya setiap konsultan pasti memiliki keteguhan hati masing-masing dimana mereka biasanya tidak ingin bila *design* mereka diotak-atik oleh orang lain. Maka dari itu, sering sekali terjadi perselisihan pada proyek ini.

Faktor-faktor Kerangka Organisasi

Berdasarkan analisis latar belakang tersebut maka dapat kita tinjau dari segi faktor-faktor yang mempengaruhi dalam pembentukan kerangka organisasi. Berikut beberapa hasil wawancara terhadap konsultan, kontraktor dan owner mengenai faktor-faktor kerangka organisasi yang mempengaruhi proyek ini agar dapat berjalan dengan baik dan lancar.

Berikut Kesimpulan Analisis Faktor-faktor kerangka organisasi berdasarkan hasil wawancara terhadap beberapa konsultan, kontraktor dan Owner yaitu:

1. Strategi Organisasi.

Untuk mencapai tujuan organisasi yaitu proyek dapat terealisasi dan berjalan dengan lancar maka dibentuk suatu kerangka organisasi yang baik dan terstruktur. Strategi organisasi pada proyek dilakukan yaitu dengan dibentuknya beberapa konsultan ahli terkait dibidangnya masing-masing seperti konsultan arsitektur, konsultan struktur, konsultan MEP, konsultan fasade, konsultan infrastruktur, konsultan landscape, konsultan signage, konsultan lighting dan konsultan interior. Namun, dikarenakan berbagai

kendala maka Direksi memutuskan untuk menambah konsultan MKPre-Konstruksi.

2. Teknologi

Pada proyek ini teknologi yang digunakan sudah cukup memadai mulai dari program Newforma yaitu program yang dapat merekam data dari awal hingga akhir serta dapat mengetahui siapa saja yang sudah mendownload data dan belum. Teknologi sangat membantu untuk tidak terjadi miss komunikasi kedepannya.

3. Lingkungan

Lingkungan disini juga dipengaruhi dari sisi pembebasan lahan yang sulit. Karena ada beberapa keluarga yang belum mau untuk dipindahkan atau dibeli lokasinya. Selain itu juga peraturan pemerintah yang berubah-ubah hal ini membuat banyak waktu yang terbuang karena munculnya peraturan baru yang mengakibatkan design proyek harus direvisi berulang kali.

4. Skala Organisasi

Skala Organisasi ini erat kaitannya dengan jumlah penjualan, pangsa pasar dan jumlah tenaga kerja. Untuk penjualan dari sisi marketing juga akan dibutuhkan banyak marketing dari luar sehingga Owner tidak perlu merekrut sales marketing dalam jumlah yang besar.

1.3 Penutup

1. Faktor sumberdaya manusia dalam kerangka organisasi yang paling berpengaruh terhadap proyek yaitu: Strategi Organisasi, Teknologi, Lingkungan Kerja dan Skala Organisasi.
2. Strategi Organisasi pada proyek ini yaitu dengan menambah konsultan CM sebagai tangan kanan *Owner*.

3. Alur Komunikasi yang baik pada proyek ini yaitu dengan membuat Konsultan Arsitektur sebagai konsultan utama dan memusatkan semua data kepada konsultan arsitektur. Setelah itu konsultan Arsitektur menjelaskan kepada Konsultan MK dan *Owner*. Dan tidak menutup kemungkinan konsultan lainnya juga menjelaskan kepada Konsultan MK dan *Owner*.

Referensi

- [1]. Craig dan Sommerville. (2006). “*Software Engineering 9th Edition.*” Pearson Education, Inc., America.
- [2]. Ben-Joseph, Eran, Terry S. Szold (2005). *Regulating Place: Standards and the Shaping of Urban America*. Routledge. ISBN 978-0-415-94874-6
- [3]. Dimiyati dan Nurjaman. (2014). *Manajemen Proyek*, CV Pustaka Setia, Bandung.
- [4]. Drucker. (2010). “*Innovation and Entrepreneurship Practice and Principles.*” Harper, New Jersey
- [5]. Nimran. (2016). *Perilaku Organisasi*, Laros CV Citramedia, Sidoarjo
- [6]. Saidi. (2012). *Perilaku Manusia Dalam Organisasi*, Tim Manajemen Sumber Daya Manusia Universitas Tarumanagara, Jakarta
- [7]. Umam. (2016). *Manajemen Organisasi*, CV Pustaka Setia, Bandung.
- [8]. Schwalbe. (2007). “*Information Technology Project Management, 5th Edition.*” Thomson Course Technology, Massachusetts
- [9]. Mutis dan Gasperz. (2004) *Nuansa Menuju Perbaikan Kualitas dan Produktivitas*. Universitas Trisakti, Jakarta,
- [10]. E McGaughey, 'A Human is not a Resource' (2018) *Centre for Business Research, University of Cambridge Working Paper*
- [11]. Oliver Sheldon, *The Philosophy of management*, Published September 25, 2003 by Routledge ISBN 9780415279840
- [12]. Mingus. (2006). “*Project Management.*” Prenada Media Group, Jakarta
- [13]. Jurnal 3rd Forum, *International Construction Project Management*, 26th/27 June 2003 in Berlin

Profil Penulis

Dr. Ir. Wahyu Indra Sakti, S.T., M.Sc. I.P.U.



Lulus sarjana dari Teknik Sipil ITB, program pascasarjana dari Teknik Industri ITB, serta program doktor dari Universitas Negeri Jakarta. Lulus Program Profesi Insinyur dengan cumlaude dari Universitas Negeri Gajah Mada. Mempunyai Sertifikat Tanda Registrasi Insinyur (STRI) dan Insinyur Profesional Utama (IPU) dari Persatuan Insinyur Indonesia. Menjadi dosen tetap di Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas

Tarumanagara, sejak tahun 2007, dengan jabatan akademik dosen Lektor Kepala.

BAB 21

Change Order Pada Infrastruktur Gedung

Mega Waty

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Change Order pada infrastruktur gedung merupakan hal umum yang sering terjadi pada proyek konstruksi. Hampir seluruh proyek yang ada selalu terjadi *change order*, baik proyek pemerintah maupun proyek swasta. Perubahan formal diajukan dalam bentuk tertulis, yang diusulkan oleh pemilik yang ditujukan kepada kontraktor untuk merubah lingkup kerja, waktu pelaksanaan, biaya-biaya atau hal-hal lain yang berbeda yang telah dispesifikasikan dalam kontrak. *Change order* harus jelas, ringkas dan eksplisit. Kebanyakan *Change Order* terjadi selama periode konstruksi menjadi penyebab utama dari perpanjangan waktu dan peningkatan biaya, gangguan, dan perselisihan.

Kata kunci : *change order*, infrastruktur gedung, proyek.

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Change Order merupakan hal umum yang sering terjadi pada proyek konstruksi. Hampir seluruh proyek yang ada selalu terjadi *change order*, baik proyek pemerintah maupun proyek swasta. Selama pelaksanaan proyek konstruksi, perubahan itu dapat terjadi baik dari pihak kontraktor maupun dari pemilik [1]. Menurut Kerzner (2009) [2] proyek konstruksi merupakan suatu rangkaian kegiatan untuk mencapai suatu tujuan (bangunan atau konstruksi) dengan Batasan waktu, biaya dan mutu tertentu. Proyek konstruksi membutuhkan resources (sumber daya) yaitu man (manusia), material (bahan bangunan), machine (peralatan), method (metode pelaksanaan), money (uang), information (informasi), dan time (waktu).

Perubahan selama pembangunan proyek tidak dapat dihindari pada sebagian besar proyek konstruksi, sehingga *Change Order* digunakan untuk memperbaiki atau memodifikasi desain asal atau ruang lingkup pekerjaan. Koreksi atau modifikasi dilakukan karena berbagai alasan termasuk perubahan dalam ruang lingkup yang dibuat oleh Pemilik dan sebagai hasil dari permintaan perubahan yang dibuat oleh konsultan karena kesalahan desain atau temuan baru. Kontraktor menggunakan interpretasi klausul kontrak yang berbeda atau merubah desain awal untuk meningkatkan margin keuntungan. Kebanyakan *Change Order* terjadi selama periode konstruksi menjadi penyebab utama dari perpanjangan waktu dan peningkatan biaya, gangguan, dan perselisihan. Belum ada metode unik yang tersedia untuk menghindari atau mengelola *Change Order* secara efektif.

Menurut Goudreau (2001) [3] melaporkan bahwa terdapat 5 kunci yang membebani proyek yakni: pembayaran, otoritas, *change order*, schedule dari pekerjaan, dan dokumen kontrak.

Acharya et al., 2006 yang menyatakan bahwa *change order* merupakan penyebab ke tiga dari konflik pada proyek konstruksi yang diteliti di Korea dari 6 faktor konflik konstruksi di dalam penelitian Alnuaimi et al.[4].

Arun (2007) [5] melaporkan bahwa perubahan dalam perencanaan serta cacat dan koreksi dalam perencanaan sebagai faktor yang menghasilkan biaya yang membengkak dan keterlambatan waktu.

Penyebab dari keterlambatan utama pada 130 proyek di Yordania adalah perubahan pekerjaan [6].

Change Order merupakan masalah yang tidak bisa dihindari dari proyek konstruksi [7]. Hwang dan Low (2011) menyatakan bahwa di Singapura proyek konstruksi merupakan salah satu yang memberikan kontribusi yang sangat berarti bagi perekonomian Singapura.

Perubahan selama pelaksanaan konstruksi merupakan hal yang tak terelakkan dalam kebanyakan proyek konstruksi dan *change order* merupakan permasalahan untuk mengkoreksi atau memodifikasi desain awal atau ruang lingkup suatu pekerjaan [4]. Koreksi atau modifikasi dilaksanakan dengan berbagai alasan termasuk perubahan pekerjaan dalam lingkup yang dibuat oleh owner atau sebagai suatu hasil dari permintaan perubahan yang dibuat oleh konsultan yang disebabkan karena kesalahan desain atau temuan baru [4]. Kebanyakan persoalan *change order* selama periode pelaksanaan konstruksi adalah hal yang utama berupa keterlambatan waktu dan biaya yang membengkak, perselisihan atau gangguan proyek. Sampai sekarang masih belum ada metode yang pasti untuk mencegah atau menghindari atau mengatur *change order* secara efektif.

Perubahan dalam proyek konstruksi selalu terjadi dan tidak bisa dihindari, [8] Perubahan desain merupakan gangguan dari kinerja pada suatu proyek konstruksi, terutama waktu dan kinerja biaya, yang terbanyak adalah perubahan design [8].

Change Order menyebabkan biaya menyebabkan item kontrak membengkak, kesalahan perencanaan dan kelalaian serta perubahan ruang lingkup yang dapat

dikurangi dengan mempertajam hasil akhir perencanaan [9].

Penelitian Waty & Sulistio (2020) [10] menyatakan efek *change order* dari perhitungan *change order* proyek di Banten adalah: tunda tanggal penyelesaian proyek, pembengkakan biaya, menghasilkan klaim dan perselisihan, mempengaruhi kinerja dan moral kerja, serta sebagian besar kontraktor mengeluarkan biaya tambahan.

1.2 Isi/Pembahasan

Change Order Pada Infrastruktur Gedung

Change order adalah persetujuan tertulis untuk memodifikasi, menambah atau memberi alternatif pada pekerjaan yang telah diatur dalam dokumen kontrak antara pemilik dan kontraktor, dimana perubahan tersebut dapat dipertimbangkan untuk masuk dalam ruang lingkup proyek yang asli/ orisinal, dengan kata lain ini merupakan kontrak modifikasi yang disyaratkan [11].

Arti kata infrastruktur adalah “Prasarana” sedangkan Pengertian Infrastruktur, menurut *American Public Works Association* [12] infrastruktur adalah fasilitas-fasilitas fisik yang dikembangkan atau dibutuhkan oleh agen-agen publik untuk fungsi-fungsi pemerintahan dalam penyediaan air, tenaga listrik, pembuangan limbah, transportasi dan pelayanan-pelayanan similar untuk memfasilitasi tujuan-tujuan sosial dan ekonomi. Berdasarkan pengertian infrastruktur tersebut maka infrastruktur merupakan sistem fisik yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia dalam lingkup sosial dan ekonomi. Seiring dengan hal tersebut maka Infrastruktur gedung adalah sistem fisik yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan dasar gedung termasuk jalan, parkir dan bangunan pelengkap lainnya. Change Order pada infrastruktur gedung merupakan hal umum yang sering terjadi pada proyek konstruksi. Hampir seluruh proyek yang ada selalu terjadi *change order*, baik proyek pemerintah maupun proyek swasta

Definisi dan Tujuan Change Order

Change order adalah persetujuan tertulis untuk memodifikasi, menambah atau memberi alternatif pada pekerjaan yang telah diatur dalam dokumen kontrak antara pemilik dan kontraktor, dimana perubahan tersebut dapat dipertimbangkan untuk masuk dalam ruang lingkup proyek yang asli/ orisinil, dengan kata lain ini merupakan kontrak modifikasi yang disyaratkan [11].

Menurut Fisk (2010) *change order* merupakan surat perintah kerja untuk menegaskan revisi-revisi rencana, dan jumlah kompensasi biaya kepada kontraktor yang terjadi pada saat pelaksanaan konstruksi, setelah penandatanganan kontrak antara pemilik dan kontraktor.

Pengertian *change order* menurut Direktorat Jendral Bina Marga (1999), Departemen Pekerjaan Umum [13] adalah pekerjaan tambah/ kurang untuk menyesuaikan volume lapangan atau perubahan skedul tanpa merubah pasal-pasal kontrak.

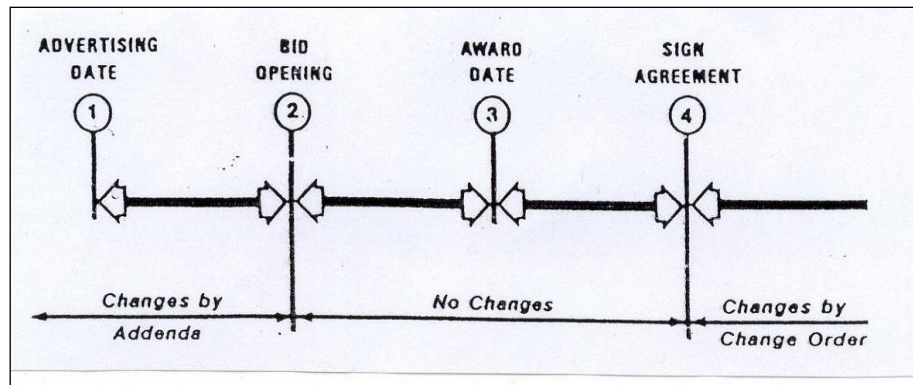
Menurut Barrie and Paulson (1992)[14], *change order* merupakan dokumen formal yang ditanda tangani oleh pemilik dan kontraktor untuk mengganti kerugian kontraktor karena adanya perubahan, penambahan pekerjaan, penundaan atau kegiatan lain dengan persetujuan pemilik dan kontraktor seperti yang tertera pada syarat-syarat dokumen kontrak.

Pengertian lain dari *change order* adalah suatu kejadian akibat perubahan/modifikasi dari suatu pekerjaan yang berakibatkan perubahan waktu dan biaya pada saat pelaksanaan proyek [15].

Menurut Clough and Sears (1994) [16], *change order* terjadi apabila terjadi penambahan, pengurangan atau perubahan di dalam suatu pekerjaan yang diajukan

oleh kontraktor, yang semuanya diajukan secara tertulis.

Pada umumnya perubahan perintah kerja itu ditulis pada formulir yang baku dan memuat uraian lengkap dengan singkat mengenai perubahan-perubahannya dan akibatnya terhadap rencana kontrak dan biayanya. Secara fungsional *change order* dilakukan setelah kontrak ditandatangani (Gambar 2.1).



Gambar 21.1 Waktu Terjadinya *Change Order* Proyek Konstruksi [11]

Perubahan yang terjadi selama proses desain dan konstruksi dari suatu fasilitas yang baru, diantaranya perubahan desain, perubahan jadwal, penggantian material, dan modifikasi terhadap metoda konstruksi. Pada umumnya perubahan ini dapat dilaksanakan dengan sedikit masalah. Banyak dari perubahan tersebut diatas menyebabkan perbaikan terhadap rencana semula, atau terhadap hasil kerja, ketika hal-hal yang tidak terduga terjadi atau sudah diantisipasi bila terjadi perubahan. Perubahan-perubahan yang mempengaruhi persetujuan kontraktual disebut perubahan kontraktual, hal tersebut diatas adalah yang paling berpengaruh dalam menyelesaikan perselisihan antara kontraktor dan pemilik. *Change order* secara tidak langsung mencerminkan seolah-olah kurang baiknya perencanaan dan kurang tepatnya usaha mengantisipasi berbagai faktor dan permasalahan teknis maupun non teknis. Meskipun segala sesuatunya telah diusahakan secara optimal, catatan para pengelola proyek menunjukkan bahwa *change order* tidak dapat

dihindari sehingga harus berusaha mengelola *change order* dengan sebaik-baiknya, dan mudah diperkirakan bahwa *change order* yang bersifat penambahan akan mendorong terjadinya kenaikan harga kontrak [17].

Change order dapat menambah ruang lingkup pekerjaan, yang dinyatakan dengan hadirnya aktivitas baru di dalam lingkup aktivitas yang sudah ada, jika ditinjau dari segi waktu untuk mengakomodasi kebutuhan akibat *change order*. Pengurangan *change order* (dalam hal ini mengurangi lingkup kerja kontraktor) yang mengakibatkan hilangnya item pekerjaan tertentu. *Change order* juga menyebabkan urutan pekerjaan harus dijadwal kembali [18]. Dari beberapa tulisan diatas dapat disimpulkan *change order* yaitu perintah kerja yang tertulis dan sah yang mengubah dari lingkup kontrak semula, dan dimana perintah perubahan ini akan mendapatkan kompensasi yang sudah disetujui oleh pemilik dan kontraktor. Perubahan pekerjaan dapat berupa penambahan atau pengurangan lingkup item pekerjaan, perubahan material atau perubahan jadwal.

Format *change order* mengidentifikasikan perubahan yang dibuat sebagai modifikasi terhadap kontrak konstruksi yang asli yang disetujui oleh pemilik dan kontraktor. Format *change order* bervariasi dan berisi antara lain nama dan bagian proyek, pemilik yang menyetujui, waktu yang telah ditetapkan, alasan perubahan dan nilai perubahan.

Kontraktor tidak akan melaksanakan perubahan kontrak sebelum *change order* tersebut disahkan oleh pemilik. Perubahan perintah kerja dapat merubah harga kontrak, skedul pembayaran dan tanggal akhir penyelesaian proyek, atau rencana kerja dan spesifikasi kerja. Perubahan perubahan demikian harus selalu dalam bentuk tertulis.

Dari contoh format *change order* yang ada semuanya memuat identifikasi *change order*. Bentuk standar dari *change order* tidaklah penting, tetapi yang diinginkan

change order adalah segala perubahan dinyatakan secara tertulis dan disetujui oleh pihak-pihak yang terkait.

Tujuan *change order* [11]:

- a. Untuk mengubah rencana kontrak dengan metoda khusus di dalam pembayaran
- b. Untuk mengubah spesifikasi kontrak, termasuk perubahan pembayaran dan perubahan waktu kontrak.
- c. Untuk persetujuan pekerjaan tambahan baru, dalam hal ini termasuk pembayaran dan perubahannya dalam kontrak.
- d. Untuk tujuan administratif, dalam menetapkan metoda pembayaran kerja ekstra maupun penambahannya.
- e. Untuk mengikuti penyesuaian terhadap harga unit kontrak bila terjadi *overruns* dan *underruns*, yang disesuaikan dengan spesifikasi.
- f. Untuk mengajukan pengurangan biaya insentif proposal (proposal value engineering).
- g. Untuk mempengaruhi pembayaran yang dilakukan setelah tuntutan diselesaikan (klaim).

Tipe Perubahan Change Order Pada Infrastruktur Gedung

Banyak perusahaan konstruksi menggunakan *informal field order* ketika perubahan tidak mempengaruhi pemakaian peralatan dan bahan-bahan/material pada ketentuan kontrak. Apabila perubahan pemilik dianggap penting, suatu *Formal Construction Change Directive* yang berisi perintah dari pemilik kepada kontraktor untuk merubah pekerjaan/melakukan pekerjaan yang berbeda dari yang telah ditetapkan dalam dokumen kontrak tetapi hal ini tidak memodifikasi kontrak yang telah ditanda tangani sebelumnya [16]. Pada umumnya terdapat 2 tipe dasar perubahan [19] yaitu perubahan informal dan perubahan formal.

a. Perubahan Informal (*Constructive Changes*)

Constructive changes adalah tindakan informal yang mengesahkan atau

memerintahkan suatu modifikasi di lapangan yang terjadi oleh karena kesalahan dalam melakukan tindakan. Perubahan informal (*Constructive Changes*), atau perubahan konstruktif menunjukkan perubahan lingkup pekerjaan kontraktor atau metoda pelaksanaan akibat kesalahan pemilik, pihak ketiga seperti sub kontraktor dan juga supplier, serta seluruh kesalahan diluar dari kontraktor. Kesulitan kontraktor mengidentifikasi dan mengontrol menyebabkan kontraktor melaksanakan pekerjaan yang berbeda yang tidak sesuai dengan kontrak. Perubahan informal sangat menyulitkan karena seringkali perubahan informal diketahui setelah pelaksanaan, selain itu dampaknya pada biaya dan jadwal sulit untuk ditentukan. Perubahan konstruktif dapat menyebabkan perselisihan yang biasanya terjadi karena [11]

- Perencanaan dan spesifikasi yang kurang baik
- Penafsiran yang berbeda dari pihak perencana
- Standar pelaksanaan yang lebih tinggi daripada yang telah dispesifikasikan
- Pemeriksaan dan penolakan yang tidak tepat.
- Perubahan metoda pelaksanaan
- Perubahan urutan konstruksi
- Hal-hal yang belum ditentukan oleh pihak pemilik
- Pelaksanaan yang tidak praktis atau tidak mungkin.

Perubahan konstruktif merupakan sumber utama dari perselisihan konstruksi. Kebanyakan perselisihan berasal dari penafsiran yang keliru dalam bidang perencanaan teknis dan spesifikasi. Pihak pemilik dan perencana cenderung menginterpretasikan kontrak kedalam suatu cara yang paling bermanfaat atau menguntungkan suatu proyek. Disisi lain, pihak kontraktor cenderung membaca perencanaan dan spesifikasi dalam suatu cara yang meminimalkan biaya pelaksanaan. Cara yang paling efektif untuk mencegah perselisihan mengenai perubahan konstruktif adalah kontraktor harus memiliki lingkup kerja yang detail dan dipersiapkan dengan hati-hati.

b. Perubahan Formal (*Directed Changes*)

Perubahan formal diajukan dalam bentuk tertulis, yang diusulkan oleh pemilik yang ditujukan kepada kontraktor untuk merubah lingkup kerja, waktu pelaksanaan, biaya-biaya atau hal-hal lain yang berbeda yang telah dispesifikasikan dalam kontrak. Perubahan formal biasanya menyangkut alternatif-alternatif pada desain suatu konstruksi dan diwujudkan dalam bentuk perbaikan-perbaikan dalam gambar atau spesifikasi konstruksi. Pemilik seringkali mengubah keperluannya atau mengubah kontrak kerja atau supplier [19].

Pada umumnya ketidak setujuan cenderung berkisar kepada ganti rugi finansial dan pada efek perubahan terhadap jadwal konstruksi [11].

Karena perubahan formal umumnya diketahui sebelum proyek terlaksana sepenuhnya, berdasarkan perencanaan dan merupakan pilihan yang sudah dipertimbangkan oleh pemilik dan didokumentasikan dalam format *Change Directive*.

Dalam hal ini *change order* yang dibahas adalah perubahan formal (*Directed Changes*) karena ini merupakan perubahan yang tertulis, yang secara resmi diajukan dan disetujui serta mendapat kompensasi dari pemilik dan disetujui oleh pemilik dan kontraktor.

Elemen dan Prinsip Change Order

Karena *change order* adalah faktor dominan dalam menimbulkan suatu perselisihan dalam proyek konstruksi, maka haruslah dijabarkan dengan detail dan lengkap suatu kontrak. Suatu *change order* menspesifikasikan hal-hal perubahan kontrak yang telah disetujui dan harus mendapat informasi sebagai berikut [11]

- a. Identifikasi *change order*
 - Identifikasi *change order* berupa:

- Nomor kontrak
- Tanggal kontrak
- Nama Proyek
- Lama kontrak
- Harga kontrak
- Yang menyetujui
- Yang memerintahkan

b. Deskripsi perubahan

Misalnya perubahan dinding penahan tanah dari pasangan batu gunung menjadi pasangan batu kali. Detail yang diperlukan oleh kontraktor saat pengajuan proposal *change order* mengenai penjelasan yang jelas berupa gambar yang deskriptif.

c. Alasan perubahan

Misalnya perubahan dinding penahan tanah dari pasangan batu menjadi pasangan batu kali. Yang menyebabkan perubahan adalah karena tidaktersedianya material tersebut di daerah itu.

d. Perubahan dalam harga kontrak

Perubahan pekerjaan terjadi karena perubahan harga, apakah penambahan atau pengurangan kontrak. Tetapi kebanyakan perubahan ini berupa penambahan harga kontrak.

e. Perubahan waktu kontrak

Dengan terjadinya perubahan maka waktu penyelesaian proyek pun jadi berubah. Pernyataan bahwa akibat sekunder sudah termasuk, dalam hal ini prosentase overhead dan profit juga dimasukkan. Persetujuan oleh perwakilan pemilik dan kontraktor. Dalam *change order* harus ada persetujuan dari kedua belah pihak, barulah perubahan itu disahkan. Masing – masing perubahan harus dievaluasi secara terpisah, tetapi terdapat prinsip-prinsip utama tertentu yang dapat diterapkan pada segala jenis *change order*

f. Prinsip *Change Order* [11] :

- Semua pekerjaan harus tertulis di dalam kontrak .
- Identitas dari pihak-pihak yang berwenang untuk meminta dan menyetujui *change order* harus segera diketahui. Informasi ini harus diberikan mandor (foreman) dan perwakilan pihak pemilik (owner resident project representative).
- Selama pertemuan sebelum masa konstruksi, suatu acara pertemuan atau rapat harus diadakan untuk menetapkan prosedur penanganan *change order*.
- Semua perubahan dalam pekerjaan harus disahkan dalam bentuk tertulis sebelum pelaksanaan dari perubahan.
- Ruang lingkup suatu *change order* harus jelas dan permintaan untuk proposal *change order* harus memiliki informasi yang cukup bagi kontraktor untuk membuat estimasi yang realistis.
- Kontraktor harus mengajukan proposal untuk melaksanakan *change order* sesegera mungkin setelah menerima permintaan dan selanjutnya tanggapan persetujuan atau penolakan dari pihak pemilik harus secepat mungkin juga.
- Proposal harus adil, harus memuat hak kontraktor untuk memasukkan persentase overhead dan profit dalam estimasi *change order* dan mengenai waktu serta material dalam penagihan *change order*. Harus memuat bahwa kontraktor berhak untuk ganti rugi karena tuntutan yang disebabkan oleh penundaan waktu yang sah, proses pengurangan *change order*, biaya untuk menyingkirkan material yang perlu dipindahkan, dan semua biaya yang sah yang terjadi selama pelaksanaan perubahan tersebut.

Persiapan dan Proses Change Order

Change order harus jelas, ringkas dan eksplisit. *Change order* harus memberitahu kontraktor apa yang harus diselesaikan, batas waktu dan tempat, kapan pekerjaan harus dilaksanakan, dan jika pekerjaan tersebut terpengaruh, bagaimana kontraktor akan dibayar dan pertimbangan apa saja yang akan diberikan terhadap waktu kontrak (perpanjangan dan lain-lain).

Change order biasanya bermula dari personil konstruksi suatu proyek

konstruksi. . Bagaimanapun besar perubahannya, biasanya juga diminta dari berbagai macam sumber seperti kontraktor, perubahan desainer, agen publik luar, atau perorangan.

Kontrak *change order* yang diajukan tertulis setelah para desainer telah memberikan pertimbangan untuk keperluan, ketepatan, metoda-metoda kompensasi, efek terhadap kontrak, estimasi biaya, reaksi kontraktor terhadap perubahan yang diajukan, dan probabilitas persetujuan akhir. Perubahan apapun dalam pekerjaan yang melibatkan perubahan dalam harga kontrak mula-mula harus disetujui oleh pemilik, sebelum *change order* dilaksanakan. Jika bukan pemilik yang menandatangani maka pihak yang menandatangani bagi pemilik harus memiliki wewenang tertulis dari pemilik untuk menandatangani bagi kepentingannya. Pihak perencana tidak memiliki wewenang untuk bertindak demi kepentingan pemilik [11].

Proses *Change order* menurut [19]:

a. Identifikasi

Perubahan perubahan yang diidentifikasi sesegera mungkin untuk dilakukan evaluasi secara menyeluruh terhadap dampaknya dan dibuat keputusan keputusan apakah dan bagaimanakah keputusan-keputusan tersebut akan dibuat. Perubahan potensial atau yang terencana, ketika diprakarsai oleh pemilik, harus ditentukan kepada kontraktor sesegera mungkin. Hal ini seharusnya dilakukan melalui penggunaan surat dengan format tertentu. Seperti halnya dengan istilah pemberitahuan (*notification*) adalah semata-mata alat-alat yang digunakan oleh pemilik untuk memberitahukan kontraktor mengenai perubahan potensial atau yang direncanakan. Alat-alat tersebut juga digunakan oleh pemilik sebagai permohonan kepada kontraktor untuk menentukan dampak dampak terhadap waktu dan jadwal, jika ada perubahan yang akan ditimbulkan dan dikutip juga oleh pemilik dalam kurun waktu tertentu. Ketika dirancang dan digunakan sebagaimana mestinya, alat-alat tersebut seharusnya :

- Menginformasikan kontraktor semua detail dari perubahan-perubahan yang diajukan jika gambar-gambar atau spesifikasi spesifikasi yang direvisi termasuk hal tersebut seharusnya didaftar dan dilampirkan.
- Mengindikasikan apakah informasi tersebut merupakan suatu perubahan, atau hanya merupakan tambahan atau informasi yang dijanjikan yang tidak mempengaruhi perubahan atau tidak menyimpang dari persetujuan semula.
- Meminta kutipan kontraktor dalam suatu cara pembayaran (lump sum, unit price) pada tanggal tertentu.
- Memuat pernyataan yang jelas mengenai apakah pekerjaan tersebut seharusnya dimulai sesegera mungkin atau kontraktor seharusnya mengabaikan perubahan tersebut hingga *change order* dikeluarkan.
- Diberi tanda dan tanggal oleh pemilik. Memberi nomor pada notification ,juga disarankan untuk memberi referensi. Akan terdapat ratusan notifications.
- Untuk memberitahu kepada kontraktor untuk mengetahui penerimaan terhadap notifikasi/ pemberitahuan dengan mengembalikan salinan yang telah diberi tanda. Hal ini mengindikasikan kontraktor tidak menyetujui melakukan pekerjaan yang terpengaruh tetapi semata-mata kontraktor tersebut supaya mengetahui bahwa perubahan tersebut telah diajukan.
- Dikirim kepada semua kontraktor yang mungkin terpengaruh, bahkan secara tidak langsung, oleh perubahan tersebut. Proses notifikasi tersebut sesuai dengan situasi dimana perubahan perubahan diajukan oleh pemilik. Bagaimanapun juga, banyak perubahan-perubahan diajukan/diidentifikasi oleh kontraktor. Ketika hal ini terjadi, kontraktor-kontraktor seharusnya memberitahu pemilik, mengidentifikasi perubahan tersebut dan menjelaskan dampak yang telah diantisipasi atau aktual terhadap biaya, jadwal atau hal teknis. Kontraktor-kontraktor pada umumnya melakukan hal ini dengan sebuah permintaan perubahan atau tuntutan.
- Pemilik dapat memberikan pengakuan awal untuk kontrak *change order* dan dituangkan didalam klausul kontrak. Penyesuaian yang pantas yang harus didiskusikan dengan kontraktor untuk memungkinkan perubahan pekerjaan agar

dikompensasikan sebagaimana suatu pekerjaan yang baru dimulai. Beberapa jenis persetujuan antara bagian-bagian yang termasuk dalam klausul kontrak dapat mengurangi konflik dan perselisihan. Namun apabila konflik atau perselisihan itu tidak dapat diatasi secara kekeluargaan maka pengadilan menjadi tempat terakhir untuk menyelesaikan perselisihan klaim.

b. Evaluasi

Sebuah perubahan yang telah diidentifikasi oleh pemilik ataupun kontraktor, pemilik harus memutuskan apakah menyetujui perubahan atau tidak.

Jika perubahan ditentukan oleh fakta, dampaknya harus diestimasi dan ditentukan. Evaluasi terhadap perubahan diajukan atau dibuat melibatkan peninjauan kembali terhadap kutipan kontraktor (atau tuntutan/ klaim) untuk ketepatan, pemenuhan terhadap ketentuan kontrak dan kelayakan. Sama halnya estimasi harga yang wajar membantu pemilik mengevaluasi penawaran kontrak semula, hal tersebut juga menolong mengevaluasi kutipan kutipan perubahan. Digunakan sebuah format yang mirip dengan "*Request for a Fair Price Estimate*". Selama proses *change order* biasanya tidak dapat dicegah ada hal baru setelah pembatasan masalah, desain, spesifikasi/ gambar, pengadaan, konstruksi, sebelum operasi, mulai dan laporan. Biaya orientasi perubahan untuk monitoring kontrol menjadi keuntungan pemilik dan konsultan. Untuk mencapai sasaran tersebut dapat dengan bantuan CPM scheduling. Suatu CPM scheduling berorientasi pada penyerahan pada kontraktor utama, proyek lapangan superintendent, estimator proyek dan konsultan proyek setelah penanda tangan kontrak.

c. *Approval*

Pemilik sering kembali kepada kontraktor meminta informasi tambahan atau menolak kutipan kutipan dan meminta kutipan yang direvisi. Terkadang negosiasi diperlukan ketika kedua belah pihak telah menyetujui kebutuhan dan

jumlah dari kompensasi tambahan, *change order* dikeluarkan Dokumentasi dan persetujuan identifikasi perubahan dan proses evaluasi dilakukan melaluissebuah format yang serupa dengan format persetujuan *change order*.

d. *Incorporation*

Sebuah *change order* disetujui oleh pemilik, *change order* tersebut dikeluarkan kepada kontraktor untuk merubah ketentuan-ketentuan dari persetujuan semula. *Change order* tersebut dikeluarkan kepada kontraktor untuk merubah ketentuan ketentuan dari persetujuan semula. *Change order* dapat menggabungkan perubahan-perubahan tuntutan, notifikasi, atau permintaan perubahan kontraktor atau sering terjadi menggabungkan hasil kolektif tersebut. *Change order* seharusnya menjelaskan secara menyeluruh perubahan tersebut dan merevisi terhadap ketetapan harga atau waktu pelaksanaan dalam kontrak *change order* seharusnya juga ditanda tangani oleh kontraktor, menandakan penerimaan pekerjaan yang dirubah seharusnya seperti halnya perubahan dalam kompensasi.

e. *Payment* (pembayaran)

Pembayaran untuk pekerjaan *change order* mengikuti prosedur yang sama seperti yang dijelaskan untuk pembayaran proses kontrak normal. Pengecualian adalah pekerjaan yang dirubah tersebut seharusnya diidentifikasi dan didaftar secara terpisah pada estimasi kemajuan/progress dan faktur-faktur. Rekomendasikan bahwa pekerjaan yang sudah diubah dan yang orisinil tidak dicampur selama proses perubahan pekerjaan pada tahap ini atau dalam tahap/ langkah yang lain, sehingga hal ini dicatat secara terpisah.

1.3 Penutup

Change Order pada infrastruktur gedung merupakan hal umum yang sering terjadi pada proyek konstruksi. Hampir seluruh proyek yang ada selalu terjadi *change order*, baik proyek pemerintah maupun proyek swasta. Perubahan formal diajukan

dalam bentuk tertulis, yang diusulkan oleh pemilik yang ditujukan kepada kontraktor untuk merubah lingkup kerja, waktu pelaksanaan, biaya-biaya atau hal-hal lain yang berbeda yang telah dispesifikasikan dalam kontrak. Proses change order meliputi : identifikasi, evaluasi, approval, incorporation, dan payment. *Change order* harus jelas, ringkas dan eksplisit. *Change order* harus memberitahu kontraktor apa yang harus diselesaikan, batas waktu dan tempat, kapan pekerjaan harus dilaksanakan, dan jika pekerjaan tersebut terpengaruh, bagaimana kontraktor akan dibayar dan pertimbangan apa saja yang akan diberikan terhadap waktu kontrak (perpanjangan dan lain-lain). *Change order* harus ada persetujuan dari kedua belah pihak, barulah perubahan itu disahkan. Masing – masing perubahan harus dievaluasi secara terpisah, tetapi terdapat prinsip-prinsip utama tertentu yang dapat diterapkan pada segala jenis *change order*. *Change order* adalah faktor dominan dalam menimbulkan suatu perselisihan dalam proyek konstruksi, maka haruslah dijabarkan dengan detail dan lengkap suatu kontrak. Suatu *change order* menspesifikasikan hal-hal perubahan kontrak yang telah disetujui dan harus mendapat informasi.

Referensi

- [1] Sulistio, H., & Waty, M. (2008). Analysis and Evaluation Change Order in Flexible Pavement (Case Study: Road Projects in East Kalimantan). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 16(1), 31-47.
- [2] Kerzner, H. (2009). *Project management: A systems approach to planning* (Vol. 11). Scheduling and Controlling.
- [3] Goudreau, H.(2001).” The Five Key Element Of A Constuction Contract-Forget them and you are in Trouble.” (www.hgasspciated.articlecontracthtml)(Feb, 18,2010)
- [4] Alnuaimi, A. S., Taha, R. A., Al Mohsin, M., & Al-Harthi, A. S. (2010). Causes, effects, benefits, and remedies of change orders on public construction projects in Oman. *Journal of construction engineering and management*, 136(5), 615-622.
- [5] Arun, C., 2007, August. KNOWLEDGE-BASED DECISION SUPPORT TOOL FOR DURATION AND COST OVERRUN ANALYSIS OF HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECTS. In *CME 25 Conference Construction Management and Economics* (p. 1713).
- [6] Al-Momani, A.H., 2000. Construction delay: a quantitative analysis. *International journal of project management*, 18(1), pp.51-59.
- [7] Hwang, B.G. and Low, L.K., 2012. Construction project change management in Singapore: Status, importance and impact. *International Journal of Project Management*, 30(7), pp.817-826.
- [8] Yana, A.G.A., Rusdhi, H.A. and Wibowo, M.A., 2015. Analysis of factors affecting design changes in construction project with Partial Least Square (PLS). *Procedia Engineering*, 125, pp.40-45.
- [9] Taylor, T.R., Uddin, M., Goodrum, P.M., McCoy, A. and Shan, Y., 2012. Change orders and lessons learned: Knowledge from statistical analyses of engineering change orders on Kentucky highway projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(12), pp.1360-1369.

- [10] Waty, M. and Sulistio, H., 2020. Perhitungan Change Order Proyek Jalan Di Banten. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 4(2), pp.211-220.
- [11] Fisk, E.R. and Reynolds, W.D., 2010. Construction Project Administration. 9th.
- [12] Kodoatie, R.J., 2005. Pengantar manajemen infrastruktur. *Yogyakarta: Pustaka Pelajar*.
- [13] Direktorat Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum dan Kimpraswil, Bagian proyek Peningkatan Sistim dan Kinerja Manajemen Pelaksana Tengah, Direktorat Bina Pelaksana Wilayah Tengah.,(1999). *Pedoman Praktis Kendali Mutu Pelaksanaan Proyek*. Jakarta: Direktorat Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum dan Kimpraswil
- [14] Barrie, D.S. and Paulson, B.C., 1992. *Professional construction management*. McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics.
- [15] Ibbs, C.W., 1997. Quantitative impacts of project change: Size issues. *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(3), pp.308-311.
- [16] Clough, R., 1991. H and Sears, Glenn. A. *Contruction Project Management. Canada: John Willey & Sons Inc.*
- [17] Suharto, I., 1998. Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional Jilid 1.
- [18] Ibbs, W., 2005. Impact of change's timing on labor productivity. *Journal of construction engineering and management*, 131(11), pp.1219-1223.
- [19] Gilbreath, R.D., 1992. *Managing construction contracts: operational controls for commercial risks* (Vol. 3). John Wiley & Sons.

Profil Penulis

Dr. Mega Waty, S.T., M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Kristen Petra Surabaya serta Doktor Teknik Sipil Universitas Tarumanagara . Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda 2007 dan menjadi dosen tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara 2018 dengan jabatan akademik dosen Lektor Kepala pada jurusan

Manajemen Rekayasa Konstruksi. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi change order , manajemen risiko dan waste material. Sejak dari tahun 1993 hingga 2017 menjadi praktisi di Samarinda dengan mengelola konsultan baik bidang perencanaan maupun pengawasan pada jalan dan jembatan dan Gedung dimana pernah memiliki sertifikat keahlian bidang jalan dan jembatan dan sumber daya air dan IAMPI hingga tahun 2017.

BAB 22

Pembiayaan Proyek Konstruksi

Arianti Sutandi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Pelaksanaan suatu proyek konstruksi dipengaruhi berbagai risiko yang dapat berdampak pada jadwal pelaksanaan, mutu dan biaya proyek. Kemampuan manajemen proyek akan sangat mempengaruhi tingkat kesuksesan pelaksanaan proyek. Pada proyek konstruksi yang menggunakan dana pinjaman dari perbankan terdapat berbagai risiko keuangan yang dipengaruhi oleh suku bunga pinjaman (*interest rate*) serta jadwal pengembalian pinjaman. untuk meminimalkan risiko keuangan yang mungkin terjadi perlu dilakukan estimasi biaya yang baik, perencanaan cashflow proyek dan pengendalian biaya di lapangan. Pada tulisan ini akan dilihat pengaruh risiko keuangan berupa pembayaran bunga pinjaman (*interest*) terhadap pembiayaan proyek konstruksi bangunan tinggi. Studi dilakukan pada proyek yang sama dengan dua kondisi pelaksanaan yaitu sesuai dengan kurva S dan terlambat 4 bulan dari kurva S rencana. Dari hasil studi diketahui bahwa untuk proyek bangunan tinggi dengan nilai proyek Rp.300.000.000.000,- keterlambatan proyek selama 4 bulan mengakibatkan penambahan biaya sebesar Rp 4.420.100.000,-, dengan perincian pertambahan pembayaran bunga pinjaman sebesar Rp. 3.020.100.000,- dan penambahan biaya overhead sebesar Rp. 1.400.000.000,-.

Kata kunci: Estimasi biaya, kurva S, *cashflow*, *interest rate*, *overhead cost*

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Semua pelaksanaan proyek konstruksi membutuhkan pembiayaan, tidak ada proyek yang berjalan tanpa sumber keuangan. Tetapi sifat dan besarnya pembiayaan yang dibutuhkan selama fase proyek yang berbeda akan sangat bervariasi. Pada sebagian besar proyek, tingkat pengeluaran berubah secara drastis ketika proyek bergerak dari tahap penilaian, ke tahap desain, lalu ke tahap pembangunan/ konstruksi, dan akhirnya ke tahap operasional. Secara umum, sebuah proyek dapat dikatakan melewati 3 tahapan utama:

- tahap inisiasi: perencanaan dan perancangan;
- tahap pelaksanaan/konstruksi proyek;
- tahap pengoperasian proyek.

Arus kas pada suatu proyek konstruksi biasanya digambarkan dalam kurva S (S-curve). Bentuk dari kurva S pada suatu proyek sangat tergantung pada berbagai faktor seperti; waktu yang dibutuhkan dalam menetapkan tujuan proyek, finalisasi desain, finalisasi kontrak, finalisasi perjanjian pembiayaan, serta besarnya biaya proyek dan durasi proyek. Arus kas negatif sampai proyek mencapai titik impas (break even) menandakan bahwa proyek tersebut membutuhkan pembiayaan dari luar hingga mencapai titik impas. Bentuk kurva S menunjukkan bahwa pada tahap awal proyek, pembiayaan yang dibutuhkan relatif lebih sedikit dibandingkan pada tahap berikutnya. Saat proyek bergerak ke tahap pelaksanaan, ada peningkatan mendadak dalam kebutuhan keuangan, yang mencapai puncaknya pada tahap penyelesaian. Semakin curam bentuk kurva, maka semakin besar kebutuhan keuangan yang akan diperlukan.

Pembiayaan proyek konstruksi skala besar, misalnya bangunan tinggi, tentunya membutuhkan biaya yang sangat besar. Sehingga komponen modal biasanya bukan hanya menggunakan dana dari pihak pemilik/ pengembang, tetapi memerlukan bantuan dana dari pihak lain. Untuk perusahaan konstruksi atau developer yang sudah go public dapat menggunakan dana publik (*money market*),

sedangkan alternatif lain yang banyak dipakai dalam pembiayaan konstruksi adalah dengan menggunakan dana pinjaman dari lembaga perbankan. Pada makalah ini akan ditinjau pembiayaan proyek dengan menggunakan dana dari pihak sponsor/pemilik/developer dan dana pinjaman dari lembaga perbankan.

1.2 Isi/Pembahasan

Kontrak Pembiayaan Pinjaman

Kontrak antara sponsor, dalam hal ini developer, dan pemberi pinjaman (lembaga perbankan), hanya dapat ditentukan ketika pemberi pinjaman memiliki informasi yang cukup untuk menilai kelayakan proyek. Pemberi pinjaman akan melihat proyek konstruksi yang akan didanainya sebagai sumber pembayaran, bukan sebagai aset. Parameter utama yang menjadi pertimbangan pemberi pinjaman adalah [1]:

- Ukuran total proyek: ukuran proyek akan menentukan jumlah uang yang dibutuhkan dan upaya yang diperlukan untuk meningkatkan modal, tingkat pengembalian internal proyek (*IRR/ internal rate of return*) dan kewajiban modal sponsor (*equity*).
- Waktu *break even*: tanggal kritis saat penanam modal dapat melihat pengembalian dari investasinya.
- *Milestones*: tanggal-tanggal penting yang terkait dengan pembiayaan proyek.
- Ringkasan pinjaman: biaya sebenarnya dari setiap pinjaman, besarnya dana yang ditarik dan waktunya saat penarikan mencapai maksimum.

Paket pinjaman keuangan yang terstruktur dengan baik harus mencapai tujuan dasar berikut:

- Maksimalkan pinjaman jangka panjang: biarkan entitas proyek yang menanggung pinjaman, sehingga tidak akan mempengaruhi neraca keuangan perusahaan induk sponsor.
- Memaksimalkan pembiayaan suku bunga tetap: pemanfaatan fasilitas kredit jangka panjang atau pinjaman subordinasi dengan suku bunga rendah dalam

jangka panjang akan mengurangi risiko proyek.

- Minimalkan risiko *refinancing*: cost overrun adalah masalah tambahan yang sering terjadi pada proyek konstruksi, karena itu sebaiknya diusahakan mendapat fasilitas pinjaman yang *standby* dari pemberi pinjaman dan sebaiknya selalu tersedia modal tambahan dari pihak developer.

Dalam upaya mengelola berbagai jenis risiko yang mungkin terjadi, selama masa konstruksi pemberi pinjaman akan sering memantau proyek apakah berjalan sesuai rencana seperti yang tertulis dalam perjanjian kerjasama. Perjanjian kerjasama ini biasanya akan meliputi: kesepakatan di antara para peserta proyek, definisi hak dan kewajiban pemberi pinjaman, jenis proyek, mekanisme bagi pemberi pinjaman untuk mengevaluasi parameter keuangan proyek. Parameter keuangan ini biasanya meliputi penarikan pinjaman, ekuitas, bunga selama konstruksi, bunga selama operasi, biaya pemberi pinjaman, risiko suku bunga/ *interest rate risk* (IRR), *net present value* (NPV), jangka waktu pengembalian pinjaman, fasilitas siaga (*standby facility*), modal kerja (*working capital*) dan rasio pembayaran utang (*debt service ratio*).

Jenis Pinjaman

Struktur pinjaman dari suatu paket pembiayaan atau pinjaman seringkali merupakan unsur terpenting dalam keberhasilan sebuah proyek. Kondisi pembiayaan pinjaman akan tergantung pada kriteria pemberi pinjaman dan sponsor/ developer serta jenis proyek yang sedang direncanakan. Hal perlu disetujui di awal adalah metode pembayaran pinjaman (*loan repayment method*).

Metode Pembayaran

- Pembayaran pinjaman dapat dilakukan dengan jumlah besaran uang yang dibayarkan pada setiap periode pembayaran adalah konstan, sementara pembayaran pinjaman dan bunga bervariasi. Sehingga ada tahap awal pembayaran, proporsi modal yang dikembalikan kecil, tetapi secara bertahap

meningkat sepanjang proyek. Bentuk pinjaman ini cocok untuk proyek yang tidak menghasilkan pendapatan sampai proyek beroperasi.

- Pembayaran pinjaman dengan angsuran pokok pinjaman yang sama; pokok pinjaman dibayar tetap pada setiap pembayaran, sehingga jumlah total pembayaran (uang pokok dan bunga) akan menurun dari waktu ke waktu karena terdiri dari pembayaran pokok yang konstan ditambah bunga atas pinjaman yang belum dibayar.
- Pembayaran pinjaman dilakukan pada saat pinjaman jatuh tempo; pinjaman dilunasi pada akhir periode pinjaman dalam satu kali pembayaran, tetapi bunga dibayar secara rutin. Bentuk pembayaran ini dapat dilakukan pada proyek-proyek yang menghasilkan pengembalian modal yang besar pada saat penyelesaian, atau hanya dapat dipertimbangkan untuk proyek-proyek di mana sponsor bermaksud untuk menjual fasilitas atau proyek tersebut segera setelah komisioning.
- Variasi lain dari struktur pembayaran pinjaman adalah dengan moratorium pembayaran modal atau pembayaran bunga untuk suatu periode tertentu pada awal pinjaman (grace period), dan pembayaran dilakukan pada jadwal pembayaran pinjaman yang telah disetujui. Struktur ini berguna untuk proyek-proyek yang tidak menghasilkan pendapatan sampai beroperasi penuh.

Suku Bunga

Tingkat suku bunga biasanya sangat bervariasi. Suku bunga dapat ditetapkan untuk jangka waktu pinjaman (fix), atau dinyatakan sebagai persentase dari tarif dasar standar. Dalam beberapa kasus, sponsor dapat menegosiasikan tingkat suku bunga mengambang dimana batas atas dan batas bawah tingkat suku bunga yang ditetapkan. Pada kondisi ini, sponsor dilindungi dari kenaikan suku bunga di atas batas yang disepakati, dan pemberi pinjaman juga terlindungi dari penurunan suku bunga di bawah batas yang disepakati.

Jaminan atas pinjaman

Pada pembiayaan pinjaman konvensional, pemberi pinjaman akan berusaha untuk membatasi risikonya dengan meminta agar peminjam memberikan jaminan atas pinjamannya. Bentuk jaminan dapat berupa asset proyek ataupun dalam bentuk jaminan lainnya.

Penilaian Pembiayaan Proyek Konstruksi

Dalam pembiayaan proyek konstruksi perlu dipertimbangkan berbagai risiko keuangan yang mungkin terjadi antara lain:

- suku bunga pinjaman yaitu jenis suku bunga apakah *fix* atau *floating*, perubahan suku bunga, suku bunga yang ada;
- pengembalian pinjaman yaitu periode pinjaman, dan penjadwalan pembayaran;
- pinjaman; yaitu jenis dan sumber pinjaman, ketersediaan pinjaman, biaya pelayanan pinjaman, default oleh pemberi pinjaman, fasilitas pinjaman siaga, rasio utang/ekuitas, holding period, utang yang ada, perjanjian.

Risiko keuangan yang mungkin terjadi pada proyek konstruksi akan semakin besar jika manajemen waktu pelaksanaan proyek tidak baik sehingga sering kali pelaksanaan konstruksi proyek menjadi mundur yang berakibat pada *cost overrun*.

Untuk meminimalkan risiko keuangan yang mungkin terjadi perlu dilakukan hal hal antara lain:

- estimasi biaya proyek yang teliti dan menyeluruh, mulai dari tahap persiapan, desain, pelaksanaan sampai serah terima proyek.
- Perencanaan aliran kas (cashflow) proyek yang menyeluruh meliputi antara lain; besaran dan waktu pembayaran biaya konstruksi, besaran dan waktu pembayaran pinjaman (bunga dan pinjaman), pembayaran pajak dan komponen pembiayaan lainnya.

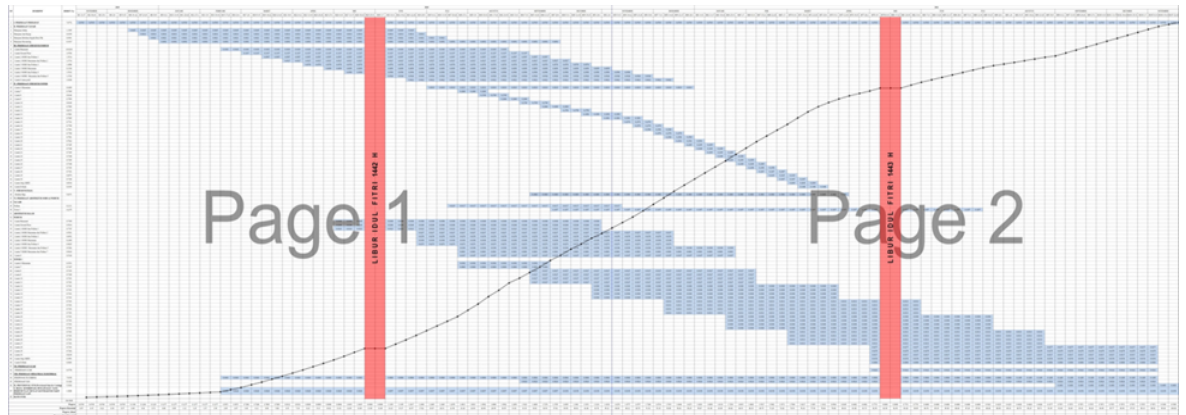
- Pengendalian biaya (cost control) meliputi pengawasan terhadap biaya yang keluar, melakukan pengawasan terhadap kinerja biaya selama proyek berlangsung dengan melakukan perbandingan antara biaya yang direncanakan dengan biaya yang aktual. [2]

Risiko Financial pada Pembiayaan Proyek

Secara umum estimasi biaya suatu proyek konstruksi biasanya dimulai dengan pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektural ruang dalam, pekerjaan mekanikal elektrik dan pekerjaan ruang luar proyek. Estimasi biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan biasanya digambarkan dalam bentuk kurva S. Sehingga kurva S ini akan menjadi indikator terlambat tidaknya pengerjaan suatu item pekerjaan dan hubungannya dengan pekerjaan terdahulu (*predecessor*) dan pekerjaan sesudahnya (*successor*). Contoh bentuk kurva S dapat dilihat pada gambar 22.1.

Dari kurva S yang telah dibuat, maka dapat diketahui berapa besarnya pembiayaan proyek setiap bulannya. Komponen pembiayaan ini disebut sebagai komponen biaya langsung (*direct cost*). Didalam pelaksanaan konstruksi, komponen biaya terdiri dari biaya langsung dan biaya tidak langsung (*indirect cost*).

Komponen biaya tidak langsung antara lain [3]; pajak, biaya risiko terdiri dari keuntungan (*profit*) dan biaya tak terduga (*contingency fee*), overhead cost antara lain biaya administrasi di lapangan dan di kantor pusat, dll. Untuk pelaksanaan proyek dengan menggunakan dana perbankan tentunya terdapat risiko keuangan berupa pembayaran pinjaman dan suku bunga.



Gambar 22.1. Contoh kurva S proyek gedung bertingkat (sumber: proyek X)

Selanjutnya akan dilihat beberapa risiko yang sering terjadi pada pelaksanaan proyek konstruksi dan pengaruhnya terhadap pembiayaan proyek. Peninjauan akan dilakukan pada proyek X (imajiner), dengan asumsi sebagai berikut:

Asumsi harga tanah	= Rp.50.000.000.000,-
Biaya konstruksi	= Rp. 300.000.000.000,-
Biaya tak terduga	= Rp. 35.000.000.000,-
Asumsi biaya overhead	= Rp. 350.000.000,-/ bulan (asumsi 2% total biaya proyek)

Komposisi pembiayaan; modal sponsor = 35% biaya konstruksi, pinjaman bank= 65% (pengeluaran pinjaman setelah selesai pemakaian modal sponsor).

Modal sponsor adalah sebesar Rp. 155.000.000.000 dengan komposisi

- Harga tanah = Rp.50.000.000.000,-,
- Penyertaan modal kerja (*working capital*) = Rp.105.000.000.000,-

Suku bunga tetap (*fix rate*) selama masa konstruksi (27 bulan)= 8% / tahun, setelah itu suku bunga akan berubah (*floating rate*) mengikuti suku bunga perbankan dalam hal ini= JIBOR + 3%. JIBOR (Jakarta Interbank Offered Rate) adalah suku bunga indikasi penawaran dan transaksi pasar uang antar bank di Indonesia. (bisnis.com)

Bobot pelaksanaan proyek didapat dari kurva S rencana seperti terlihat pada tabel 22.1

Tabel 22.1 Bobot pekerjaan proyek sesuai S curve rencana.

Waktu	2019		2020											
Bulan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bobot %	0.3	0.44	0.51	1.43	3	3.45	3.97	2.28	4.94	6.59	6.45	6.23	5.63	6.31
Kumulatif	0.3	0.73	1.25	2.67	5.68	9.13	13.09	15.37	20.31	26.9	33.35	39.58	45.21	51.52

Tabel 22.1 Bobot pekerjaan proyek sesuai S curve rencana. (lanjutan)

2021												
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
6.74	6.56	6.47	6.25	3.54	1.42	2.84	2.59	1.85	2.05	3.15	3.15	1.86
58.25	64.82	71.29	77.54	81.08	82.5	85.35	87.94	89.79	91.84	94.99	98.14	100

Kondisi pembiayaan proyek jika pelaksanaan proyek terlambat

Dari bobot pekerjaan berdasarkan kurva S realisasi, dapat dilihat bahwa pelaksanaan proyek adalah terlambat selama 4 bulan dari skedul rencana, dengan perkiraan selesai pada akhir bulan ke 31. Bobot pekerjaan dari kurva S dapat dilihat pada tabel 22.2.

Selanjutnya dibuat cashflow proyek dengan memasukan unsur pembiayaan lainnya. Sesuai perjanjian awal dengan lembaga perbankan, setelah bulan ke 27, maka suku bunga akan floating. Jika perkiraan suku bunga naik menjadi 10%, maka casflow proyek secara garis besar dapat dilihat pada tabel 22.3.

Tabel 22.3 Bobot pekerjaan proyek sesuai S curve realisasi

Waktu	2019		2020											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bobot %	0.23	0.34	0.39	0.86	1.36	1.40	1.05	1.05	1.88	2.26	2.47	2.47	2.47	2.47
Kumulatif	0.23	0.57	0.96	1.82	3.18	4.58	5.64	6.69	8.57	10.82	13.29	15.76	18.23	20.70

Tabel 22.3 Bobot pekerjaan proyek sesuai S curve realisasi (lanjutan)

2021													
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
2.47	3.02	3.02	3.62	3.23	1.30	5.90	7.15	7.36	7.81	8.82	7.59	5.07	4.44
23.17	26.19	29.21	32.82	36.05	37.35	43.26	50.41	57.77	65.58	74.40	81.99	87.05	91.49

Tabel 22.3 Bobot pekerjaan proyek sesuai S curve realisasi (lanjutan)

2022		
29	30	31
3.50	2.84	2.17
94.99	97.83	100.00

Dari perhitungan dalam cashflow proyek diketahui bahwa dengan modal sponsor sebesar Rp.105.000.000,- akan dapat dipakai untuk pelaksanaan konstruksi sampai bulan ke 18 dan pinjaman dari bank akan mulai dipakai pada bulan ke 19 dari pelaksanaan proyek. Contoh cashflow dapat dilihat pada tabel 22.4

Tabel 22.4 Contoh cashflow pembiayaan proyek terlambat 4 bulan

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bobot %	0.23	0.34	0.39	0.86	1.36	1.40	1.05	1.05	1.88
Kumulatif	0.23	0.57	0.96	1.82	3.18	4.58	5.64	6.69	8.57
biaya	693.9582	1010.9	1176.8	2572.7	4089.0	4209.4	3157.0	3157.0	5630.6
Kumulatif	693.9582	1704.9	2881.7	5454.4	9543.4	13752.8	16909.8	20066.9	25697.4
overhead	350	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0
total	1043.958	1360.9	1526.8	2922.7	4439.0	4559.4	3507.0	3507.0	5980.6
modal	1043.958	2404.9	3931.7	6854.4	11293.4	15852.8	19359.8	22866.9	28847.4
pinjamam									

bunga									
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Dari prediksi cashflow diketahui bahwa total pinjaman dan bunga adalah Rp. 216.219.000.000,-

Sehingga total biaya proyek berikut tanah menjadi:

Pinjaman dan bunga	:	Rp. 216.219.000.000,-
Working capital dari owner	:	Rp. 105.000.000.000,-
Harga tanah	:	Rp. 50.000.000.000,-
Total	:	Rp. 382.069.000.000,-

1.3 Penutup

Dari perhitungan keuangan proyek untuk kondisi pelaksanaan proyek sesuai dengan rencana, dan kondisi proyek terlambat dengan perkiraan waktu 4 bulan dapat dilihat perbedaan pengeluaran sebesar Rp. 382.069.000.000,- dikurangi Rp. 377.648.900.000,- yaitu sebesar Rp. 4.420.100.000,-

Selisih biaya pinjaman dan bunga adalah Rp. 216.219.000.000,- dikurangi Rp. 213.198.900.000,- yaitu sebesar Rp. 3.020.100.000,-

Sedangkan selisih biaya overhead adalah $4 \times \text{Rp. } 350.000.000 = \text{Rp. } 1.400.000.000,-$

Dapat dilihat bahwa jika proyek terlambat 4 bulan pertambahan biaya adalah sekitar 1,4% dari biaya proyek.

Peninjauan perbedaan biaya ini hanya dari risiko biaya pinjaman terhadap manajemen waktu dan sebaliknya tidak melakukan peninjauan terhadap risiko yang lain seperti misalnya kenaikan harga material, dan kejadian tak terduga lainnya.

Referensi

- [1] Merna, Tony, 2002, Engineering Project Management, p. 86-100: Project Finance, Blackwell Science, UK.
- [2] Ritz, George J., Levy, Sidney M., Total Construction Project Management 2nd ed, McGraw-Hill, 1994
- [3] Nuswantoro, Waluyo, 2019, Studi Praktik Estimasi Biaya Tak Langsung Pada Proyek Konstruksi Oleh Kontraktor Di Kota Palangka Raya, Prosiding Seminar Nasional Inovasi, Teknologi dan Aplikasi (Senitia), Bengkulu.
- [4] Otoritas Jasa Keuangan, Buku Pedoman Pembiayaan Proyek Bangunan Gedung Hijau untuk Lembaga Jasa Keuangan, 2015.
- [5] Remi, Fahadila F., Kajian Faktor Penyebab Cost Overrun Pada Proyek Konstruksi Gedung, Jurnal Teknik Mesin, 2017.
- [6] Nurdiana, Asri., Analisis Biaya Tidak Langsung Pada Proyek Pembangunan Best Western Star Hotel & Star Apartemen Semarang, <http://ejournal.undip.ac.id/>
- [7] AACE, Skills and Knowledge of Cost Engineering, 2015
- [8] Krisnawan, Made Adhi., Warsika, I Putu Dharma., Nadiasa, Mayun., Analisis Kebutuhan Modal Kerja Pada Pembangunan Proyek Perumahan Dengan Metode Discounted Cash Flow, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Universitas Udayana, 2015.
- [9] Maddeppungeng, Andi., Ujianto, Rifky., Fella, Mrs., Penerapan Metode Simulasi Monte Carlo Terhadap Risiko Finansial Proyek Konstruksi, Jurnal Fondasi, Vol. 7 No. 2, 2018.

Profil Penulis

Ir. Arianti Sutandi, M.Eng.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara dan Master of Engineering dari Asian Institute of Technology, Thailand. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1989 dalam Bidang Manajemen Rekayasa Konstruksi dan Keairan dengan Jabatan akademik Lektor.

BAB 23

Penilaian Kondisi Kerusakan Beton Pada Struktur Bangunan Gedung

Henny Wiyanto

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Bangunan gedung wajib memenuhi syarat keandalan yaitu aspek keselamatan. Keselamatan gedung yang beroperasi dipenuhi dengan melakukan pemeliharaan dan perawatan secara berkala yang terencana dengan baik. Gedung yang terawat dengan baik akan menjadi sehat serta dapat memperpanjang umur layan dan meminimalkan biaya perbaikan. Pemeriksaan dan penilaian tingkat kondisi adalah cara untuk menjaga kesehatan struktur gedung. Metode kuantitatif merupakan alat ukur untuk menilai tingkat kondisi beton berbasis pemeriksaan visual dan pengujian mutu beton. Hasil penilaian menunjukkan jenis kerusakan, tingkat kondisi dengan deskripsi dan lingkup kerusakan, beserta tindak lanjutnya. Pelaksanaan penilaian kondisi gedung merupakan bagian dari pemenuhan syarat gedung berkelanjutan dan berkeselamatan.

Kata kunci: Penilaian gedung, metode kuantitatif, tingkat kondisi, kerusakan beton, struktur gedung.

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

Bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus. Penyelenggaraan bangunan gedung adalah kegiatan pembangunan yang meliputi proses perencanaan teknis dan pelaksanaan konstruksi, serta kegiatan pemanfaatan, pelestarian, dan pembongkaran bangunan [1]. Pemanfaatan bangunan gedung merupakan kegiatan menggunakan bangunan gedung sesuai dengan fungsi yang telah ditetapkan termasuk kegiatan pemeliharaan, perawatan, dan pemeriksaan secara berkala [1], [2]. Perilaku pengguna bangunan gedung sangat berpengaruh pada kondisi kesehatan dan umur layan gedung. Kepedulian terhadap pemanfaatan gedung merupakan aset yang sangat berpengaruh terhadap pembangunan berkelanjutan. Perilaku pemanfaatan bangunan gedung yang tidak baik akan mengakibatkan kerusakan fisik dari gedung tersebut dan dapat mengancam keselamatan pengguna gedung. Untuk mengurangi risiko kerusakan gedung serta memberi rasa aman dan nyaman bagi pengguna gedung maka perlu dilakukan pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung secara berkala. Pemeriksaan berkala gedung dilakukan untuk memastikan keandalan bangunan gedung. Pemeriksaan persyaratan keandalan bangunan gedung meliputi pemenuhan persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan bangunan gedung [3]. Salah satu persyaratan keselamatan meliputi persyaratan struktur bangunan gedung [4]. Setiap gedung harus memenuhi syarat keselamatan untuk menghindari terjadinya kerusakan bahkan kegagalan bangunan. Kegagalan bangunan adalah suatu keadaan keruntuhan bangunan dan/atau tidak berfungsinya bangunan setelah penyerahan akhir hasil jasa konstruksi [5]. Untuk menjamin keandalan suatu bangunan gedung maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap kelaikan fungsi bangunan gedung secara berkala.

Pemeriksaan kelaikan fungsi bangunan gedung dilakukan untuk mengetahui kelaikan fungsi suatu bangunan gedung untuk penerbitan dan perpanjangan SLF, penilaian tingkat keandalan bangunan gedung pada masa pascabencana, dan penilaian tingkat keandalan bangunan gedung pada masa pemanfaatan bangunan gedung [4]. Pemeriksaan secara berkala bangunan gedung dilakukan untuk seluruh atau sebagian bangunan gedung, komponen, bahan bangunan, dan/atau prasarana dan sarana dalam rangka pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung, guna memperoleh perpanjangan sertifikat laik fungsi [2]. Pemeriksaan kelaikan fungsi bangunan gedung merupakan proses pemeriksaan pemenuhan persyaratan administratif dan persyaratan teknis bangunan gedung [4]. Sejak 10 September 2005 dengan berlakunya PP RI No.36 Tahun 2005, pemerintah menetapkan dalam jangka waktu paling lambat 5 (lima) tahun bangunan gedung yang telah didirikan sebelum dikeluarkannya PP ini wajib memiliki Sertifikat Laik Fungsi (SLF). Sertifikat Laik Fungsi (SLF) bangunan gedung adalah sertifikat yang diterbitkan oleh Pemerintah Daerah kecuali untuk bangunan gedung fungsi khusus oleh Pemerintah Pusat, untuk menyatakan kelaikan fungsi bangunan gedung sebagai syarat untuk dapat dimanfaatkan [4]. Tetapi pada praktiknya sampai saat ini masih banyak bangunan gedung yang belum memiliki SLF.

Persyaratan teknis bangunan gedung meliputi persyaratan tata bangunan dan persyaratan keandalan bangunan gedung. Pemeriksaan persyaratan keandalan bangunan gedung meliputi pemenuhan persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan bangunan gedung. Pemeriksaan pemenuhan persyaratan keselamatan bangunan gedung dilaksanakan untuk mengetahui kondisi nyata tentang sistem struktur bangunan gedung, sistem proteksi bahaya kebakaran, sistem penangkal petir, dan sistem instalasi listrik. Pemeriksaan sistem struktur bangunan gedung meliputi komponen struktur utama yaitu pondasi, kolom, balok, pelat lantai, rangka atap, dinding inti (*core wall*), dan *basement*, dan komponen struktur lainnya paling sedikit meliputi dinding pemikul dan penahan geser (*bearing and shear wall*), pengaku (*bracing*), dan/atau peredam (*dampers*).

Pemeriksaan sistem struktur bangunan gedung dilakukan dengan metode pengamatan visual terhadap kondisi dan kerusakan, pengukuran menggunakan peralatan, pemeriksaan kesesuaian kondisi faktual dengan rencana teknis dan gambar sesuai terbangun, penggunaan peralatan nondestruktif, dan pendokumentasian. Selain itu dapat digunakan metode penggunaan peralatan destruktif, pengujian kekuatan material, kemampuan struktur mendukung beban, dan/atau daya dukung tanah, dan/atau analisis pemodelan struktur bangunan gedung [3].

Pemeriksaan keandalan struktur bangunan gedung dapat dilakukan dengan dua tahap, yaitu pemeriksaan awal melalui pemeriksaan visual dan pemeriksaan detail melalui serangkaian pengujian sebelum disimpulkan dalam penilaian keandalan. Sampai pada tahap pengujian telah tersedia beberapa standar dan manual yang dapat digunakan sebagai acuan. Tetapi sampai saat ini belum ada acuan standar atau pedoman teknis untuk pemeriksaan dan penilaian keandalan struktur. Kekosongan peraturan ini selalu disikapi dengan penilaian deskriptif dengan kebiasaan penyelenggara kegiatan pemeriksaan. Konsekuensinya terjadi penilaian deskriptif tanpa referensi kuantitatif yang terukur dengan jelas. Ketidakjelasan acuan penilaian tentu menyulitkan pengambil keputusan dalam mempertanggungjawabkan hasil pemeriksaan bangunan [6]. Penilaian visual belum memiliki acuan, jadi penilaian yang dilakukan bersifat subjektif. Tidak ada *code* yang menentukan karakteristik dan kategori tingkat kondisi. Kondisi yang dinilai dengan pemeriksaan visual bersifat kualitatif, yang biasanya dinyatakan dalam istilah linguistik yang tidak tepat seperti "buruk," "baik," dan "sangat baik". Kondisi yang dinyatakan dalam istilah linguistik bervariasi dari masing-masing orang. Oleh karena itu informasi kualitatif yang diperoleh dari pemeriksaan visual merupakan kondisi yang bersifat subjektif dan tergantung pada pengalaman, pengetahuan, dan keahlian penilai. Beberapa skala penilaian kondisi telah dikembangkan di seluruh dunia untuk mengatasi sifat kualitatif dari kondisi penilaian berbasis pemeriksaan visual. Skala memberikan kondisi yang terukur

dalam hal kerusakan dan kebutuhan perbaikan yang sesuai [7].

Pemeriksaan keandalan struktur gedung dilakukan dengan metode pengamatan visual dan pengujian dengan peralatan. Pada kenyataannya, pelaksanaan pemeriksaan struktur gedung di lapangan menghadapi beberapa kendala yaitu:

- a Hasil pemeriksaan bersifat subjektif yang disampaikan menurut persepsi masing-masing penilai yang dapat menimbulkan perdebatan.
- b Kondisi kerusakan belum dapat diukur secara kuantitatif karena belum tersedia alat ukur dan acuan baku yang dapat mendefinisikan kerusakan bangunan.

Hasil pemeriksaan kerusakan bangunan gedung di lapangan umumnya berupa rekomendasi umum yang menjelaskan kondisi struktur gedung secara deskriptif berdasarkan hasil survey lapangan tanpa ada skala ukuran yang jelas. Saat ini belum ditemukan suatu acuan baku untuk menentukan kondisi kerusakan struktur gedung yang dapat diaplikasikan di lapangan. Sehingga dibutuhkan suatu metode penilaian bangunan untuk mengukur kondisi kerusakan struktur gedung secara kualitatif dan aplikatif digunakan di industri konstruksi di Indonesia. Metode penilaian ini bermanfaat untuk menentukan kondisi gedung pada proses pemeliharaan dan perawatan bangunan, gedung yang terkena gempa besar, gedung yang telah mencapai usia pakai, gedung yang akan membuat dan memperpanjang SLF, serta menilai gedung untuk proses jual beli dan asuransi.

1.2 Isi/Pembahasan

Penilaian Kondisi Kerusakan Beton

Penilaian bangunan gedung dilakukan untuk mengetahui kondisi kerusakan gedung yang digambarkan dalam tingkat kategori. Kondisi bangunan wajib diketahui oleh pengelola dan pemilik gedung untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan pengguna gedung. Kerusakan gedung dapat terjadi akibat pelaksanaan konstruksi yang kurang baik, lingkungan, bencana alam seperti gempa bumi, kurang atau tidak ada perawatan gedung, kesalahan dalam

pemanfaatan gedung seperti kelebihan beban dan perubahan fungsi bangunan. Pada bangunan gedung dengan struktur beton bertulang, kerusakan dapat berupa perubahan tampak pada fisik beton yang dapat dilihat dengan kasat mata, dan degradasi mutu beton. Penilaian kerusakan fisik beton dilakukan dengan metode pengamatan visual, sedangkan penilaian beton yang mengalami degradasi mutu beton dilakukan dengan metode pengujian pada tubuh beton.

Metode Penilaian Kerusakan Beton

Metode pemeriksaan visual memberikan informasi penting mengenai kinerja dan daya tahan struktur [8]. Pemeriksaan visual beton bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan kondisi beton yang dapat dilihat selama masa kerjanya. Pemeriksaan visual termasuk pemeriksaan beton yang tidak merusak yaitu pemeriksaan yang dilakukan dengan mengamati dan mencatat kerusakan yang terjadi pada permukaan beton yang terlihat secara kasat mata. Metode pengujian beton memberikan informasi penting mengenai kondisi mutu beton lapangan. Pengujian beton dibagi menjadi dua jenis pengujian yaitu pengujian non destruktif dan pengujian destruktif. Pengujian non destruktif adalah penilaian terhadap bahan, komponen, atau sistem tanpa mengubah properti atau mengganggu layanan di masa depan [9]. Pengujian non destruktif merupakan pengujian yang dilakukan pada permukaan beton sehingga tidak merusak tubuh beton. Pengujian destruktif adalah proses mengamati, memeriksa, dan mengukur sifat-sifat bahan, komponen, atau sistem yang dilakukan pada tubuh beton sehingga dapat mengubah, merusak, atau menghancurkan sifat-sifat tersebut atau mempengaruhi masa kerja spesimen uji. Pengujian destruktif dilakukan pada bagian gedung di lapangan atau pengambilan sampel dan diuji di laboratorium [9].

Permasalahan paling mendasar pada penilaian kerusakan beton adalah hasil pemeriksaan kerusakan beton dan pengujian mutu beton harus dapat menggambarkan tingkat kondisi yang terukur. Artinya hasil penilaian bangunan harus dapat menyatakan kategori kondisi kerusakan beton yang terukur secara

kuantitatif dan menentukan tindakan yang harus dilakukan terhadap bangunan gedung yang diperiksa. Berdasarkan permasalahan yang muncul pada pelaksanaan penilaian kerusakan bangunan gedung di lapangan, maka dibutuhkan suatu metode untuk mengukur kondisi kerusakan struktur gedung secara kuantitatif.

Pengembangan penilaian kerusakan bangunan gedung secara visual dengan skala tingkat kondisi untuk bangunan gedung telah dilakukan di berbagai Negara dalam bentuk penelitian diantaranya [7], [10], [11], [12], [13], dan untuk penilaian dengan pengujian non destruktif dan destruktif menggunakan skala tingkat kondisi untuk bangunan gedung diantaranya [11], [14]. Tetapi belum ada metode penilaian kuantitatif yang dapat langsung diaplikasikan di Indonesia.

Untuk menghasilkan metode yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat terkait pemeriksaan bangunan di lapangan maka dibutuhkan dasar pemikiran yang menggambarkan suatu masalah dengan dipengaruhi banyak fenomena. Konsep berpikir ini disajikan dalam tujuh langkah yaitu [15]:

- a Menentukan dan memahami situasi masalah.
- b Menyatakan situasi masalah dengan mengumpulkan data terkait masalah serta mengumpulkan informasi melalui studi literatur dan studi kasus.
- c Merumuskan definisi akar yang menggambarkan sistem ideal menggunakan metode CATWOE, yaitu:
 - Menentukan siapa yang mendapat manfaat dan siapa yang melakukan.
 - Menemukan masalah yang menjadi kendala dan harus diubah atau dikembangkan untuk mengakomodasi kekurangan yang ada di lapangan.
 - Menentukan metode yang paling tepat sehingga bermanfaat bagi masyarakat pengguna di lapangan. Dalam hal ini dibutuhkan pemahaman masalah dari pihak-pihak terkait.
 - Menentukan siapa yang memiliki dan pengambil keputusan di lapangan.
 - Menemukan kendala yang muncul di lapangan pada penerapan metode hasil perubahan.

- d Membangun model konseptual.
- e Membandingkan model konseptual dengan kondisi nyata di lapangan.
- f Mengidentifikasi dan menentukan perubahan yang dibutuhkan secara sistematis, layak untuk dilaksanakan dan dapat diterima masyarakat pengguna.
- g Penerapan metode baru yang merupakan hasil pengembangan dan penyempurnaan dari yang selama ini dilakukan.

Berdasarkan konsep pemikiran tersebut dihasilkan suatu metode penilaian yang dapat mengukur kondisi kerusakan struktur beton bangunan gedung dengan metode pengamatan visual dan metode pengujian dengan lima kategori berikut [16], [17], [18]:

- a Kondisi sangat baik, tidak ada kerusakan pada gedung.
- b Kondisi baik, ada kerusakan ringan pada gedung.
- c Kondisi sedang, ada kerusakan sedang pada gedung.
- d Kondisi buruk, terjadi kerusakan berat pada gedung.
- e Kondisi sangat buruk, terjadi kerusakan sangat berat pada gedung.

Setiap kategori tingkat kondisi bangunan dapat menunjukkan tindakan yang harus dilakukan oleh pengelola dan/atau pemilik gedung, yaitu [16], [17], [18]:

- a Bangunan layak dan aman untuk digunakan, dengan tetap melakukan pemeliharaan dan perawatan rutin.
- b Bangunan perlu perbaikan dalam lingkup pemeliharaan dan perawatan rutin.
- c Bangunan perlu pengujian dan perbaikan.
- d Bangunan perlu perkuatan struktur dan/atau pengurangan beban
- e Bangunan tidak dapat digunakan lagi atau harus dibongkar.

Pemeriksaan visual merupakan langkah awal untuk melakukan penilaian. Apabila hasil pemeriksaan kondisi beton masuk dalam kondisi sedang maka perlu dilakukan pengujian mutu beton lapangan. Apabila kerusakan beton masuk dalam kondisi buruk maka harus dilakukan analisis struktur untuk melakukan tindakan

perkuatan struktur atau pengurangan beban. Pengujian dapat dilakukan dengan pengujian non destruktif dan pengujian destruktif. Hasil penilaian berupa suatu angka yang terukur secara kuantitatif yang menggambarkan kondisi gedung. Dengan mengetahui tingkat kondisi kerusakan gedung pada seluruh gedung, maka pengelola gedung bersama pemilik dapat melihat prioritas perbaikan gedung. Apabila ada banyak bagian gedung atau banyak gedung yang perlu perbaikan, maka dapat menentukan prioritas perbaikan bagian gedung atau gedung yang harus dilakukan terlebih dahulu dan yang masih mempunyai tenggang waktu tertentu.

Manfaat dan Dampak Penilaian Kerusakan Beton

Penilaian kerusakan gedung harus menjadi bagian penting dalam proses pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung yang dilakukan secara berkala. Hal ini dilakukan dengan tujuan mendeteksi sedini mungkin setiap kerusakan baik kecil maupun besar yang terjadi pada struktur beton. Sehingga penilaian bukan saja dilakukan pada saat gedung mengalami masalah, tetapi diharapkan penilaian dapat dilakukan secara rutin sehingga gedung menjadi sehat dan terawat dengan baik. Bangunan gedung yang terawat dengan baik akan memenuhi unsur keselamatan gedung, sehingga akan memberi rasa aman dan nyaman bagi pengguna gedung. Selain itu gedung yang terawat dengan baik memiliki kemampuan untuk dapat terus digunakan sesuai dengan fungsinya atau berkelanjutan, sehingga akan mempengaruhi umur layan gedung. Umur layan gedung dapat melebihi umur rencananya. Pada kenyataan di lapangan dapat dilihat bahwa ada gedung yang sudah tua tetapi masih dalam kondisi baik dan layak digunakan, sebaliknya ada gedung yang umur layannya tergolong muda tetapi sudah terlihat kerusakan di banyak tempat. Dari permasalahan ini dapat dikatakan umur layan gedung tidak berbanding lurus dengan tingkat kondisi kerusakan gedung. Jadi apabila penilaian dilakukan hanya pada saat bangunan mengalami masalah apalagi masalah yang berat, maka gedung menjadi tidak terawat dan umur layan menjadi lebih kecil dari umur rencananya. Sehingga gedung tidak memenuhi

unsur keselamatan dan keberlanjutan.

Tindakan pemeliharaan dan perawatan yang terencana dan dilakukan secara berkala akan berdampak pada biaya perbaikan gedung, karena dalam tindakan pemeliharaan dan perawatan gedung yang baik akan dilakukan hal berikut:

a Pemanfaatan gedung yang sesuai fungsi.

Pemanfaatan gedung selama umur layan harus sesuai fungsi rencana. Pemanfaatan gedung yang tidak sesuai fungsi dengan beban lebih besar dari rencana, maka dapat mempercepat kerusakan gedung dan mengurangi umur layan gedung. Perbaikan terhadap kerusakan ini memakan biaya besar.

b Penilaian kerusakan bangunan

Penilaian kerusakan dilakukan pada keseluruhan bagian gedung khususnya struktur gedung. Hasil penilaian kerusakan gedung dapat memberi gambaran tingkat kondisi gedung, serta akan memberi alternatif langkah tindakan yang tepat sesuai tingkat kerusakannya. Dengan tindakan perbaikan yang tepat sasaran maka biaya perbaikan yang dikeluarkan juga sesuai kondisi bangunan, sehingga tidak menimbulkan biaya yang sebenarnya tidak diperlukan.

Langkah Penilaian Kerusakan Beton

Penilaian kondisi kerusakan struktur beton dengan metode pemeriksaan visual dan pengujian dilakukan dengan langkah berikut:

- a Survey lapangan dan dokumentasi.
- b Pengamatan visual pada elemen struktur gedung dan/atau pengujian mutu beton, serta dokumentasi.
- c Menentukan penyebab kerusakan.
- d Menganalisis kerusakan struktur beton.
- e Menentukan tingkat kondisi kerusakan struktur beton dan tingkat kondisi gedung, serta tindakan yang harus dilakukan.
- f Membuat laporan hasil penilaian.

Penerapan Metode Penilaian Kerusakan Beton

Perbedaan hasil penilaian yang menggunakan metode penilaian yang terukur secara kuantitatif dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Table 1 dapat dilihat bahwa penilaian tingkat kondisi beton menggunakan metode penilaian yang terukur secara kuantitatif menghasilkan nilai berupa suatu angka dengan deskripsi tingkat kondisi.




Penerapan penilaian kondisi kerusakan beton dari beberapa jenis kerusakan yang dapat terjadi di bangunan gedung dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan penilaian tingkat kondisi untuk beberapa jenis kerusakan beton yang dinilai dengan metode kuantitatif.

Tabel 1 Hasil penilaian tingkat kondisi struktur beton

Nama Bangunan	Penilaian Lapangan	Penilaian Metode Kuantitatif
Gedung X	Hasil pemeriksaan lapangan disampaikan secara deskriptif, seperti: <ul style="list-style-type: none">- Disarankan untuk ditinjau lebih lanjut.- Perlu ditinjau lebih lanjut penyebab kerusakan.- Perlu diuji lebih lanjut.	<ul style="list-style-type: none">- Nilai Tingkat Kondisi: 3,1- Deskripsi: Kondisi Sedang.- Tindakan: perlu pengujian mutu beton, untuk menentukan tingkat kondisi struktur beton dan menentukan tindakan yang akan dilakukan.



Tabel 2 Penilaian kondisi kerusakan beton

Nama Bangunan	Penilaian Lapangan	Metode Penilaian
----------------------	---------------------------	-------------------------

Gedung Y		<p>Jenis kerusakan: <i>Scalling medium</i> <i>Crazing</i></p> <p>Tingkat Kondisi: 3,43 (Lokal) Kondisi sedang</p> <p>Tindakan: Perlu pengujian dan perbaikan</p>
		<p>Jenis kerusakan: <i>Disintegration</i></p> <p>Tingkat Kondisi: 3,44 (Lokal) Kondisi sedang</p> <p>Tindakan: Perlu pengujian dan perbaikan</p>
		<p>Jenis kerusakan: <i>Delamination</i> Tulangan berubah warna dan mulai berkarat</p> <p>Tingkat Kondisi: 3,98 (Global) Kondisi buruk</p> <p>Tindakan: Perlu perkuatan struktur atau pengurangan beban</p>

Tabel 2 Penilaian kondisi kerusakan beton (lanjutan)

Nama Bangunan	Penilaian Lapangan	Metode Penilaian
---------------	--------------------	------------------

Gedung Y		<p>Jenis kerusakan: <i>Popouts small</i></p> <p>Tingkat Kondisi: 2,11 (Lokal) Kondisi baik</p> <p>Tindakan: Perlu perbaikan dalam lingkup pemeliharaan dan perawatan rutin</p>
		<p>Jenis kerusakan: <i>Spall large</i> Tulangan berubah warna dan mulai berkarat</p> <p>Tingkat Kondisi: 3,66 (Lokal) Kondisi sedang</p> <p>Tindakan: Perlu pengujian dan perbaikan</p>

Hasil penilaian menunjukkan jenis kerusakan pada suatu elemen struktur, tingkat kondisi elemen struktur gedung dengan deskripsi tingkat kerusakan, serta tindakan yang harus dilakukan. Penilaian kondisi kerusakan beton mempertimbangkan penyebaran kerusakan pada elemen struktur gedung dan pengaruh kerusakan terhadap kondisi bangunan gedung dimasa mendatang. Masing-masing jenis kerusakan yang terjadi pada elemen struktur gedung memberikan tingkat pengaruh yang berbeda pada struktur gedung secara keseluruhan. Pemeriksaan dan penilaian dilakukan pada seluruh elemen struktur bangunan gedung secara berkala dan baik.

1.3 Penutup

Bangunan gedung wajib memenuhi syarat keandalan bangunan yang salah satu aspeknya adalah aspek keselamatan bangunan gedung. Dalam aspek keselamatan gedung yang wajib dipenuhi adalah syarat keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Syarat keselamatan bangunan gedung diantaranya gedung harus mampu mendukung beban muatan maksimum dari beban mati dan beban hidup sesuai fungsi bangunan, serta beban yang timbul dari perilaku alam seperti beban angin dan/atau beban gempa. Bangunan gedung harus dimanfaatkan maksimum sesuai dengan fungsi dan desain rencana, sehingga struktur gedung dapat memikul beban sesuai dengan kapasitas struktur. Pemanfaatan bangunan gedung harus selalu dijaga agar tetap sesuai dengan fungsi yang ditetapkan dalam izin mendirikan bangunan gedung termasuk kegiatan pemeliharaan, perawatan, dan pemeriksaan secara berkala. Bangunan gedung dapat dimanfaatkan apabila gedung memenuhi syarat laik fungsi yang dibuktikan dengan kepemilikan Sertifikat Laik Fungsi (SLF). Pemeliharaan dan perawatan gedung merupakan langkah untuk menjaga keandalan struktur gedung agar tetap laik fungsi.

Pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung harus dilakukan secara berkala dengan baik untuk menjaga kondisi gedung tetap sehat dan laik fungsi. Untuk menjaga kesehatan dan kelaikan bangunan gedung maka dilakukan pemeriksaan dan penilaian kondisi gedung khususnya struktur gedung. Penilaian struktur gedung dilakukan dengan pemeriksaan visual dan pengujian mutu pada elemen struktur untuk mengidentifikasi kerusakan dan kekuatan struktur gedung. Penilaian kondisi struktur beton bangunan gedung dapat dilakukan dengan metode kualitatif yang dapat memberikan hasil penilaian lebih terukur dengan skala tingkat kondisi. Hasil penilaian dapat menggambarkan gedung dalam kondisi sangat baik, baik, sedang, buruk, atau sangat buruk berdasarkan tingkat kerusakan yang terjadi pada setiap elemen struktur gedung. Setiap tingkat kondisi ditunjukkan dengan suatu angka skala yang menggambarkan tingkat kondisi setiap jenis kerusakan struktur beton dengan mempertimbangkan penyebaran kerusakan pada elemen struktur dan

pengaruh jenis kerusakan terhadap struktur gedung. Nilai tingkat kondisi kerusakan struktur beton akan menentukan tindakan yang harus dilakukan yang menjadi bagian pada proses perawatan bangunan. Tindakan dapat berupa perbaikan dalam lingkup pemeliharaan dan perawatan rutin, pengujian mutu beton, perkuatan struktur dan/atau pengurangan beban, atau pembongkaran gedung. Tindakan dilakukan sesuai dengan tinggi atau rendah tingkat kondisi yang menggambarkan berat atau ringan tingkat kerusakan yang terjadi. Sehingga langkah yang dilakukan pada proses pemeliharaan dan perawatan bangunan menjadi efisien, dan tidak ada pemborosan biaya.

Penilaian kondisi gedung harus selalu dilakukan pada proses pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung sehingga dapat memberi rasa aman dan nyaman bagi pengguna gedung serta dapat memperpanjang umur layan gedung. Bangunan gedung yang memenuhi syarat keandalan bangunan dengan melakukan proses penilaian dan tindakan perawatan baik berarti gedung merupakan gedung yang berkeselamatan dan berkelanjutan. Penilaian kondisi bangunan harus dilakukan pada semua jenis bangunan gedung di seluruh Indonesia.

Referensi

- [1] Republik Indonesia, 2002, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002* tentang bangunan gedung, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Jakarta.
- [2] Republik Indonesia, 2005, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 36 Tahun 2005* tentang peraturan pelaksanaan undang-undang nomor 28 tahun 2002 tentang bangunan gedung, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Jakarta.
- [3] Republik Indonesia, 2018, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 11/PRT/M/2018* tentang Tim Ahli Bangunan Gedung, Pengkaji Teknis, dan Penilik Bangunan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Jakarta.
- [4] Republik Indonesia, 2018,.” *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 27/PRT/M/2018* tentang Sertifikat Laik Fungsi bangunan gedung, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Jakarta.
- [5] Republik Indonesia, 2017, *Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017* tentang Jasa Konstruksi, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Jakarta.
- [6] Wuryanti, W., 2013, *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*, S69.
- [7] Jain, K.K. and Bhattacharjee, B., 2012, *Journal of Construction Engineering And Management* 138-3-399.
- [8] American Concrete Institute (ACI) Committee 201, 2008, *ACI 201.1R-08: Guide for conducting a visual inspection of concrete in service*, The American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. USA.
- [9] Structural Engineering Institute American Society of Civil Engineers (SEI/ASCE), 2000, *SEI/ASCE 11-99: Guideline for structural condition assessment of existing buildings*, The American Society of Civil Engineers, The United State of America.

- [10] Mitra, G., Jain, K.K., and Bhattacharjee, B., 2010, *Journal of Performance of Constructed Facilities* 24-6-562.
- [11] Tirpude, N.P., Jain, K.K., and Bhattacharjee, B., 2014, *Journal of Performance of Constructed Facilities* 28-2-250.
- [12] Pragalath, H., Seshathiri, S., Rathod, H., Esakki, B., and Gupta, R., 2018, *Journal of Performance of Constructed Facilities* 32-2-1.
- [13] Noor, S.M., Richard, H.K., Ibrahim, I.S., Sarbini, N.N., Hanseung, L., Kumar, J., 2020, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 849-1-012075.
- [14] Malek, M., Tumeo, M., and Saliba, J., 2015, *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering* 1-1-1.
- [15] Wiyanto, H., 2020, *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil* 26-1-52.
- [16] Wiyanto, H., Lie, D., Kurniawan, J., 2018, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 508-2019-012003.
- [17] Wiyanto, H., Chang, J., Dennis, J., 2019, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 852-2020-012058.
- [18] Wiyanto, H., Makarim, C.A., Gondokusumo, O., 2020, *Technology Reports of Kansai University* 62-09-5861.

Profil Penulis

Ir. Henny Wiyanto, M.T.



Lulus Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Indonesia. Memperoleh sertifikat Insinyur Profesional Madya (I.P.M.) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII). Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil sejak tahun 1993 dalam bidang Manajemen Rekayasa Konstruksi dengan jabatan akademik dosen Lektor Kepala. Saat ini sedang menyelesaikan studi Doktor Teknik Sipil dengan topik

penelitian penilaian kondisi beton pada struktur bangunan gedung. Menjabat sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil periode 2012-2018 dan Wakil Dekan Fakultas Teknik periode 2018 sampai sekarang di Universitas Tarumanagara. Meraih peringkat II Ketua Program Studi Berprestasi PTS di lingkungan Kopertis Wilayah III pada Tahun 2017. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi penilaian bangunan gedung, bangunan hijau, perataan sumber daya, dan rekayasa nilai.

BAB 24

Pengantar Sistem Transportasi Vertikal Dalam Gedung untuk Mendukung Lalu Lintas Orang dan Barang

Agustinus Purna Irawan

Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

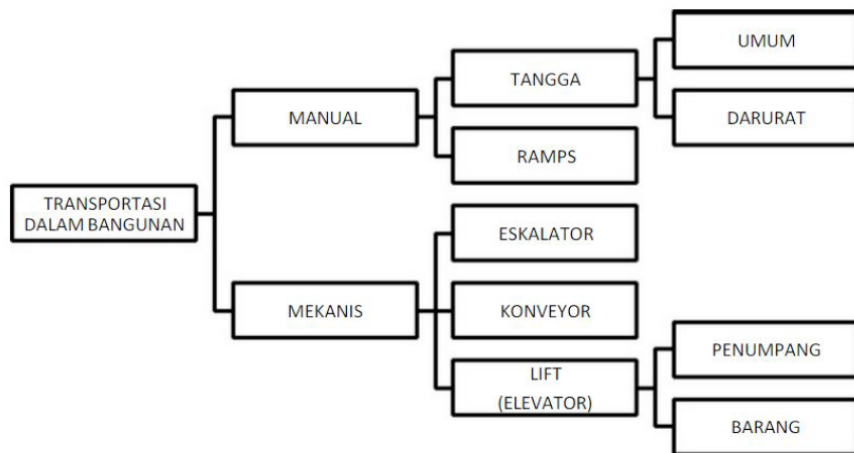
Bangunan bertingkat sudah menjadi kebutuhan masyarakat luas, baik sebagai tempat tinggal, perkantoran, bisnis, rumah sakit, sekolah dan berbagai keperluan lainnya. Keterbatasan lahan, kemudahan akses, efektivitas, prestige, kebanggaan, keindahan, kenyamanan dan berbagai alasan lainnya, menyebabkan bangunan bertingkat makin menjadi pilihan. Salah satu hal penting yang mendukung operasional bangunan bertingkat adalah sistem transportasi vertikal dalam gedung berupa lift. Makalah ini membahas sistem transportasi dalam gedung berupa lift yang terkait dengan aspek kegunaan, perencanaan dan perawatan, sehingga lift tersebut dapat dimanfaatkan dengan baik, aman, nyaman dan sesuai dengan kebutuhan pengguna gedung dalam pergerakan orang dan barang.

Kata kunci: Gedung bertingkat, transportasi vertikal dalam gedung, lift, keselamatan

1.1 Pendahuluan/ Latar Belakang

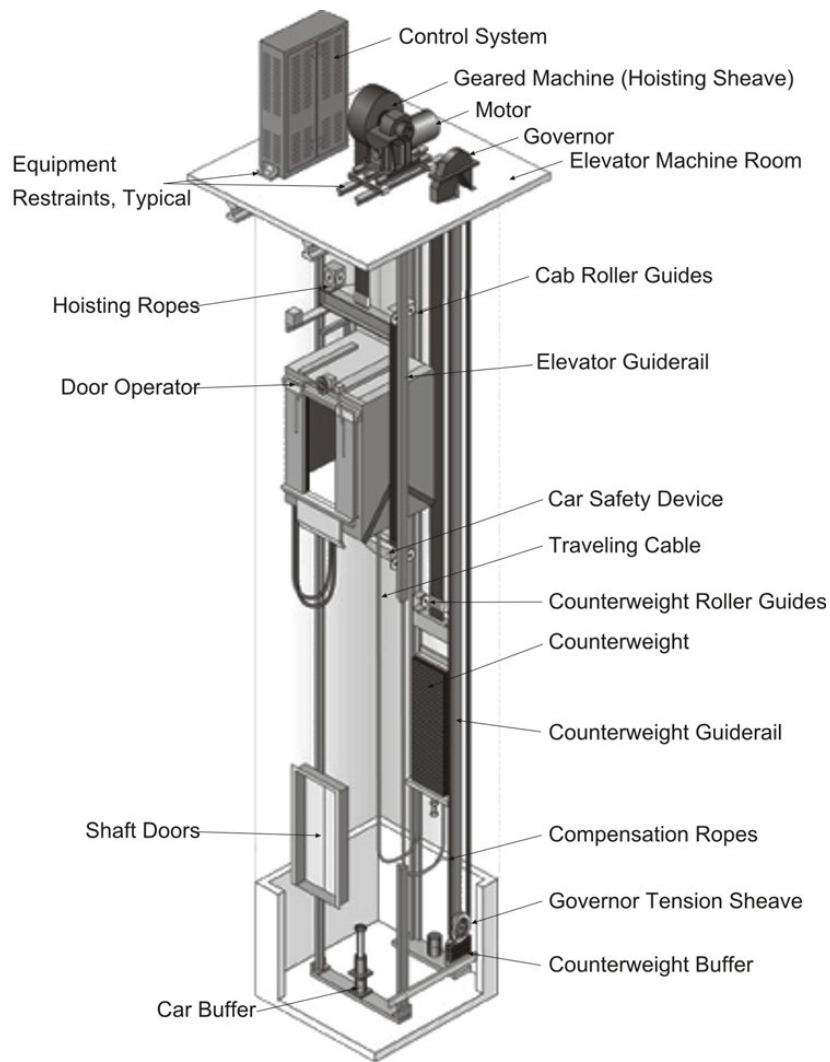
Transportasi Dalam Gedung

Transportasi dalam gedung sangat dibutuhkan bagi pergerakan orang dan barang, sehingga dapat menuju ke tempat yang diinginkan baik secara horizontal maupun secara vertikal ke atas maupun ke bawah dengan baik, cepat, aman dan nyaman.



Gambar 24.1. Transportasi Dalam Gedung [1]

Transportasi vertikal terdiri dari berbagai jenis antara lain lift, eskalator, travator, dan dumbwaiter. Secara umum, lift digunakan di gedung perkantoran, apartemen, dan hotel, travalator banyak digunakan di bandar udara, eskalator banyak digunakan di pusat perbelanjaan dan mall, dumbwaiter banyak digunakan di hotel dan rumah sakit. Pembahasan dalam book chapter ini difokuskan pada alat transportasi vertikal dalam gedung berupa lift. Lift atau elevator merupakan angkutan transportasi vertikal yang digunakan untuk mengangkut orang atau barang. Lift biasanya digunakan di gedung bertingkat tinggi lebih dari tiga lantai. Secara umum ada beberapa jenis lift yaitu jenis hidrolik, traxon atau katrol tetap, dan hoist atau katrol ganda. Jenis hoist dapat dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu hoist dorong dan hoist Tarik [1-3]. Bagian utama dari lift dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 24.2. Skema dan Bagian-bagian Utama Lift [4]

Lift dipilih sebagai salah satu alat transportasi vertikal dalam gedung dengan beberapa keunggulan antara lain [3,6-8]:

- a. Waktu tempuh yang cepat untuk menuju lantai yang dikehendaki, dengan aman dan nyaman. Hal ini akan menghemat waktu dan tenaga sehingga memberikan keuntungan dan kenyamanan bagi penggunaanya. Waktu tempuh dapat diprogram dengan baik sesuai dengan kecepatan yang dapat dijalankan oleh lift tersebut.

- b. Kapasitas angkut dapat didesain sedemikian rupa sehingga mampu mengangkut penumpang baik orang maupun barang dalam jumlah yang banyak sesuai kapasitas desain lift.
- c. Penumpang dapat membawa barang dengan mudah, sehingga tidak mengalami kerepotan untuk memindahkan barang-barang yang berbahaya atau berat, sampai menuju lantai yang diinginkan.

1.2 Isi/Pembahasan

Jenis Lift

Lift sebagai alat transportasi vertikal dalam gedung, memiliki berbagai jenis sesuai dengan kebutuhan dan pelayanan terhadap penumpang dan barang yang dipindahkan. Dalam mendesain sistem transportasi vertikal dalam gedung dengan menggunakan lift, maka pihak pengembang atau pemilik gedung perlu berkonsultasi kepada produsen lift sehingga dapat memilih jenis yang paling sesuai dengan kebutuhan dalam gedung tersebut. Namun demikian, secara umum dapat dijelaskan beberapa jenis lift yang dapat menjadi pilihan bagi pengembangan atau pemilik gedung sebagai berikut [3, 5-12]:

a. Lift Penumpang

Lift penumpang atau disebut juga dengan passenger elevator atau lift merupakan lift yang paling banyak digunakan di dalam gedung. Lift ini didesain dan dipasang khusus untuk mengangkut dan memindahkan penumpang dari satu tempat ke tempat lain dengan kapasitas dan kecepatan tertentu. Lift penumpang dilengkapi dengan sistem ventilasi atau fan atau sistem pendingin ruangan yang nyaman, dengan estetika yang baik, sistem kontrol yang modern, dapat dilengkapi dengan multimedia misalnya untuk mengetahui lantai tujuan, iklan layanan dan sebagainya. Lift penumpang pada perkantoran yang mewah, hotel berbintang yang tinggi dan berbagai kebutuhan lainnya, dilengkapi dengan interior yang mengesankan elegan, mewah dan membuat penumpang merasa sangat nyaman. Untuk gedung-gedung yang sangat tinggi, kecepatan lift

dapat diatur sedemikian rupa sehingga terasa cepat menuju lantai yang diinginkan.

b. Lift Barang

Lift barang juga disebut sebagai alat bantu material handling merupakan lift yang dirancang khusus untuk kebutuhan mengangkut dan memindahkan barang-barang dalam gedung bertingkat. Secara umum, untuk gedung bertingkat dengan jumlah penghuni yang banyak, maka dapat dibuat suatu acuan dimana kebutuhan lift dapat direncanakan dengan pola setiap ada 5 lift dalam gedung, maka salah satunya adalah khusus lift barang. Lift barang dapat difungsikan mengangkut penumpang pada kondisi tertentu atau pada saat jam sibuk pelayanan transportasi vertikal dalam gedung. Kapasitas lift barang berbeda-beda sesuai dengan desain dan kebutuhan gedung. Secara umum beban berkisar 1 sampai 5-ton dengan ukuran kereta 1,60 x 2,10 m sampai dengan 3,10 x 4,20 m. Lift barang ini digerakkan dengan kecepatan maksimum 1,5 – 2 m/s atau rata-rata 0,25 – 1 m/s [1-3].

c. Lift rumah sakit

Lift ini merupakan lift yang digunakan secara khusus untuk mengangkut pasien, baik yang dibawa dengan menggunakan kursi roda maupun dengan tempat tidur pasien. Lift rumah sakit ini dilengkapi dengan pegangan tangan (*handrail*) seperti pada ramp yang bisa dimanfaatkan bagi pengguna kursi roda atau mereka yang membutuhkan peralatan bantu khusus.

d. Lift dumbwaiter

Lift merupakan lift dalam kelompok service lift, dengan fungsinya ditujukan untuk kegiatan pendukung operasional. Dumbwaiter ini menggunakan motor penggerak traksi MRL. Sangat cocok untuk digunakan dalam mengangkat barang-barang ringan seperti pakaian, makanan, kertas dan barang-barang lainnya. Lift dumbwaiter mempunyai bentuk berupa box dengan ukuran kecil

dan memiliki daya angkut yang kecil. Lift jenis ini banyak ditemukan digunakan pada rumah sakit, cafe, dan restoran dengan fungsi untuk mengirimkan makanan dari tempat memasak ke konsumen atau pasien. Kapasitas angkut antara 100-300 kg, dengan 60 x 80 cm atau 1 x 1 m, dengan kecepatan sekitar 0,4 m/s [1-3].

e. Lift Pemandangan

Lift ini merupakan lift yang digunakan untuk menikmati pemandangan, sehingga biasanya didesain dengan khusus, mempunyai estetika yang baik dan nyaman digunakan. Lift ini memungkinkan penumpang melihat keluar dengan jelas dan dapat menikmati pemandangan disekitarnya pada saat digunakan. Biasanya dinding terbuat dari bahan yang transparan dan jernih sehingga tidak mengganggu penumpang dalam menikmati pemandangan selama perjalanan naik dan turun menuju tempat tujuan.

Cara Kerja Lift

Secara umum, cara kerja lift mengikuti konsep pesawat sederhana atau sistem katrol. Lift terdiri dari beberapa komponen utama yaitu motor penarik, tali baja, kereta penumpang, peredam jika sebagai pengaman jika lift sampai mengalami kecelakaan kerja, sistem elektrik, sistem control, massa pengimbang dan sistem kendali. Kereta dihubungkan dengan tali baja yang sangat kuat yang melewati sheave di lift di ruang mesin. Sheave berupa roda dalam sistem katrol untuk memegang erat tali baja dengan kuat, bekerja dengan penggunaan prinsip gaya sentrifugal. Sistem ini dioperasikan oleh motor penggerak yang baik. Pengoperasian dapat dilakukan dengan menggunakan sakelar dalam kondisi ON, sehingga lift dapat bergerak menghantarkan penumpang menuju lantai yang diinginkan. Agar motor penggerak dapat berfungsi dengan baik, lift harus dilengkapi dengan sistem pengendali lift. Sistem yang biasanya digunakan adalah Programmable Logic Controller (PLC). Adapun bagian komponen dari sebuah lift mencakup sistem pengontrol kecepatan, motor listrik, rel, kereta, poros, pintu baik

manual maupun otomatis, unit penggerak, buffer, dan alat pengaman [6-12].

Penyebab Lift Tidak Bekerja

Ada kalanya, lift mengalami masalah dalam operasionalnya, sehingga tidak dapat melayani penumpang dengan baik. Jika lift tiba-tiba tidak bekerja dengan baik atau berhenti di tengah jalan, biasanya membuat panik para penumpang di dalamnya maupun yang ada di luar. Secara umum, lift dilengkapi dengan peralatan komunikasi dalam keadaan darurat, baik yang berada di dalam kereta maupun yang ada di luar kereta.

Beberapa hal yang dapat menyebabkan lift tidak dapat beroperasi dengan baik antara lain sebagai berikut: Sumber tenaga pada lift padam, kelebihan penumpang (overload), terjadinya kerusakan pada sistem lift tersebut dan terjadinya bencana alam.

a. Jika lift berhenti karena listrik mati

Pada saat terjadi pemadaman listrik, lampu pada lift yang sedang bekerja secara otomatis akan menyala karena dilengkapi dengan baterai NI-Cad. Penumpang diharapkan tidak panik, tetap tenang dan mencari tombol emergency. Jika dalam lift ada sejumlah penumpang, maka jangan saling berdesakan dan tetap tenang sehingga dapat segera menekan tombol emergency untuk mendapatkan pertolongan dari teknisi. Saling dorong dan berdesakan justru membahayakan seluruh penumpang. Dalam keadaan darurat, jangan berusaha untuk membuka pintu sendiri dengan paksa, karena lingkungan sekitar ruang luncur kereta sangat berbahaya. Jika lift berhenti di pertengahan antara 2 lantai, maka petugas akan menjalankan lift secara manual dengan tangan. Seluruh penumpang harus tenang sampai teknisi membuka pintu kereta dan penumpang keluar dengan bergantian supaya tidak saling membahayakan.

Jika lift mati karena listrik padam sesaat, maka pada saat listrik kembali nyala apakah dari listrik umum maupun dari listrik lokal (genset), setelah beberapa detik maka lift akan kembali bekerja dan akan menuju pada lantai terdekat. Setelah pintu terbuka, maka penumpang diharapkan keluar dengan segera dengan tenang dan tidak berdesakan.

b. Lift mati karena rusak

Ada kalanya lift tiba-tiba mati karena adanya kerusakan pada komponen atau sistem, sehingga lift dapat berhenti di tengah jalan. Jika lift dilengkapi dengan peralatan berupa trouble rescue device, maka lift akan bergerak kembali setelah berhenti beberapa detik untuk penyesuaian dan akan berhenti di lantai terdekat. Seluruh penumpang diminta segera keluar secara bergantian dan setelah semua penumpang keluar, pintu kereta akan tertutup kembali. Lift dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan oleh teknisi. Setelah lift berhenti beberapa detik, lift akan segera mendarat di lantai terdekat pada kecepatan lambat.

c. Kondisi terjadi kebakaran

Jika gedung mengalami musibah kebakaran, maka penghuni dilarang untuk menggunakan lift karena akan sangat berbahaya. Hal ini terkait dengan listrik yang bisa tiba-tiba padam, kereta ikut terbakar sementara pintu tidak dapat dibuka, jalur kereta penuh dengan api, dan kemungkinan kerusakan sistem keseluruhan dari lift. Calon penumpang lift yang masih ada di luar kereta harus segera mencari jalan keluar yang lain melalui tangga darurat. Jika pada saat kebakaran ada penumpang yang sedang menggunakan lift, harus segera berusaha menghentikan kereta dan keluar mencari jalan darurat. Untuk lift yang dilengkapi dengan interkoneksi otomatis dengan fire alarm, akan memperoleh peringatan dini. Lift yang terkoneksi dengan baik akan segera turun menuju lantai utama, kemudian penumpang bergegas keluar dari kereta. Pada gedung yang dilengkapi dengan lift khusus untuk kebakaran, maka yang menggunakan lift ini adalah para petugas kebakaran yang telah dilatih secara khusus untuk

menggunakan lift kebakaran ini (Fireman Lift). Masyarakat awam tidak diperkenankan menggunakan lift ini.

d. **Bencana Alam Gempa Bumi**

Pada saat terjadi gempa bumi dengan gonjangan yang kuat, untuk lift yang dilengkapi sensor seismic akan memberikan respon dengan cepat dan akan segera mendarat pada lantai yang terdekat. Pada lift yang belum dilengkapi dengan sensor seismic maka lift tetap akan bekerja dengan kondisi yang mungkin tidak baik, gerakan yang tidak beraturan dan dapat membentuk dinding lorong lift. Dalam kondisi seperti ini, maka disarankan penumpang untuk segera berhenti pada lantai terdekat, supaya dapat segera mencari tempat perlindungan. Jika guncangan terasa sangat besar, maka teknisi lift wajib memeriksa apakah lift masih dalam keadaan yang baik atau mengalami kerusakan akibat benturan dengan dinding lorong kereta. Hal ini untuk memastikan keamanan dan keselamatan penumpang lift pada saat menggunakannya kembali setelah gempa bumi.

Desain Kebutuhan Lift

Secara umum, untuk mendesain lift, diperlukan beberapa hal yang perlu mendapat perhatian, sehingga lift dapat memenuhi kebutuhan sebagai alat transportasi vertikal dalam gedung. Beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan sistem lift sebagai berikut [4-10]:

- a. Fungsi gedung
- b. Lokasi bangunan
- c. Jumlah lantai
- d. Jarak lantai
- e. Jumlah penghuni dalam gedung
- f. Penggunaan khusus lift dalam gedung
- g. Lantai-lantai khusus

Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut dapat dikelompokkan dalam analisis lalu lintas yang merupakan bagian penting dari pergerakan penumpang, baik orang maupun barang. Dalam hal ini, kapasitas penumpang yang dapat diangkut dan waktu tunggu untuk masuk dalam kereta sehingga dapat berpindah tempat, menjadi perhatian utama bersama dengan keselamatan dan kenyamanan. Beberapa faktor tersebut meliputi antara lain:

- a. Jumlah orang atau barang yang akan menggunakan lift, termasuk di dalamnya ada berat dan spesifikasi teknis lainnya seperti dimensi dan tingkat bahaya dari barang yang akan dipindahkan.
- b. Kebutuhan bagi penumpang dengan kebutuhan khusus misalnya disabilitas, menggunakan kursi roda dan menggunakan peralatan bantu lainnya.
- c. Perhatikan kapan terjadi kepadatan atau jam layanan yang sibuk
- d. Kebutuhan akan adanya lift untuk pemadam kebakaran
- e. Kebutuhan lift untuk mendukung kegiatan yang ramai seperti pesta, perkawinan, acara resmi, restoran, dan tempat olahraga
- f. Kebutuhan lift untuk menuju tempat parkir yang ada di gedung

Dalam merencanakan lift, beberapa hal tersebut ini dapat menjadi referensi untuk memudahkan dalam perencanaan. Konsultan perencana gedung dan perencana sistem transportasi dalam gedung tentu telah memiliki panduan umum, baik sesuai regulasi yang ada maupun rekomendasi dari produsen lift [1-3], [12-16].

- a. Gedung lebih dari 3 lantai, minimal mempunyai 1 lift.
- b. Gedung lebih dari 1 lantai dengan penghuni lansia dan orang berkebutuhan khusus, minimal mempunyai 1 lift.
- c. Tempat berkumpul untuk menunggu lift atau lobby lift harus cukup luas, sehingga tidak berdesakan dan diusahakan untuk dekat dengan tangga, sehingga penumpang mempunyai pilihan atau sebagai cadangan pada keadaan darurat.
- d. Jarak tempuh berjalan kaki ke area lift diusahakan kurang dari 45 m.

- e. Untuk desain lift yang saling berhadapan, maka diusahakan agar lebar lobby untuk menunggu dibuat paling tidak 3,5-4,5 m atau dua kali panjang lift dan jumlah lift tidak lebih dari 3 sehingga memudahkan penumpang melihat lift.
- f. Dalam desain diupayakan agar lift hanya melayani maksimal 15 lantai, sehingga waktu tunggu tidak terlalu lama.
- g. Pada kondisi gedung tertentu yang lebih dari 15 lantai, dapat disediakan express lift, sehingga dapat melayani pada lantai yang lebih tinggi dan tidak berhenti di semua lantai.
- h. Secara umum, disediakan sky lobby untuk setiap kelipatan 20-25 lantai. Hal ini diperlukan bagi penumpang untuk turun dari lift dan berpindah ke lift lain yang dapat berhenti di setiap lantai. Hal ini perlu pengaturan yang baik, sehingga tidak terjadi penumpukan penumpang atau pelayanan lift terkesan lambat.

Beberapa saran yang dapat menjadi perhatian pemilik gedung atau pengembang bangunan dalam kaitannya dengan desain lift antara lain sebagai berikut:

- a. Mengikuti semua peraturan yang berlaku
- b. Desain mulai lebih awal
- c. Memahami bagaimana bangunan tersebut akan digunakan
- d. Analisis Lalu lintas
- e. Perhatikan pondasi dan atapnya
- f. Perhatikan masalah keselamatan, kenyamanan, dan estetika

Untuk menghitung kebutuhan lift dalam gedung, dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan beberapa variabel sebagai berikut [1-3], [14-16]:

- a. Menghitung perkiraan populasi yang akan diangkut
- b. Melakukan analisis pergerakan berdasarkan kecepatan lift
- c. Menghitung berapa handling capacity atau daya angkut dari lift
- d. Menghitung round trip time atau waktu bolak balik dari lift (TR)
- e. Menghitung kebutuhan jumlah unit lift (n)
- f. Menghitung beban puncak (L)

- g. Menghitung interval waktu layanan atau waktu tunggu (i)
- h. Menghitung efisiensi dari motor penggerak lift (P_o)

Secara teknis, beberapa hal berikut dapat dijadikan sebagai salah satu referensi dalam melakukan perencanaan lift: [10-16]

- a. Bangunan lebih dari 3 lantai harus dilengkapi dengan elevator
- b. Dasar lubang lift harus memiliki pondasi kedap air
- c. Lubang masuk lift hanya satu, tidak boleh lebih
- d. Elevator barang tidak diperkenankan menjadi satu dengan tangga darurat
- e. Elevator berdiri sendiri atau satu kesatuan. Tabung lift menerus ke puncak bangunan
- f. Ruang mesin lift memiliki ketinggian minimal 2.1 m, agar terhindar dari petir, api dan air.
- g. Tiap lift harus memiliki motor penggerak dan panel kontrol sendiri
- h. Jika menggunakan traction system dimensi kabel yang dapat digunakan minimum 12 mm
- i. Jumlah kabel minimal 3 buah
- j. Balok pemikul dari baja atau beton bertulang
- k. Rel lift dari bahan baja
- l. Jarak tepi kereta lift dengan tepi lantai maksimal 4 cm
- m. Pintu otomatis
- n. Panel control yang jelas pada kereta
- o. Saat operasi ruang lift harus tertutup rapat

Daya angkut lift dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [1-4]:

Daya angkut per 5 menit (M) = $[5 \times 60 \text{ detik} \times \text{mN}]/T = [300 \times \text{mN}]/T$ dalam jumlah orang

Menghitung jumlah lift dalam satu gedung:

$$(L) = MN = [P (2a - 3mN) n] / 2a = [300 \text{ mN}] / T \text{ dalam sekian buah lift}$$

Menghitung waktu tempuh bolak-balik lift dilakukan secara pendekatan, hal ini karena ada banyak faktor yang menentukan ketepatan waktu tempuh. Namun demikian, pendekatan ini secara umum tidak akan berbeda jauh dengan perjalanan yang sesungguhnya.

$$\text{Waktu tempuh bolak balik: } T = [(2h + 4S) (n-1) + S(3m+4)] / S \text{ (dalam detik)}$$

Dengan T: waktu tempuh bolak balik (s), m: kapasitas lift, n: jumlah lantai dalam 1 zone, S: kecepatan rata-rata lift, h: tinggi lantai, N: jumlah lift

- a. Penumpang lift lantai dasar yang memerlukan waktu: 1,5m detik per orang
- b. Pintu lift menutup kembali: 2 detik
- c. Pintu lift membuka di setiap lantai tingkat: (n-1) 2 detik
- d. Penumpang meninggalkan lift di setiap lantai dalam 1 zone sebanyak (n-1) lantai: (n-1) x m/n-1 x 1.5 detik: 1,5 m detik
- e. Pintu lift menutup kembali di setiap lantai tingkat: (n-2) 2 detik
- f. Perjalanan bolak-balik dalam 1 zone: $[2(n-1)h] / S$ detik
- g. Pintu membuka di lantai dasar: 2 detik.

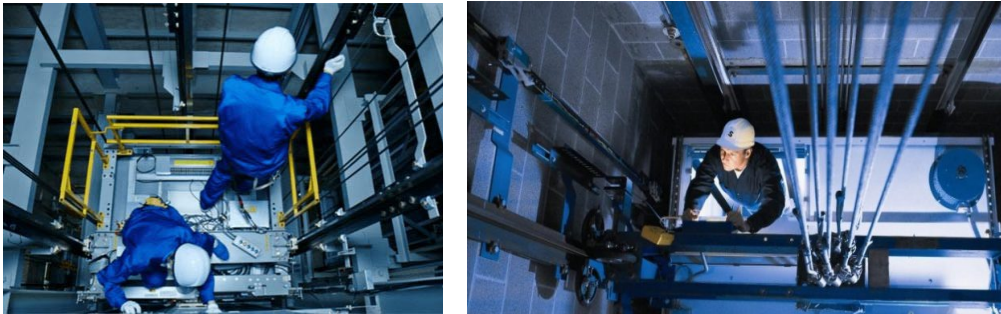
$$\text{Menghitung daya motor (P}_{\text{out}}) = [K \times S \times (1-OB)] / [6120 \times \eta] \text{ dalam kW}$$

dengan K: kapasistas lift (kg), S: kecepatan lift (m/s), OB: overbalance (0,425-0,50), η : efisiensi.

Perawatan Lift

Perawatan lift sangat diperlukan untuk menjamin agar lift dapat berfungsi dengan baik dan mempunyai lifetime yang panjang. Perawatan dilaksanakan mengikuti

ketentuan umum dari pabrikan yang memproduksi lift tersebut, dan dilaksanakan oleh tenaga ahli yang terlatih dan mempunyai sertifikasi sebagai tenaga ahli perawatan lift.



Gambar 24.3. Perawatan Lift [18-19]

Pada saat perawatan dilakukan, setiap komponen akan dicek kembali kondisi dan kinerjanya, dan jika sudah waktunya harus diganti, maka wajib dilakukan penggantian komponen dengan tujuan keselamatan. Secara umum, perawatan pada lift mengutamakan preventive maintenance dan mengganti komponen yang telah mencapai umur pakai sesuai ketentuan pabrikan. Bagian lift yang perlu dilakukan perawatan secara berkala meliputi hal-hal sebagai berikut [6-16]:

- a. Pemeriksaan tali baja meliputi: tanda-tanda retak, putus, atau patah yang terlihat secara fisik atau berkarat atau diameternya susut lebih dari 10% dari ukuran semula, maka harus diganti dengan komponen yang baru. Demikian juga dengan tali baja yang terlihat mengering atau menunjukkan adanya korosi, maka harus segera diberi minyak pelumas khusus yang sesuai dengan spesifikasi pabrikan.
- b. Pemeriksaan atap kereta (top of cor) meliputi:
 - 1) Emergency exit
 - 2) Emergency stop switch
 - 3) Broken rope switch

- 4) Safety operated switch
 - 5) Limit switch di ujung atas ruang luncur
 - 6) Door contacts
- c. Pemeriksaan kamar mesin meliputi:
- 1) Besaran nilai sekering (Ampere)
 - 2) Power rating Motor (kW)
 - 3) Putaran motor (r/min)
 - 4) Frekuensi (Hertz)
 - 5) Temperatur Rise Motor
 - 6) Isolasi motor
 - 7) Kecepatan putar puli roda larik (traction sheave)
- d. Pemeriksaan komponen utama meliputi rel pemandu, governor untuk sistem pengereman darurat, pesawat pengaman, kerea, pintu, mesin, penyangga harus dirawat, dibersihkan dan diberi minyak pelumas yang sesuai.
- e. Pemeriksaan pit meliputi: plat tabir pemisah counter weight, tangga monyet, kebersihan dasar pit, final limit switch, directional limit switch.
- f. Kebersihan kamar mesin, ruang runcur, dan pit harus dibersihkan dari debu dan tumpahan minyak pelumas.
- g. Pemeriksaan lantai lobi lift kondisi pintu lantai: tidak berbunyi, tidak bergetar, dan posisi tidak miring:
- 1) Pertemuan daun pintu
 - 2) Fungsi tombol-tombol
 - 3) Fungsi lampu-lampu indikator tiap lantai
 - 4) Fungsi emergency key device.

1.3 Penutup

Transportasi vertikal dalam gedung dengan menggunakan lift merupakan salah satu peralatan yang harus dipenuhi untuk memudahkan perpindahan orang dan barang dalam gedung bertingkat yang lebih dari 3 lantai. Perencanaan lift harus dilakukan dengan baik, mengikuti standar perencanaan sesuai aturan yang berlaku di setiap negara dan harus memperhatikan ketentuan desain serta operasional lift dari produsen masing-masing lift. Pada operasional lift, hal yang paling utama yang harus diperhatikan adalah masalah keselamatan, selanjutnya masalah kenyamanan dan kelancaran dalam perpindahan orang dan barang. Untuk memperoleh keselamatan dan kenyamanan, maka perlu diatur sistem penggunaan lift dan sistem perawatan lift, sehingga dapat memperoleh layanan transportasi vertikal dalam gedung yang berkualitas. Hal-hal pokok dalam perencanaan lift, operasional lift dan sistem perawatan lift yang diuraikan dalam tulisan ini dapat menjadi salah satu referensi dalam mempelajari desain lift lebih lanjut.

Referensi

- [1] Sukamta, 2015, *Mekanikal untuk Bangunan Gedung: Transportasi Vertikal*, Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
- [2] Andri Sulistyo, 2016, *Jurnal Teknik Mesin* **5**-1-23
- [3] Ahmad Zayadi, Cahyono, H.P., Masyhudi, 2016, *Jurnal Ilmiah GIGA* **19**-2-61
- [4] Titan New Lifts, *Traction Lift Diagram*, <https://www.titannewlifts.co.uk/blog/what-passenger-lift-is-right-for-you/attachment/traction-lift-diagram/>
- [5] Ali Anvari, 2018, *Journal of Chemical Engineering and Materials Science* **9**-5-38
- [6] Xiaohu Han, 2020, *Journal of Physics: Conference Series* **1449**-012101
- [7] Kheir Al-Kodmany, 2015, *Buildings* **5**-1070
- [8] Dan M. Popescu, Sean X. Sun, 2018, *Interface* **15**-1
- [9] Ayşe Meriç YAZICI, 2020, *Journal of Aviation and Space Studies* **1**-1-33
- [10] Max T. Kinatader, Hidemi Omori, Erica D. Kuligowski, 2014, *NIST Technical Note 1825*, U.S. Department of Commerce
- [11] Jovan Vladić, Petar Malešev, Rastislav Šostakov, Nikola Brkljač, *Journal of Mechanical Engineering* **54**-10-655
- [12] Malan D. Sale, V. Chandra Prakash, 2019, *International Journal of Recent Technology and Engineering* **7**-5-195
- [13] Abdulmalik, Ibrahim O., Akonyi, Nasiru Sule, Bolarinwa, Gabriel Oladeji, Chima, Lazarus Onyebuchi, Amony, Michael C, Mgbemena, Chinedum Ogonna, 2014, *Scholars Journal of Engineering and Technology* **2**-6A-806
- [14] Patel Biren N., Munagekar Urmila S., Chaubal Onkar R., Meshram Prajakta S., Patil Aniket K., 2018, *International Journal of Engineering Research & Technology* **7**-6-378
- [15] Jia Hui Ang, Y. Yusup, Sheikh Ahmad Zaki Shaikh Salim, Mardiana Idayu Ahmad, 2019, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* **59**-1-54


- [16] Kamalu, U.A., ogunleke, F.A., 2018 *International Journal of Scientific & Engineering Research* 9-6-969
- [17] Isha Ashish Bahendwar, Ankita Manish Singh, S.G. Mundada, 2018 *International Research Journal of Engineering and Technology* 5-12-106
- [18] Konza Techical Service, *Elevator Services*, <https://konzatechnical.com/>
- [19] Svarnas Lift, *Elevator Maintenance*, <https://www.svarnaslift.gr/en/elevator-maintenance/>

Profil Penulis

Prof. Dr. Ir. Agustinus Purna Irawan, M.T., I.P.U., ASEAN Eng.



Menyelesaikan S1 dan Pendidikan Profesi Insinyur Teknik Mesin (UGM), S2 dan S3 Teknik Mesin (UI), Profesor Bidang Ilmu Teknik (Untar). Pernah bekerja di perusahaan pesawat terbang, otomotif, dan sampai saat ini sebagai dosen tetap di Untar. Jabatan di Untar yang pernah diemban: Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Dekan Fakultas Teknik, dan Rektor. Memperoleh: Sertifikat Pendidik, Sertifikat Insinyur Profesional Utama (IPU) dari BKM PII, dan Sertifikat ASEAN Engineer (ASEAN Eng.) dari AFEO. Aktif di dunia pendidikan, berbagai kegiatan ilmiah, Dunia Bisnis, Asosiasi Profesi, dan berbagai kegiatan sosial: Evaluator Prodi Baru Dikti, Tim Jabatan Akademik LLDIKTI III, Ketua Umum Ikatan Dosen Katolik Indonesia (IKDKI), Ketua Umum Badan Kejuruan Mesin Persatuan Insinyur Indonesia (BKM PII), Anggota Dewan Pakar PII, Anggota Dewan Pakar ISKA DKI Jakarta, Anggota Dewan Pakar ABPPTSI, Anggota Dewan Penasehat ABPPTSI DKI Jakarta. Memperoleh beberapa Penghargaan: Lulusan Terbaik S2 FT UI (2003); Dosen terbaik pertama Kopertis Wilayah III DKI Jakarta (2011); Penyaji Terbaik Seminar Hasil Penelitian Program Desentralisasi PUPT Dikti (2014); Honorary Member dari The ASEAN Federation of Engineering Organizations, AFEO (2018); Rektor PTS Terbaik Program Academic Leader Award (2019). Hibah penelitian > 100 judul, PKM > 100 judul, Buku 7 buah, Paten 7 buah, Hak Cipta 8 buah, Artikel Ilmiah >125 buah dengan artikel Socpus sebanyak 46 artikel.



PENERBIT
Lembaga Penelitian dan
Publikasi Ilmiah
Universitas Tarumanagara

PENERBIT

Jln. Letjen S. Parman No. 1
Kampus I UNTAR
Gedung M Lantai 5
Jakarta Barat

Telp: 021-5671747, ext215
Email: publikasi@untar.ac.id

ISBN 978-623-6463-09-3

