

**KAJIAN KARAKTERISTIK SEDIMEN  
TEGANGAN GESER KRITIS EROSI DAN KECEPATAN JATUH**

**DISERTASI**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Doktor dari  
Institut Teknologi Bandung**

**Oleh**

**Wati Asriningsih Pranoto  
NIM: 350 99041**



**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**

**2005**

**KAJIAN KARAKTERISTIK SEDIMEN  
TEGANGAN GESER KRITIS EROSI DAN KECEPATAN JATUH**

**DISERTASI**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Doktor dari  
Institut Teknologi Bandung**

**Oleh**

**Wati Asriningsih Pranoto  
NIM: 350 99041**



**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**

**2005**

**KAJIAN KARAKTERISTIK SEDIMEN  
TEGANGAN GESER KRITIS EROSI DAN KECEPATAN JATUH**

Oleh  
**Wati Asriningsih Pranoto**  
NIM: 350 99041

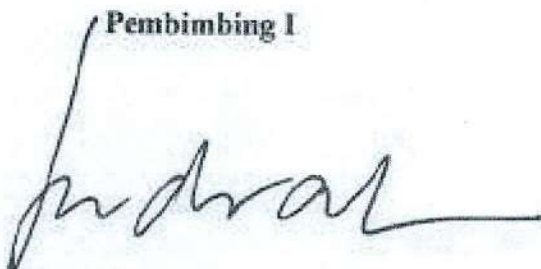
Mengetahui  
Tim Pembimbing  
Tanggal .....

Ketua



(Prof. Dr. Ir. Hang Tuah Salim, M.Oc.E)

Pembimbing I



(Dr. Ir. Indratmo Soekarno, M.Sc)

Pembimbing II



(Dr. Ir. M. Cahyono)

## ABSTRAK

### KAJIAN KARAKTERISTIK SEDIMEN TEGANGAN GESER KRITIS EROSI DAN KECEPATAN JATUH

Oleh

Wati Asriningsih Pranoto

NIM: 35099041

Kawasan hilir sungai merupakan wilayah yang sangat strategis sebagai tujuan akhir dari aliran sungai dimana segala sesuatu yang terangkut oleh aliran sungai akan terbawa sampai ke hilir. Sebagai tujuan akhir maka hilir sungai harus terpelihara agar aliran sungai berjalan lancar.

Sehubungan dengan sedimentasi yang terus menerus terjadi di hilir sungai Citanduy dan membawa dampak banjir di daerah sekitarnya pada musim hujan karena aliran sungai kurang lancar menuju laut terutama saat pasang terjadi. Selain itu juga membuat pendangkalan pada muara Segara Anakan yang berdampak pada perubahan morfologi muara. Sedimentasi ini mempengaruhi kegiatan manusia seperti pelayaran, nelayan, dan alam sekitarnya. Sehingga fenomena ini harus diantisipasi supaya kegiatan manusia dan alam sekitarnya tetap stabil dan berjalan normal.

Untuk mengantisipasi fenomena ini dilakukan penelitian karakteristik sedimen, khususnya kecepatan jatuh sedimen yang dipengaruhi oleh konsentrasi sedimen dan salinitas; dan karakteristik sedimen campuran lumpur dan pasir, khususnya tegangan geser kritis erosi yang dipengaruhi oleh berat jenis, berat jenis kering, beserta parameter erosi.

Penelitian kecepatan jatuh sedimen hanya dilakukan pada sedimen sungai Citanduy yang mempunyai permasalahan yang cukup pelik. Penelitian karakteristik sedimen campuran lumpur dan pasir dilakukan pada sedimen sungai Citanduy, Cimanuk dan Ciasem. Pemilihan sungai Cimanuk dan Ciasem berdasarkan adanya sedimentasi di muara sungai tersebut dan mempunyai gradasi sedimen yang hampir serupa dengan sungai Citanduy.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yaitu analisis berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh dari eksperimen dengan sampel dari hilir sungai. Percobaan eksperimental dilakukan pada Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrodinamika Institut Teknologi Bandung.

Dalam menentukan kecepatan jatuh sedimen kohesif digunakan tabung *bottom withdrawal*. Prinsip kerja dari instrumen ini didasarkan pada sedimentasi partikel sedimen dalam suspensi seragam. Untuk mengukur tegangan geser kritis erosi digunakan sirkular flume yaitu sebuah saluran buatan berbentuk sirkular dengan peralatan motor listrik untuk menggerakkan kincir agar air dapat bergerak dalam sirkular tersebut.



Hasil penelitian kecepatan jatuh diperoleh 2 persamaan umum yaitu persamaan untuk daerah penggumpalan (*flocculation settling*) dan persamaan dimana terjadi gangguan pada jatuhnya sedimen (*hindered settling*). Persamaan untuk daerah penggumpalan (*flocculation settling*) yaitu daerah atau kisaran konsentrasi dimana sedimen mengalami penggumpalan atau flokulasi yang membuat kecepatan jatuh bertambah besar. Pada kisaran konsentrasi ini berarti kecepatan jatuh mengalami peningkatan dengan bertambahnya konsentrasi. Setelah mencapai batas penggumpalan tertentu akan terjadi gangguan pada jatuhnya sedimen (*hindered settling*) lalu kecepatan jatuh menjadi menurun. Hal ini terjadi karena adanya gumpalan yang semakin besar dan membuat ruang gerak menjadi berkurang sehingga jatuhnya sedimen terganggu dan menjadi bertambah lambat. Ini berarti kecepatan jatuh semakin rendah dengan meningkatnya konsentrasi setelah melewati batas konsentrasi dimana kecepatan jatuh maksimum terjadi.

2 persamaan umum yang diperoleh tentu ada daerah atau batasan konsentrasi yang berlaku untuk masing-masing persamaan. Batasan tersebut adalah 4,25 gram/l.

Kecepatan jatuh sedimen selain dipengaruhi konsentrasi juga dipengaruhi oleh salinitas. Dari 7 salinitas yang di pakai dalam percobaan ternyata salinitas 15 ‰ yang terlihat paling berpengaruh dalam memperoleh nilai kecepatan jatuh sedimen yang maksimum dan merupakan batas salinitas. Lebih dari salinitas tersebut, kecepatan jatuh sedimen mulai berkurang signifikan. Salinitas mempengaruhi lapisan difusi ganda yang mengelilingi partikel. Apabila salinitas meningkat maka lapisan difusi ganda yang mengelilingi partikel menjadi menipis, hal ini akan mengakibatkan jarak antar partikel menjadi lebih dekat dan timbul gaya Van der Waals sehingga sifat kohesif menjadi lebih kuat dan akan terbentuk flok baru yang lebih besar membuat kecepatan jatuh meningkat

Dari tujuh macam komposisi sedimen campuran diperoleh tegangan geser kritis erosi bertambah seiring bertambahnya berat jenis sampai batas tertentu. Dengan adanya densitas yang tinggi (maksimal densitas yang diperoleh), kenaikan tegangan geser kritis erosi menjadi terbatas (kecil) sehingga menghasilkan perilaku *asymptotic* pada nilai densitas besar. Nilai batas tegangan geser kritis erosi pada densitas tinggi dapat dihubungkan dengan 2 faktor. Pertama pada densitas yang cukup tinggi sedimen campuran hampir mengalami konsolidasi penuh dan akan mencapai minimum dalam kadar air serta maksimum *strength*. Selain itu juga karena densitas tinggi diperoleh dari berat jenis dengan kandungan pasir yang besar sehingga perilaku erosi tergantung dari pasir yang digunakan.

Nilai tegangan geser kritis erosi bertambah seiring bertambahnya komposisi campuran pasir dan mencapai maksimum pada komposisi 50% pasir untuk sedimen sungai Citanduy dan Cimanuk, sedangkan untuk sungai Ciasem mencapai maksimum pada komposisi 40% pasir. Perilaku ini dijelaskan dari gradasi pasir yang ada pada sedimen sungai Ciasem lebih halus dibandingkan 2 sedimen sungai lainnya sehingga lebih menyatu dengan lumpur dan mineral lumpurnya mengandung montmorillonite yang mempunyai CEC (*cation exchange*



*capacity*) lebih besar berarti sifat menarik kation dan anion lebih besar dari mineral sedimen sungai Citanduy (kaolin).

Hubungan tegangan geser kritis erosi terhadap berat jenis kering mempunyai karakter yang hampir sama dengan hubungan tegangan geser kritis erosi terhadap berat jenis, perbedaan hanya pada nilai.

Nilai kecepatan erosi bertambah seiring dengan bertambahnya perbedaan nilai  $\tau_b$  dengan  $\tau_c$ . Semakin besar tegangan geser yang terjadi dibandingkan tegangan geser kritis erosinya maka semakin cepat erosi yang terjadi. Hubungan ini berlaku untuk sungai Citanduy, Cimanuk dan Ciasem.

Secara keseluruhan penelitian ini telah memberikan kontribusi terhadap perkembangan khasanah keilmuan, yakni kecepatan jatuh sedimen kohesif dengan diperoleh 2 persamaan umum beserta konsentrasi batas dan nilai salinitas maksimal untuk kecepatan jatuh sedimen maksimum. Juga tegangan geser kritis erosi dengan diperoleh persamaan tegangan geser kritis yang dipengaruhi berat jenis dan berat jenis kering serta diperoleh nilai komposisi campuran maksimal untuk tegangan geser kritis erosi maksimal yang dapat terjadi. Nilai komposisi campuran maksimal tergantung dari gradasi pasir yang ada pada sungai tersebut dan mineral lumpur yang terkandung. Serta kecepatan erosi yang terjadi tergantung dari besarnya perbedaan tegangan geser yang terjadi dengan tegangan geser kritis erosinya.

Kata kunci: Sedimen, kecepatan jatuh, tegangan geser kritis erosi, kecepatan erosi

## ABSTRACT

### STUDY OF SEDIMENT CHARACTERISTIC CRITICAL SHEAR STRESS FOR EROSION AND SETTLING VELOCITY

Oleh

Wati Asriningsih Pranoto

NIM: 35099041

Area of downstream river represent the very strategic region as final Purpose from river stream where everything transported by river stream will be brought to downstream. As final purpose hence river downstream have to be looked after so river stream go well.

Referring to continous sedimentation happened in downstream of Citanduy river and bring the floods impact at the rains in area of its arround because river stream less fluent go to the sea especially tidal happened. It is make the superficiality at estuary of Segara Anakan which affect changing of estuary morphology. This sedimentation influences the avtivity of humanbeing such as sea transport, fisherman, and its environment. This phenomena have to be anticipated hence activity of humanbeing and its environment remain to stabilize and work normaly.

This phenomena is anticipated by research of sediment characteristic, specially speed fall of sediment which influenced by sediment concentration, salinitas and characteristic of mixture sediment from mud and sand,specially shear critical tension of erosion which influenced by specific gravity, specific gravity to run dry and erosion parameter.

Research of speed fall the sediment only conducted at sediment river of Citanduy which have complicated problems. Research of sediment characteristic mixture mud and sand conducted at sediment Citanduy, Cimanuk and Ciasem's river. Election of Cimanuk and Ciasem's river based on existence of sedimentation in the river estuary and have sediment gradation which almost similar to the Citanduy's river.

This research is experimental that is analyse based on the result which obtained from experiment of river downstream.Experimental is conducted in Fluida Mechanics and Hidrodynamics Laboratorium at Institute of Technology Bandung.

To determine settling velocity of cohesif sediment using tube of bottom withdrawal. This instrument work based on particle sediment in uniform suspension. Measuring the tension of shear critical erosion using circular flum that is a channel of made in circular shape with the electromotor equipments to move the paddle wheel so the water can make a move in its circular.



Result of the research settling velocity obtained two common equation that is equation for flocculating suspensions and equation for hindered settling suspensions. The first equation (flocculation settling) is area or concentration gyration which flocculation effect makes the settling velocity larger along with higher concentration. When the sediment concentrations are larger than certainly value, the settling velocity decreases with increasing concentrations due to the hindered settling effect. Hindered settling is the effect that the settling velocity of the flocs is reduced due to an upward flow of fluid displaced by the flocs. At very large concentrations the vertical fluid flow can be strong that the upward fluids drag forces on the flocs become equal to the downward gravity forces resulting in a temporary state of dynamic equilibrium with no net vertical movement of the flocs. It means settling velocity lower at higher concentration after passing concentration boundary which is settling velocity maximum happened.

Two common equation which is obtained ofcourse there ia area or concentration definition applying to each equation. The definition is 4.25gram/l.

Settling velocity of sediment also influenced (beside concentration) by salinitas. From 7 salinitas are used in experiment, only 15 % most having an effect in obtaining maximum value of settling velocity sediment and represent the boundary salinitas. More than its salinitas, settling velocity sediment decreases significant. Salinitas influences the double diffusion layer encircling particle. If salinitas increase so the double diffusion layer encircling particle become attenuate. This affects the distance between particle become nearer and arise Van der Waals's force so cohesif character become stronger and will be formed a larger new flok and it makes a higher settling velocity.

From seven kinds composition of mixture sediment obtained a critical shear stress for erosion increase along specific gravity higher certain to a point. The existence of high densitas, increase of critical shear stress for erosion become limited (small) so that yield behaviour asymptotic at big value densitas. Assess the tension of shear critical erosion boundary at high densitas can be attributed to two factors. First at densitas which high enough mixture sediment almost reach full consolidation and will reach the minimum in water and also maximum strength. It is also because of high densitas obtained from specific gravity which is contain enough sand so that erision behaviour depended from used sand.

Assess the stress of shear critical erosion increase along its composition of sand mixture and reach maximum at composition 50 % sand for the sediment of Citanduy and Cimanuk's river, while for the Ciasem's river reach maximum at composition 40 % sand. This behaviour explained from sand gradation at sediment Ciasem's river softer than two other river sediment so that more one with the mud and its contain the montmorillotine which have CEC bigger means the attraction between cation and anion bigger than mineral of sediment Citanduy's river (kaolin).



The relation between stress of shear critical to bulk density to run dry have almost similiarly character with relation tension of shear critical erosion to specific gravity. The difference only at value,

Assess the erosion rate increase along the difference at value higher  $\tau_b$  and  $\tau_c$ . The greater shear tension compare with the shear critical tension hence faster erosion will be happened. This relation is valid for Citanduy, Cimanuk and Ciasem's river.

As a whole this research have given the contribution to growth of science, they are settling velocity of cohesif sediment which are obtained two common equation along with boundary concentration and assess the maximal salinitas for maximum settling velocity sediment. It is also critical shear stress for erosion which are obtained equation critical shear stress for erosion is depend bulk density and dry density and critical shear stress for erosion obtained by assess the maximal mixture composition for the critical shear stress for maximal erosion able to be happened. The maximal mixture composition value depend from sand gradation in that river and mud mineral consisted in. Erosion rate depend from the level difference of applied bottom shear stress to the critical shear stress for erosion.

Keyword : Sediment, settling velocity, critical shear stress for erosion, erosion rate.

## **PEDOMAN PENGGUNAN DISERTASI**

Disertasi Doktor yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh disertasi haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Disertasi ini dipersembahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Tuhan pencipta langit dan bumi beserta segala isinya, Tuhan yang mengetahui segala yang ghaib, yang nyata dan segala isi hati. Semoga karya kecil ini dapat diterima sebagai amal ibadah kepada-Nya. Amin.

Hasil penelitian ini juga dipersembahkan kepada suami, anak dan keluarga besar penulis yang telah dengan sabar menunggu, dan merelakan hak-haknya kurang terpenuhi.

Juga dipersembahkan untuk para tim promotor, penguji, teman-teman di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrodinamika Institut Teknologi Bandung, seluruh civitas akademika Universitas Tarumanagara dan Institut Teknologi Bandung.

Tak lupa, karya ini juga dipersembahkan kepada semua yang terlibat, yang memungkinkan penelitian dan laporan ini dapat diselesaikan dengan baik.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas amal baik dari semua yang terlibat dalam penelitian ini. Amin.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Salam Sejahtera

Penulis mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah Bapa, Allah Putra dan Roh Kudus atas kasih karuniaNya sehingga penelitian ini dapat berjalan baik sampai selesainya disertasi ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Para pembimbing:

- Prof. Dr. Ir. Hang Tuah Salim, M.Oce
- Dr. Ir. Indratmo Soekarno, M.Sc.
- Dr. Ir. M. Cahyono

2. Suamiku tercinta Ir. Sunarjo Leman, Dekan Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara Ir. Ignatius Haryanto, MM, Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara Ir. Sudirgo E. Iskandar M.Sc, Ir. Gregorius Sandjaja, MT yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk studi lanjut program doktoral.

3. Yayasan Tarumanagara dan Rektor Universitas Tarumanagara yang telah memberikan kesempatan dan dana selama 4.5 tahun untuk studi lanjut.

4. Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Sipil, FTSP ITB.

5. Seluruh staf pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara.

6. Orang tua dan mertua penulis.

7. Rekan-rekan di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrodinamika, Departemen Teknik Sipil, FTSP, ITB terutama Feno Triadi, ST, Yoppi Pramuditia, ST, Abdi Nassa, ST, Nur Aksar Sari S.Si, Yulia Aryani, AMd

8. Semua pihak yang turut membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga proses dan hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi sesama dan menjadi berkat bagi semua yang terlibat. Amin.



## DAFTAR ISI

| BAB                                                                        | Halaman |
|----------------------------------------------------------------------------|---------|
| ABSTRAK                                                                    | i       |
| ABSTRACT                                                                   | iv      |
| PEDOMAN PENGGUNAAN DISERTASI                                               | vii     |
| LEMBAR PERSEMBAHAN                                                         | viii    |
| UCAPAN TERIMA KASIH                                                        | ix      |
| DAFTAR ISI                                                                 | x       |
| DAFTAR LAMPIRAN                                                            | xv      |
| DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI                                                | xvi     |
| DAFTAR TABEL                                                               | xxiv    |
| DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG                                               | xxvi    |
| <br>I                                                                      |         |
| Pendahuluan                                                                | 1       |
| I.1 Latar Belakang Masalah                                                 | 1       |
| I.2 Perumusan Masalah                                                      | 2       |
| I.3 Tujuan Penelitian                                                      | 3       |
| I.4 Arti Penting Penelitian                                                | 3       |
| I.5 Ruang Lingkup Penelitian                                               | 3       |
| I.6 Batasan Masalah                                                        | 4       |
| I.7 Hipotesis Penelitian                                                   | 4       |
| I.8 Pendekatan dan Metode Penelitian                                       | 5       |
| Percobaan Laboratorium                                                     | 5       |
| I.9 Pelaksanaan Penelitian                                                 | 5       |
| I.10 Penyelesaian Masalah                                                  | 7       |
| I.11 Kontribusi Spesifik Kandidat dalam Menambah Khazanah Ilmu Pengetahuan | 7       |
| I.12 Sistematika Penulisan                                                 | 7       |
| <br>II.                                                                    |         |
| Tinjauan Pustaka                                                           | 9       |
| II.1 Klasifikasi Sedimen Menurut Ukuran Butir                              | 9       |
| II.1.1 Sedimen Kohesif                                                     | 11      |
| II.1.2 Sedimen Non Kohesif                                                 | 11      |
| II.2 Komposisi Mineral Sedimen dan Ukuran Butir Lumpur                     | 12      |
| II.3 Pergerakan Sedimen                                                    | 13      |
| II.3.1 Sedimen Kohesif                                                     | 15      |
| II.3.1.1 Proses Deposisi                                                   | 15      |
| II.3.1.2 Proses Erosi                                                      | 19      |
| II.3.2 Sedimen non Kohesif                                                 | 26      |
| II.3.3 Sedimen Campuran                                                    | 27      |
| II.3.3.1 Tegangan Geser Kritis Erosi dan Densitas                          | 28      |
| II.3.3.2 Mode Erosi                                                        | 29      |
| II.3.3.3 Struktur Sedimen                                                  | 31      |

|         |                                                                                                            |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III     | Metodologi Penelitian Laboratorium                                                                         | 33 |
| III.1   | Penelitian Kecepatan Jatuh Sedimen                                                                         | 33 |
| III.1.1 | Peralatan dan Bahan                                                                                        | 33 |
| III.1.2 | Prosedur Percobaan                                                                                         | 36 |
| III.2   | Penelitian Tegangan Geser Kritis Erosi                                                                     | 39 |
| III.2.1 | Peralatan dan Bahan                                                                                        | 39 |
| III.2.2 | Prosedur Percobaan                                                                                         | 44 |
| IV      | Analisa Kecepatan Jatuh Sedimen                                                                            | 50 |
| IV.1    | Kecepatan Jatuh Sedimen Kohesif                                                                            | 50 |
| IV.1.1  | Kecepatan Jatuh Sedimen pada Salinitas 0 ‰                                                                 | 51 |
| IV.1.2  | Kecepatan Jatuh Sedimen pada Salinitas 5 ‰                                                                 | 51 |
| IV.1.3  | Kecepatan Jatuh Sedimen pada Salinitas 10 ‰                                                                | 52 |
| IV.1.4  | Kecepatan Jatuh Sedimen pada Salinitas 15 ‰                                                                | 53 |
| IV.1.5  | Kecepatan Jatuh Sedimen pada Salinitas 20 ‰                                                                | 54 |
| IV.1.6  | Kecepatan Jatuh Sedimen pada Salinitas 25 ‰                                                                | 55 |
| IV.1.7  | Kecepatan Jatuh Sedimen pada Salinitas 30 ‰                                                                | 56 |
| IV.2    | Hubungan Kecepatan Jatuh dengan Konsentrasi                                                                | 57 |
| IV.3    | Hubungan Kecepatan Jatuh dengan Salinitas                                                                  | 60 |
| V.      | Analisa Kedalaman Dengan Berat Jenis, Berat Jenis Kering,<br>Kadar Air, dan Tegangan Geser Kritis Erosi    | 66 |
| V.1     | Sedimen Sungai Citanduy                                                                                    | 66 |
| V.1.1   | Sedimen 100 % Lumpur                                                                                       | 66 |
| V.1.2   | Sedimen Campuran<br>80% Lumpur + 20% Pasir                                                                 | 70 |
| V.1.3   | Sedimen Campuran<br>60% Lumpur + 40% Pasir                                                                 | 70 |
| V.1.4   | Sedimen Campuran<br>50% Lumpur + 50% Pasir                                                                 | 71 |
| V.1.5   | Sedimen Campuran<br>40% Lumpur + 60% Pasir                                                                 | 72 |
| V.1.6   | Sedimen Campuran<br>20% Lumpur + 80% Pasir                                                                 | 72 |
| V.1.7   | Sedimen Campuran<br>10% Lumpur + 90% Pasir                                                                 | 73 |
| V.1.8   | Hubungan Kedalaman Dengan Berat Jenis,<br>Berat Jenis Kering, Tegangan Geser Kritis Erosi<br>Dan Kadar Air | 74 |
| V.2     | Sedimen Sungai Cimanuk                                                                                     | 80 |
| V.2.1   | Sedimen 100 % Lumpur                                                                                       | 80 |
| V.2.2   | Sedimen Campuran<br>80% Lumpur + 20% Pasir                                                                 | 81 |
| V.2.3   | Sedimen Campuran<br>60% Lumpur + 40% Pasir                                                                 | 85 |
| V.2.4   | Sedimen Campuran<br>50% Lumpur + 50% Pasir                                                                 | 85 |
| V.2.5   | Sedimen Campuran                                                                                           |    |



|         |                                                                                                            |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|         | 40% Lumpur + 60% Pasir                                                                                     | 86  |
| V.2.6   | Sedimen Campuran<br>20% Lumpur + 80% Pasir                                                                 | 87  |
| V.2.7   | Sedimen Campuran<br>10% Lumpur + 90% Pasir                                                                 | 87  |
| V.2.8   | Hubungan Kedalaman Dengan Berat Jenis,<br>Berat Jenis Kering, Tegangan Geser Kritis Erosi<br>Dan Kadar Air | 88  |
| V.3     | Sedimen Sungai Ciasem                                                                                      | 95  |
| V.3.1   | Sedimen 100 % Lumpur                                                                                       | 95  |
| V.3.2   | Sedimen Campuran<br>80% Lumpur + 20% Pasir                                                                 | 96  |
| V.3.3   | Sedimen Campuran<br>60% Lumpur + 40% Pasir                                                                 | 100 |
| V.3.4   | Sedimen Campuran<br>50% Lumpur + 50% Pasir                                                                 | 100 |
| V.3.5   | Sedimen Campuran<br>40% Lumpur + 60% Pasir                                                                 | 101 |
| V.3.6   | Sedimen Campuran<br>20% Lumpur + 80% Pasir                                                                 | 102 |
| V.3.7   | Sedimen Campuran<br>10% Lumpur + 90% Pasir                                                                 | 102 |
| V.3.8   | Hubungan Kedalaman Dengan Berat Jenis,<br>Berat Jenis Kering, Tegangan Geser Kritis Erosi<br>Dan Kadar Air | 103 |
| VI.     | Analisa Tegangan Geser Kritis Erosi                                                                        | 107 |
| VI.1    | Tegangan Geser Kritis Erosi Dengan Berat Jenis                                                             | 107 |
| VI.1.1  | Sedimen Sungai Citanduy                                                                                    | 107 |
| VI.1.2  | Sedimen Sungai Cimanuk                                                                                     | 117 |
| VI.1.3  | Sedimen Sungai Ciasem                                                                                      | 126 |
| VI.1.4  | Pembahasan Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi<br>terhadap Berat Jenis                                    | 135 |
| VI.2    | Tegangan Geser Kritis Erosi Dengan Berat Jenis Kering<br>( <i>Dry Density</i> )                            | 145 |
| VI.2.1  | Sedimen Sungai Citanduy                                                                                    | 145 |
| VI.2.2  | Sedimen Sungai Cimanuk                                                                                     | 157 |
| VI.2.3  | Sedimen Sungai Ciasem                                                                                      | 166 |
| VI.2.4  | Pembahasan Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi<br>terhadap Berat Jenis Kering                             | 176 |
| VII.    | Analisa Kecepatan Erosi                                                                                    | 182 |
| VII.1   | Kecepatan Erosi Dengan ( $\tau_b - \tau_o$ ) pada Sedimen<br>Sungai Citanduy                               | 182 |
| VII.1.1 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 100% Lumpur                                                                   | 182 |
| VII.1.2 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 80% Lumpur                                                                    |     |

|         |                                                                           |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
|         | + 20% Pasir                                                               | 182 |
| VII.1.3 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 60% Lumpur<br>+ 40% Pasir                    | 185 |
| VII.1.4 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 50% Lumpur<br>+ 50% Pasir                    | 185 |
| VII.1.5 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 40% Lumpur<br>+ 60% Pasir                    | 186 |
| VII.1.6 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 20% Lumpur<br>+ 80% Pasir                    | 187 |
| VII.1.7 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 10% Lumpur<br>+ 90% Pasir                    | 187 |
| VII.1.8 | Pembahasan Kecepatan Erosi dengan $(\tau_b - \tau_c)$                     | 188 |
| VII.2   | Kecepatan Erosi Dengan $(\tau_b - \tau_c)$ pada Sedimen<br>Sungai Cimanuk | 191 |
| VII.2.1 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 100% Lumpur                                  | 191 |
| VII.2.2 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 80% Lumpur<br>+ 20% Pasir                    | 192 |
| VII.2.3 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 60% Lumpur<br>+ 40% Pasir                    | 195 |
| VII.2.4 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 50% Lumpur<br>+ 50% Pasir                    | 195 |
| VII.2.5 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 40% Lumpur<br>+ 60% Pasir                    | 196 |
| VII.2.6 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 20% Lumpur<br>+ 80% Pasir                    | 196 |
| VII.2.7 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 10% Lumpur<br>+ 90% Pasir                    | 197 |
| VII.2.8 | Pembahasan Kecepatan Erosi dengan $(\tau_b - \tau_c)$                     | 197 |
| VII.3   | Kecepatan Erosi Dengan $(\tau_b - \tau_c)$ pada Sedimen<br>Sungai Ciasem  | 200 |
| VII.3.1 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 100% Lumpur                                  | 200 |
| VII.3.2 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 80% Lumpur<br>+ 20% Pasir                    | 201 |
| VII.3.3 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 60% Lumpur<br>+ 40% Pasir                    | 204 |
| VII.3.4 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 50% Lumpur<br>+ 50% Pasir                    | 204 |
| VII.3.5 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 40% Lumpur<br>+ 60% Pasir                    | 205 |
| VII.3.6 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 20% Lumpur<br>+ 80% Pasir                    | 205 |
| VII.3.7 | Kecepatan Erosi Pada Sedimen 10% Lumpur<br>+ 90% Pasir                    | 206 |
| VII.3.8 | Pembahasan Kecepatan Erosi dengan $(\tau_b - \tau_c)$                     | 206 |
| VIII    | Kesimpulan                                                                | 211 |
| VIII.1  | Kecepatan Jatuh                                                           | 211 |



|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VIII.2 Kedalaman terhadap Berat Jenis, Berat Jenis Kering,<br>Kadar air, dan Tegangan Geser Kritis Erosi | 213 |
| VIII.3 Tegangan Geser Kritis Erosi                                                                       | 215 |
| VIII.4 Mode Erosi                                                                                        | 216 |
| VIII.5 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ )                                             | 218 |
| VIII.6 Saran                                                                                             | 220 |
| DAFTAR PUSTAKA                                                                                           | 221 |

## DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran   |                                               | Halaman |
|------------|-----------------------------------------------|---------|
| Lampiran A | Analisis Saringan Agregat Halus.....          | 225     |
| Lampiran B | Sertifikat Analisis Mineral Lumpur.....       | 229     |
| Lampiran C | Perhitungan Kecepatan Jatuh .....             | 234     |
| Lampiran D | Perhitungan Tegangan Geser Kritis erosi ..... | 291     |
| Lampiran E | Perhitungan Berat Jenis .....                 | 360     |



## DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

| GAMBAR | Halaman                                                                                                            |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I.1    | Diagram Alur penelitian ..... 6                                                                                    |
| II.1   | Keseimbangan partikel sedimen ..... 16                                                                             |
| II.2   | Gaya-gaya yang bekerja pada butiran tanah pada laminar dan turbulen ..... 20                                       |
| II.3   | Tegangan Geser Kritis sebagai fungsi dari diameter ..... 25                                                        |
| II.4   | Ikatan struktur sedimen pada campuran <i>kaolinit</i> /pasir ..... 32                                              |
| III.1  | Tabung <i>bottom withdrawal</i> pada rak penyangga ..... 34                                                        |
| III.2  | Stopwath, thermometer, pipet ukur 10 ml, gelas ukur 100 ml, botol plastik ..... 36                                 |
| III.3  | Lokasi pengambilan sampel sedimen sungai Citanduy ..... 37                                                         |
| III.4  | Prinsip percobaan kecepatan jatuh ..... 39                                                                         |
| III.5  | Sirkular flume ..... 40                                                                                            |
| III.6  | Lokasi sungai Cimanuk ..... 41                                                                                     |
| III.7  | <i>Currentmeter</i> dengan <i>counter digital Streamflow</i> B-8713-1 dan kipas <i>low speed</i> B-8713-2 ..... 42 |
| III.8  | <i>Currentmeter</i> dengan <i>counter digital Streamflow</i> -422 dan kipas <i>high speed</i> ..... 43             |
| III.9  | Lempeng aluminium dan ring besi ..... 43                                                                           |
| IV.1   | Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 0 ‰ ..... 51                                            |
| IV.2   | Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 5 ‰ ..... 52                                            |
| IV.3   | Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 10 ‰ ..... 53                                           |
| IV.4   | Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 15 ‰ ..... 54                                           |
| IV.5   | Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada Salinitas 20 ‰ ..... 55                                           |
| IV.6   | Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 25 ‰ ..... 56                                           |
| IV.7   | Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 30 ‰ ..... 57                                           |
| IV.8   | Kecepatan jatuh dalam berbagai salinitas ..... 61                                                                  |
| IV.9   | Hubungan kecepatan jatuh dengan salinitas pada <i>flocculation settling</i> ..... 61                               |
| IV.10  | Hubungan kecepatan jatuh dengan salinitas pada <i>hindered settling</i> ..... 62                                   |
| IV.11  | Pengaruh salinitas pada kecepatan jatuh (Burt, 1984) ..... 63                                                      |
| V.1    | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Citanduy - konsolidasi 1 minggu) ..... 74                                   |
| V.2    | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Citanduy - konsolidasi 2 minggu) ..... 75                                   |
| V.3    | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Citanduy - konsolidasi 3 minggu) ..... 75                                   |
| V.4    | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Citanduy                                                             |



|      |                                                                                                  |     |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|      | - konsolidasi 1 minggu) .....                                                                    | 76  |
| V.5  | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Citanduy<br>- konsolidasi 2 minggu) .....          | 76  |
| V.6  | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Citanduy<br>- konsolidasi 3 minggu) .....          | 77  |
| V.7  | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Citanduy<br>- konsolidasi 1 minggu) .....                   | 77  |
| V.8  | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Citanduy<br>- konsolidasi 2 minggu) .....                   | 78  |
| V.9  | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Citanduy<br>- konsolidasi 3 minggu) .....                   | 78  |
| V.10 | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Citanduy - konsolidasi 1 minggu) ..... | 79  |
| V.11 | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Citanduy - konsolidasi 2 minggu) ..... | 79  |
| V.12 | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Citanduy - konsolidasi 3 minggu) ..... | 80  |
| V.13 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Cimanuk<br>- konsolidasi 1 minggu) .....                  | 88  |
| V.14 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Cimanuk<br>- konsolidasi 2 minggu) .....                  | 89  |
| V.15 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Cimanuk<br>- konsolidasi 3 minggu) .....                  | 89  |
| V.16 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Cimanuk<br>- konsolidasi 1 minggu) .....           | 90  |
| V.17 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Cimanuk<br>- konsolidasi 2 minggu) .....           | 90  |
| V.18 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Cimanuk<br>- konsolidasi 3 minggu) .....           | 91  |
| V.19 | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Cimanuk<br>- konsolidasi 1 minggu) .....                    | 91  |
| V.20 | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Cimanuk<br>- konsolidasi 2 minggu) .....                    | 92  |
| V.21 | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Cimanuk<br>- konsolidasi 3 minggu) .....                    | 92  |
| V.22 | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Cimanuk - konsolidasi 1 minggu) .....  | 93  |
| V.23 | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Cimanuk - konsolidasi 2 minggu) .....  | 94  |
| V.24 | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Cimanuk - konsolidasi 3 minggu) .....  | 94  |
| V.25 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Ciasem<br>- konsolidasi 1 minggu) .....                   | 103 |
| V.26 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Ciasem<br>- konsolidasi 2 minggu) .....                   | 104 |
| V.27 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis (Ciasem<br>- konsolidasi 3 minggu) .....                   | 104 |
| V.28 | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Ciasem                                             |     |



|       |                                                                                                                  |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|       | - konsolidasi 1 minggu) .....                                                                                    | 105 |
| V.29  | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Ciasem<br>- konsolidasi 2 minggu) .....                            | 105 |
| V.30  | Hubungan kedalaman dengan berat jenis kering (Ciasem<br>- konsolidasi 3 minggu) .....                            | 106 |
| V.31  | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Ciasem<br>- konsolidasi 1 minggu) .....                                     | 106 |
| V.32  | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Ciasem<br>- konsolidasi 2 minggu) .....                                     | 107 |
| V.33  | Hubungan kedalaman dengan kadar air (Ciasem<br>- konsolidasi 3 minggu) .....                                     | 107 |
| V.34  | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Ciasem - konsolidasi 1 minggu) .....                   | 108 |
| V.35  | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Ciasem - konsolidasi 2 minggu) .....                   | 108 |
| V.36  | Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi<br>(Ciasem - konsolidasi 3 minggu) .....                   | 109 |
| VI.1  | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen 100 %<br>lumpur (Citanduy) .....                         | 110 |
| VI.2  | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 80 % lumpur + 20 % pasir (Citanduy) .....    | 111 |
| VI.3  | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 60 % lumpur + 40 % pasir (Citanduy) .....    | 112 |
| VI.4  | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 50 % lumpur + 50 % pasir (Citanduy) .....    | 112 |
| VI.5  | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 40 % lumpur + 60 % pasir (Citanduy) .....    | 113 |
| VI.6  | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 20 % lumpur + 80 % pasir (Citanduy) .....    | 114 |
| VI.7  | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 10 % lumpur + 90 % pasir (Citanduy) .....    | 115 |
| VI.8  | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Citanduy – konsolidasi 1 minggu) .....               | 115 |
| VI.9  | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Citanduy – konsolidasi 2 minggu) .....               | 116 |
| VI.10 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Citanduy – konsolidasi 3 minggu) .....               | 116 |
| VI.11 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Citanduy – konsolidasi 1,2,3 minggu) .....           | 117 |
| VI.12 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Citanduy – 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10%) ..... | 117 |
| VI.13 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen 100 %<br>lumpur (Cimanuk) .....                          | 121 |
| VI.14 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 80 % lumpur + 20 % pasir (Cimanuk) .....     | 121 |
| VI.15 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 60 % lumpur + 40 % pasir (Cimanuk) .....     | 122 |



|       |                                                                                                                 |     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VI.16 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 50 % lumpur + 50 % pasir (Cimanuk).....        | 123 |
| VI.17 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 40 % lumpur + 60 % pasir (Cimanuk).....        | 123 |
| VI.18 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 20 % lumpur + 80 % pasir (Cimanuk) .....       | 124 |
| VI.19 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 10 % lumpur + 90 % pasir (Cimanuk) .....       | 125 |
| VI.20 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Cimanuk – konsolidasi 1 minggu) .....                  | 125 |
| VI.21 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Cimanuk – konsolidasi 2 minggu) .....                  | 126 |
| VI.22 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Cimanuk – konsolidasi 3 minggu) .....                  | 126 |
| VI.23 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Cimanuk – konsolidasi 1,2,3 minggu) .....              | 127 |
| VI.24 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Cimanuk – 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10%) .....    | 127 |
| VI.25 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen 100 % lumpur (Ciasem).....                              | 130 |
| VI.26 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 80 % lumpur + 20 % pasir (Ciasem) .....        | 131 |
| VI.27 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 60 % lumpur + 40 % pasir (Ciasem) .....        | 131 |
| VI.28 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 50 % lumpur + 50 % pasir (Ciasem) .....        | 132 |
| VI.29 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 40 % lumpur + 60 % pasir (Ciasem) .....        | 133 |
| VI.30 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 20 % lumpur + 80 % pasir (Ciasem) .....        | 133 |
| VI.31 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 10 % lumpur + 90 % pasir (Ciasem) .....        | 134 |
| VI.32 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Ciasem – konsolidasi 1 minggu) .....                   | 135 |
| VI.33 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Ciasem – konsolidasi 2 minggu) .....                   | 135 |
| VI.34 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Ciasem – konsolidasi 3 minggu) .....                   | 136 |
| VI.35 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Ciasem – konsolidasi 1,2,3 minggu) .....               | 136 |
| VI.36 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Ciasem – 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10%) .....     | 137 |
| VI.37 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis untuk campuran buatan (Mitchener and Torfs, 1995) ..... | 140 |
| VI.38 | Gradasi lumpur dan pasir Citanduy .....                                                                         | 142 |
| VI.39 | Gradasi lumpur dan pasir Cimanuk .....                                                                          | 142 |
| VI.40 | Gradasi lumpur dan pasir Ciasem.....                                                                            | 142 |



|       |                                                                                                                      |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VI.41 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis Citanduy, Cimanuk, Ciasem.....                                            | 144 |
| VI.42 | Permukaan sebelum erosi pada 60% lumpur .....                                                                        | 145 |
| VI.43 | Mode erosi kohesif pada 60% lumpur .....                                                                             | 146 |
| VI.44 | Permukaan setelah erosi pada 60 % lumpur .....                                                                       | 146 |
| VI.45 | Permukaan sebelum erosi pada 20 % lumpur .....                                                                       | 147 |
| VI.46 | Mode erosi kohesif pada 20 % lumpur .....                                                                            | 147 |
| VI.47 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering pada sedimen 100 % lumpur (Citanduy).....                          | 149 |
| VI.48 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering pada sedimen campuran 80 % lumpur + 20 % pasir (Citanduy).....     | 150 |
| VI.49 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering pada sedimen campuran 60 % lumpur + 40 % pasir (Citanduy).....     | 151 |
| VI.50 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering pada sedimen campuran 50 % lumpur + 50 % pasir (Citanduy).....     | 152 |
| VI.51 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering pada sedimen campuran 40 % lumpur + 60 % pasir (Citanduy).....     | 153 |
| VI.52 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering pada sedimen campuran 20 % lumpur + 80 % pasir (Citanduy) .....    | 153 |
| VI.53 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering pada sedimen campuran 10 % lumpur + 90 % pasir (Citanduy) .....    | 154 |
| VI.54 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis kering (Citanduy – konsolidasi 1 minggu) .....               | 155 |
| VI.55 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis kering (Citanduy – konsolidasi 2 minggu) .....               | 155 |
| VI.56 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis kering (Citanduy – konsolidasi 3 minggu) .....               | 156 |
| VI.57 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis kering (Citanduy – konsolidasi 1,2,3 minggu) .....           | 156 |
| VI.58 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis kering (Citanduy – 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10%) ..... | 157 |
| VI.59 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen 100 % lumpur (Cimanuk) .....                                 | 160 |
| VI.60 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 80 % lumpur + 20 % pasir (Cimanuk).....             | 161 |
| VI.61 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 60 % lumpur + 40 % pasir (Cimanuk).....             | 162 |
| VI.62 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 50 % lumpur + 50 % pasir (Cimanuk).....             | 163 |
| VI.63 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 40 % lumpur + 60 % pasir (Cimanuk).....             | 163 |
| VI.64 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 20 % lumpur + 80 % pasir (Cimanuk) .....            | 164 |
| VI.65 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen campuran 10 % lumpur + 90 % pasir (Cimanuk) .....            | 165 |
| VI.66 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis (Cimanuk – konsolidasi 1 minggu) .....                       | 165 |
| VI.67 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis                                                              |     |



|       |                                                                                                                 |     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|       | (Cimanuk – konsolidasi 2 minggu) .....                                                                          | 166 |
| VI.68 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Cimanuk – konsolidasi 3 minggu) .....               | 166 |
| VI.69 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Cimanuk – konsolidasi 1,2,3 minggu) .....           | 167 |
| VI.70 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Cimanuk – 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10%) ..... | 167 |
| VI.71 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen 100 %<br>lumpur (Ciasem) .....                          | 170 |
| VI.72 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 80 % lumpur + 20 % pasir (Ciasem) .....     | 170 |
| VI.73 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 60 % lumpur + 40 % pasir (Ciasem) .....     | 171 |
| VI.74 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 50 % lumpur + 50 % pasir (Ciasem) .....     | 172 |
| VI.75 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 40 % lumpur + 60 % pasir (Ciasem) .....     | 173 |
| VI.76 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 20 % lumpur + 80 % pasir (Ciasem) .....     | 174 |
| VI.77 | Tegangan geser kritis erosi vs berat jenis pada sedimen<br>campuran 10 % lumpur + 90 % pasir (Ciasem) .....     | 175 |
| VI.78 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Ciasem – konsolidasi 1 minggu) .....                | 175 |
| VI.79 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Ciasem – konsolidasi 2 minggu) .....                | 176 |
| VI.80 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Ciasem – konsolidasi 3 minggu) .....                | 176 |
| VI.81 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Ciasem – konsolidasi 1,2,3 minggu) .....            | 177 |
| VI.82 | Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan berat jenis<br>(Ciasem – 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10%) .....  | 177 |
| VI.83 | Hubungan tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering<br>Citanduy, Cimanuk, Ciasem .....                   | 181 |
| VII.1 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy –<br>100% lumpur) .....                         | 182 |
| VII.2 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy –<br>80% lumpur) .....                          | 185 |
| VII.3 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy –<br>60% lumpur) .....                          | 185 |
| VII.4 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy –<br>50% lumpur) .....                          | 186 |
| VII.5 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy –<br>40% lumpur) .....                          | 186 |
| VII.6 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy –<br>20% lumpur) .....                          | 187 |
| VII.7 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy –<br>10% lumpur) .....                          | 187 |
| VII.8 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi                                              |     |



|        |                                                                                                      |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|        | 1 minggu – Citanduy) .....                                                                           | 189 |
| VII.9  | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>2 minggu – Citanduy) .....     | 189 |
| VII.10 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>3 minggu – Citanduy) .....     | 190 |
| VII.11 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>1,2,3 minggu – Citanduy) ..... | 190 |
| VII.12 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk –<br>100% lumpur) .....               | 192 |
| VII.13 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk –<br>80% lumpur) .....                | 192 |
| VII.14 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk –<br>60% lumpur) .....                | 195 |
| VII.15 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk –<br>50% lumpur) .....                | 195 |
| VII.16 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk –<br>40% lumpur) .....                | 196 |
| VII.17 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk –<br>20% lumpur) .....                | 197 |
| VII.18 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk –<br>10% lumpur) .....                | 197 |
| VII.19 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>1 minggu – Cimanuk) .....      | 199 |
| VII.20 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>2 minggu – Cimanuk) .....      | 199 |
| VII.21 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>3 minggu – Cimanuk) .....      | 199 |
| VII.22 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>1,2,3 minggu – Cimanuk) .....  | 200 |
| VII.23 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem –<br>100% lumpur) .....                | 201 |
| VII.24 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem –<br>80% lumpur) .....                 | 201 |
| VII.25 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem –<br>60% lumpur) .....                 | 204 |
| VII.26 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem –<br>50% lumpur) .....                 | 204 |
| VII.27 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem –<br>40% lumpur) .....                 | 205 |
| VII.28 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem –<br>20% lumpur) .....                 | 205 |
| VII.29 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem –<br>10% lumpur) .....                 | 206 |
| VII.30 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>1 minggu – Ciasem) .....       | 207 |
| VII.31 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi<br>2 minggu – Ciasem) .....       | 208 |



|        |                                                                                                |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VII.32 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi 3 minggu – Ciasem).....     | 208 |
| VII.33 | Hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi 1,2,3 minggu – Ciasem)..... | 208 |
| VII.34 | Hubungan konstanta erosi terhadap persentasi lumpur.....                                       | 210 |

## DAFTAR TABEL

| TABEL | Halaman                                                                                                                                       |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| II.1  | Skala Ukuran Partikel berdasarkan American Geophysical Union (AGU) ..... 10                                                                   |
| II.2  | Mineral-mineral lumpur..... 13                                                                                                                |
| II.3  | Persentasi lumpur terhadap perubahan mode erosi ..... 30                                                                                      |
| III.1 | Komposisi campuran pasir dan lumpur ..... 45                                                                                                  |
| III.2 | Formulir data hasil percobaan ..... 47                                                                                                        |
| IV.1  | Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 0 ‰ ..... 51                                                                                           |
| IV.2  | Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 5 ‰ ..... 52                                                                                           |
| IV.3  | Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 10 ‰ ..... 53                                                                                          |
| IV.4  | Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 15 ‰ ..... 54                                                                                          |
| IV.5  | Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 20 ‰ ..... 55                                                                                          |
| IV.6  | Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 25 ‰ ..... 56                                                                                          |
| IV.7  | Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 30 ‰ ..... 57                                                                                          |
| IV.8  | Salinitas dan batas persamaan..... 59                                                                                                         |
| IV.9  | Konsentrasi dan viskositas..... 65                                                                                                            |
| V.1   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 100%, 80%, 60% lumpur (Citanduy) ..... 67 |
| V.2   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 50%, 40%, 20% lumpur (Citanduy) ..... 68  |
| V.3   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 10% lumpur (Citanduy)..... 69             |
| V.4   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 100%, 80%, 60% lumpur (Cimanuk) ..... 82  |
| V.5   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 50%, 40%, 20% lumpur (Cimanuk) ..... 83   |
| V.6   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 10% lumpur (Cimanuk)..... 84              |
| V.7   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 100%, 80%, 60% lumpur (Ciasem)..... 97    |
| V.8   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 50%, 40%, 20% lumpur (Ciasem)..... 98     |
| V.9   | Kedalaman, berat jenis, berat jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 10% lumpur (Ciasem) ..... 99              |
| VI.1  | Nilai $E_1$ , $E_2$ , $\rho_m$ , $R^2$ Sedimen Sungai Citanduy..... 119                                                                       |
| VI.2  | Nilai $E_1$ , $E_2$ , $\rho_m$ , $R^2$ Sedimen Sungai Cimanuk..... 119                                                                        |
| VI.3  | Nilai $E_1$ , $E_2$ , $\rho_m$ , $R^2$ Sedimen Sungai Ciasem..... 128                                                                         |
| VI.4  | Nilai $E_1$ , $E_2$ , $\rho_m$ , $R^2$ Sedimen Sungai Citanduy (berat jenis kering) ..... 128                                                 |



|        |                                                                                                             |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VI.5   | Nilai $E1$ , $E2$ , $\rho_m$ , $R^2$ Sedimen Sungai Cimanuk (berat jenis kering) .....                      | 134 |
| VI.6   | Nilai $a$ , $b$ , $c$ , dan $R^2$ Sedimen Sungai Ciasem .....                                               | 135 |
| VI.7   | Nilai $E1$ , $E2$ , $\rho_m$ , $R^2$ Sedimen Sungai Citanduy (berat jenis kering) .....                     | 155 |
| VI.8   | Nilai $a$ , $b$ , $c$ , dan $R^2$ Sedimen Sungai Citanduy (berat jenis kering) .....                        | 156 |
| VI.9   | Nilai $E1$ , $E2$ , $\rho_m$ , $R^2$ Sedimen Sungai Cimanuk (berat jenis kering) .....                      | 165 |
| VI.10  | Nilai $a$ , $b$ , $c$ , dan $R^2$ Sedimen Sungai Cimanuk (berat jenis kering) .....                         | 166 |
| VI.11  | Nilai $E1$ , $E2$ , $\rho_m$ , $R^2$ dan Batas Berat Jenis Sedimen Sungai Ciasem (berat jenis kering) ..... | 178 |
| VI.12  | Nilai $a$ , $b$ , $c$ , dan $R^2$ Sedimen Sungai Ciasem (berat jenis kering) .....                          | 179 |
| VII.1  | Kecepatan erosi dan $(Tb - Te)$ sedimen 100%, 80%, 60%, 50% lumpur (Citanduy) .....                         | 183 |
| VII.2  | Kecepatan erosi dan $(Tb - Te)$ sedimen 40%, 20%, 10% lumpur (Citanduy) .....                               | 184 |
| VII.3  | Kecepatan erosi dan $(Tb - Te)$ sedimen 100%, 80%, 60%, 50% lumpur (Cimanuk) .....                          | 193 |
| VII.4  | Kecepatan erosi dan $(Tb - Te)$ sedimen 40%, 20%, 10% lumpur (Cimanuk) .....                                | 194 |
| VII.5  | Kecepatan erosi dan $(Tb - Te)$ sedimen 100%, 80%, 60%, 50% lumpur (Ciasem) .....                           | 202 |
| VII.6  | Kecepatan erosi dan $(Tb - Te)$ sedimen 40%, 20%, 10% lumpur (Ciasem) .....                                 | 203 |
| VIII.1 | Hasil penelitian dan referensi yang ada .....                                                               | 212 |
| VIII.2 | Persentasi Lumpur terhadap Perubahan Mode Erosi .....                                                       | 217 |

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

| SINGKATAN      | Nama                                  |    |
|----------------|---------------------------------------|----|
|                | Halaman                               |    |
| D              | Diameter saringan .....               | 11 |
| D <sub>s</sub> | Diameter sedimentasi .....            | 11 |
| D <sub>n</sub> | Diameter nominal .....                | 11 |
| CEC            | <i>Cation Exchange Capacity</i> ..... | 12 |

## LAMBANG

|                                            |                                                                            |    |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| D <sub>cp</sub>                            | laju deposisi (kg/m <sup>2</sup> det) .....                                | 15 |
| w <sub>s</sub>                             | kecepatan jatuh sedimen (m/det) .....                                      | 15 |
|                                            | kecepatan jatuh partikel individu (mm/det) .....                           | 15 |
| C <sub>b</sub>                             | konsentrasi sedimen di dasar (kg/m <sup>3</sup> ) .....                    | 15 |
| T <sub>b</sub>                             | tegangan geser dasar (N/m <sup>2</sup> ) .....                             | 15 |
| T <sub>d</sub>                             | tegangan geser kritis untuk deposisi (N/m <sup>2</sup> ) .....             | 15 |
| w <sub>s,m</sub>                           | kecepatan jatuh sedimen campuran sedimen-air (mm/det) ...                  | 17 |
| m                                          | koefisien (1 - 2) .....                                                    | 17 |
| c                                          | konsentrasi volume (mg/l) .....                                            | 17 |
| α                                          | koefisien .....                                                            | 17 |
| K                                          | koefisien .....                                                            | 17 |
| β                                          | koefisien (3 - 5) .....                                                    | 17 |
| k <sub>1</sub>                             | koefisien empirik = 0.513 .....                                            | 17 |
| k <sub>2</sub>                             | koefisien empirik = 0.008 .....                                            | 17 |
| w <sub>s0</sub>                            | ws pada konsentrasi C <sub>2</sub> .....                                   | 18 |
| k <sub>2</sub>                             | invers dari (C <sub>s</sub> - C <sub>2</sub> ) .....                       | 18 |
| C <sub>s</sub>                             | konsentrasi pada w <sub>s</sub> = 0 .....                                  | 18 |
| E                                          | laju erosi (kg/m <sup>2</sup> det) .....                                   | 18 |
| M                                          | parameter erosi (kg/m <sup>2</sup> det) .....                              | 18 |
| τ <sub>c</sub>                             | tegangan geser kritis untuk erosi (N/m <sup>2</sup> ) .....                | 18 |
| P                                          | porositas .....                                                            | 18 |
| Ø                                          | kemiringan dasar .....                                                     | 20 |
| Θ                                          | adalah angle of repose dari sedimen .....                                  | 20 |
| C                                          | pusat gravitasi .....                                                      | 20 |
| G                                          | titik dukung partikel .....                                                | 20 |
| C <sub>1</sub>                             | koefisien bentuk .....                                                     | 20 |
| D <sub>s</sub>                             | adalah diameter partikel .....                                             | 20 |
| γ <sub>s</sub>                             | adalah berat jenis partikel .....                                          | 20 |
| γ                                          | adalah berat jenis air .....                                               | 20 |
| τ <sub>0</sub>                             | tegangan geser dasar .....                                                 | 21 |
| C <sub>2</sub> D <sub>s</sub> <sup>2</sup> | luas permukaan efektif dari partikel yang dilalui τ <sub>0</sub> .....     | 21 |
| C <sub>2</sub>                             | koefisien bentuk yang mendefinisikan luas permukaan efektif partikel ..... | 21 |



|             |                                                            |    |
|-------------|------------------------------------------------------------|----|
| $b$         | lebar saluran.....                                         | 22 |
| $d$         | kedalaman.....                                             | 22 |
| $D_s$       | diameter sedimen.....                                      | 22 |
| $g$         | percepatan gravitasi.....                                  | 22 |
| $\rho_s$    | massa jenis partikel.....                                  | 22 |
| $\rho$      | massa jenis air.....                                       | 22 |
| $\nu$       | viskositas kinematic air.....                              | 22 |
| $U_{*c}$    | kecepatan geser.....                                       | 22 |
| $D_{50}$    | diameter median.....                                       | 23 |
| $\bar{D}$   | diameter rata-rata.....                                    | 23 |
| $d_{50}$    | ukuran median partikel yaitu 50 % berat contoh sampel..... | 26 |
| $d_m$       | ukuran rata-rata partikel = $\Sigma(p_i d_i)/100$ .....    | 26 |
| $p_i$       | persentase berat setiap bagian ukuran butir $d_i$ .....    | 26 |
| $\sigma_d$  | standar deviasi.....                                       | 26 |
| $\tau_{cr}$ | critical shear stress ( $N/m^2$ ).....                     | 28 |
| $\rho_b$    | bulk density ( $kg/m^3$ ).....                             | 28 |
| E1          | konstanta = 0,015.....                                     | 28 |
| E2          | konstanta = 0.73.....                                      | 28 |
| $\Phi_{sf}$ | <i>solid fraction</i> .....                                | 28 |

## **Bab I Pendahuluan**

### **1.1 Latar belakang Masalah**

Indonesia adalah negara kepulauan yang mempunyai banyak sungai dengan muaranya masing-masing. Sungai bagian hilir adalah bagian sungai yang menuju ke laut yang dikenal dengan muara. Semua yang terangkut oleh aliran sungai akan terbawa sampai ke hilir. Apabila di daerah aliran sungai bagian hulu banyak terjadi erosi yang disebabkan penebangan hutan atau minimnya pengetahuan tentang kelestarian lingkungan maka sungai itu akan membawa banyak sedimen. Aliran sungai yang banyak mengandung sedimen akan mengakibatkan pendangkalan muara, biasanya sedimen kohesif karena sedimen ini lebih mudah terbawa aliran sebagai sedimen layang.

Banyak kasus pendangkalan yang terjadi pada sungai dan muara di Indonesia, ini membawa dampak yang merugikan manusia dan lingkungan. Kegiatan manusia menjadi terganggu seperti kegiatan pelayaran pada beberapa sungai di pulau Jawa seperti sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem terutama di muara yang menjadi jalan masuknya kapal ke sungai (nelayan dan transportasi air). Akibat pendangkalan juga merubah lingkungan, khususnya morfologi sungai atau muara. Perubahan tersebut berdampak pada segala flora dan fauna yang hanya dapat tinggal pada habitatnya seperti muara Segara Anakan yang mempunyai laguna. Apabila pendangkalan terus terjadi dikhawatirkan laguna yang ada akan hilang sehingga flora dan fauna atau lingkungan yang ada sekarang akan punah juga.

Dengan demikian untuk mencegah kasus-kasus di atas perlu kajian karakteristik sedimen. Untuk mendapatkan hasil yang baik perlu kajian karakteristik sedimen yang lebih mendalam agar dapat dimodelkan lebih akurat (sesuai dengan keadaan sebenarnya), maka dalam penelitian ini diusulkan kajian karakteristik sedimen dengan percobaan laboratorium.



## **I.2 Perumusan Masalah**

Kawasan hilir sungai merupakan wilayah yang sangat strategis sebagai tujuan akhir dari aliran sungai. Segala sesuatu yang terangkut oleh aliran sungai baik sedimen kohesif (lumpur) dan sedimen non kohesif (pasir) akan terbawa sampai ke hilir. Sebagai tujuan akhir maka hilir sungai harus terpelihara agar aliran sungai berjalan lancar.

Sehubungan dengan sedimentasi yang terus menerus terjadi di hilir sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem membawa dampak banjir di daerah sekitarnya pada musim hujan karena aliran sungai kurang lancar menuju laut terutama saat pasang terjadi. Selain itu juga membuat pendangkalan pada muara Segara Anakan yang berdampak pada perubahan morfologi muara seperti ditulis di atas. Sedimentasi ini mempengaruhi kegiatan manusia (pelayaran) dan alam sekitarnya. Sehingga fenomena ini harus diantisipasi supaya kegiatan manusia dan alam sekitarnya tetap stabil dan berjalan normal.

Selain itu, penelitian tentang tegangan geser kritis erosi pada sedimen campuran lumpur dan pasir sampai sejauh ini masih sedikit dan tidak lengkap komposisi campurannya. Masih perlu pengetahuan tegangan geser kritis erosi sedimen campuran yang spesifik untuk suatu sungai dengan sifat-sifat lumpur dan pasir sungai itu sendiri.

Untuk mengantisipasi fenomena diatas dan lebih jelasnya tegangan geser kritis erosi pada sungai-sungai di Indonesia (khususnya sungai Citanduy, Cimanuk, dan Ciasem) maka dilakukan penelitian. Dalam penelitian ini permasalahan yang akan diteliti adalah karakteristik sedimen kohesif yaitu kecepatan jatuh (pada sungai Citanduy) dan karakteristik sedimen campuran yaitu tegangan geser kritis untuk erosi, kecepatan erosi, dan konstanta erosi.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengkaji karakteristik sedimen kohesif, khususnya kecepatan jatuh sedimen yang dipengaruhi oleh konsentrasi sedimen dan salinitas.
2. Mengkaji karakteristik sedimen campuran lumpur dan pasir, khususnya tegangan geser kritis erosi yang dipengaruhi oleh massa jenis, massa jenis kering, beserta konstanta erosi.

### **1.4 Arti Penting Penelitian**

Wilayah hilir sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem memiliki proses dinamika alam yang kompleks, karena di sana terjadi arus, pasang surut, angkutan sedimen, perubahan batimetri dan interaksinya satu dengan yang lain. Selain itu juga ada kegiatan yang dilakukan manusia di sekitar tersebut, diantaranya pelayaran nelayan, transportasi air, perikanan dan lainnya. Oleh karena itu diperlukan pengetahuan yang baik tentang fenomena alam tersebut, sehingga kegiatan dan fenomena alam tidak saling terganggu.

Guna mempelajari fenomena alam tersebut, maka sangat penting untuk melakukan penelitian tentang fenomena tersebut dengan menggunakan metoda yang tepat, cepat dan ekonomis. Penelitian ini sangat penting dilakukan dan hasil penelitian ini diharapkan dapat mengetahui karakteristik sedimen sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem, khususnya kecepatan jatuh sedimen kohesif dan tegangan geser kritis erosi sedimen campuran yang spesifik sungai tersebut. Dimana hasil tersebut juga dapat menunjang model angkutan sedimen pada sungai tersebut.

### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memformulasikan persamaan kecepatan jatuh sedimen kohesif yang dipengaruhi konsentrasi.



2. Memperoleh nilai salinitas tertinggi untuk kecepatan jatuh maksimum.
3. Memformulasikan persamaan tegangan geser kritis erosi sedimen campuran yang spesifik untuk suatu sungai.
4. Memperoleh nilai konstanta erosi dari setiap komposisi campuran

#### **1.6 Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian kecepatan jatuh hanya terbatas pada sedimen kohesif sungai Citanduy dan hanya dilakukan di laboratorium.
2. Penelitian kecepatan jatuh hanya terbatas pada konsentrasi sedimen buatan.
3. Penelitian tegangan geser kritis erosi hanya terbatas pada 3 sungai yaitu sungai Citanduy, Cimanuk dan Ciasem. Ketiga sungai tersebut mempunyai gradasi sedimen yang hampir sama yaitu lumpur dan pasir halus.
4. Penelitian hanya dilakukan di laboratorium dengan sampel disturb karena akan dibuat campuran buatan (*artificial*).
5. Komposisi campuran buatan terbatas pada 100% lumpur, 80% lumpur + 20 % pasir, 60% lumpur + 40% pasir, 50% lumpur + 50% pasir, 40% lumpur + 60% pasir, 20% lumpur + 80% pasir, 10% lumpur + 90 pasir.
6. Waktu konsolidasi terbatas hanya konsolidasi 1 minggu, 2 minggu dan 3 minggu.

#### **1.7 Hipotesis Penelitian**

Dari penelitian kecepatan jatuh sedimen diharapkan memperoleh nilai salinitas tertinggi untuk kecepatan jatuh maksimum, dengan hipotesis: berapa nilai salinitas untuk memperoleh kecepatan jatuh maksimum? Berdasarkan teori bahwa salinitas menambah besar gumpalan sedimen kohesif sehingga menambah kecepatan jatuh.

Dari penelitian tegangan geser kritis erosi diharapkan memperoleh sifat-sifat tegangan geser kritis erosi sedimen campuran yang spesifik untuk suatu sungai sesuai dengan sifat lumpur dan pasir sungai tersebut, dengan hipotesis: bagaimana

sifat tegangan geser kritis erosi pada sungai tertentu sesuai dengan sifat lumpur dan pasir sungai tersebut. Berdasarkan teori bahwa massa jenis menentukan tegangan geser kritis erosi (makin besar massa jenis makin sukar tererosi)

### **1.8 Pendekatan dan Metode Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yaitu analisis berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh dari eksperimen dengan sampel dari sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem. Untuk mempelajari karakteristik sedimen yang berada di hilir sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem maka dilakukan pendekatan penelitian laboratorium.

#### **Percobaan Laboratorium**

Dalam percobaan laboratorium dilakukan pengukuran kecepatan jatuh sedimen kohesif dan tegangan geser kritis sedimen campuran. Untuk menentukan kecepatan jatuh sedimen kohesif digunakan tabung *bottom withdrawal* (Berlamont, Mary, Erik, Johan, 1993).. Prinsip kerja dari instrumen ini didasarkan pada sedimentasi partikel sedimen dalam suspensi seragam.

Untuk mengukur tegangan geser kritis erosi digunakan sirkular flume yaitu sebuah saluran buatan berbentuk sirkular dengan peralatan motor listrik untuk menggerakkan kincir agar air dapat bergerak dalam sirkular tersebut.

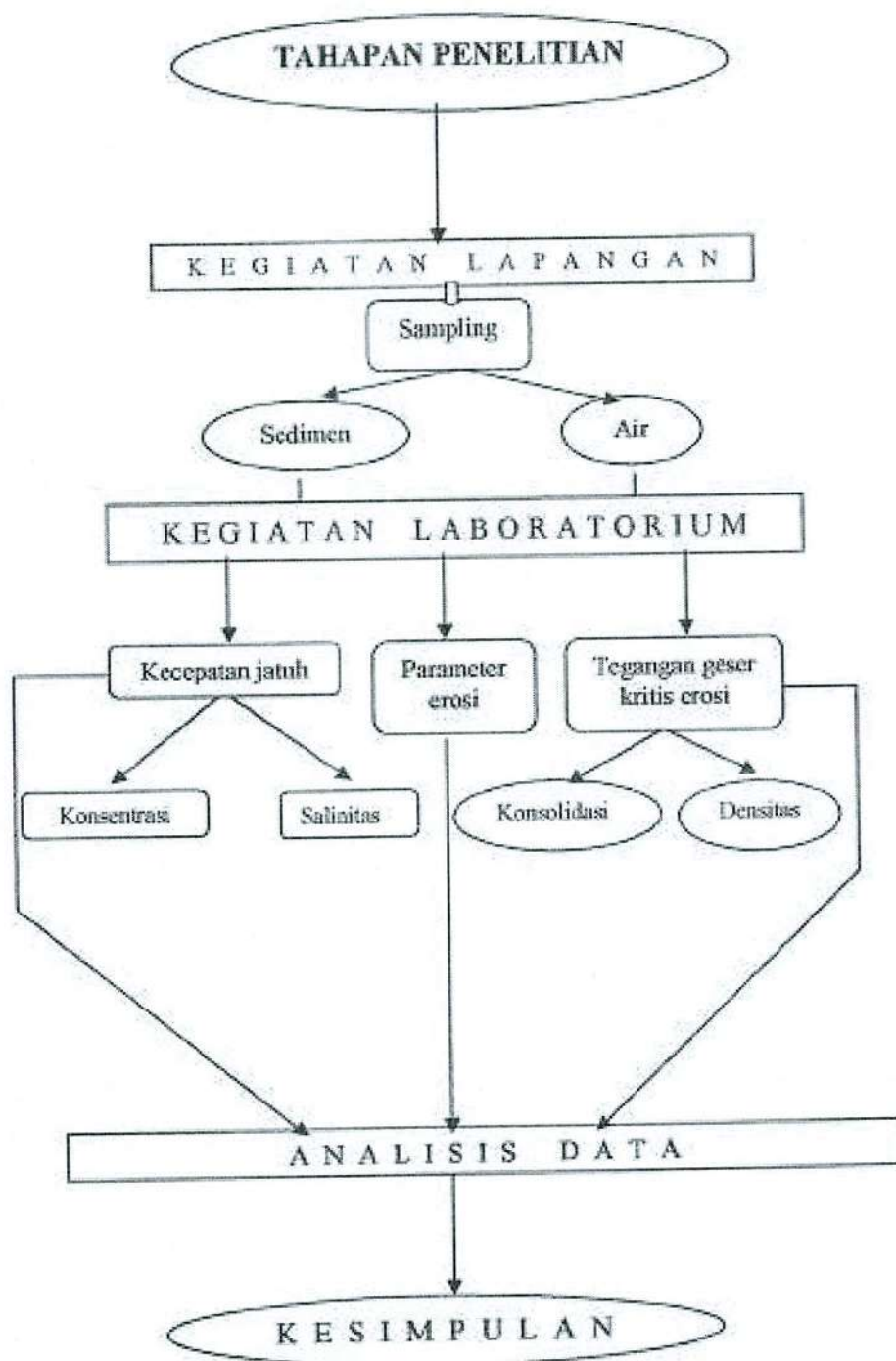
### **1.9 Pelaksanaan Penelitian**

Penelitian ini secara garis besar dilakukan atas beberapa tahapan berikut :

1. Pengambilan sampel
2. Percobaan laboratorium:
  - a. Percobaan kecepatan jatuh sedimen dipengaruhi konsentrasi
  - b. Percobaan kecepatan jatuh sedimen dipengaruhi salinitas
  - c. Tegangan geser kritis erosi dipengaruhi massa jenis dan massa jenis kering
  - d. Konstanta erosi



Secara umum tahapan penelitian disajikan dalam diagram alir pada Gambar 1.1



Gambar 1.1. Diagram Alur Penelitian

### **I.10 Penyelesaian Masalah**

Seperti yang diungkapkan pada bagian latar belakang, baik itu permasalahan ditinjau dari segi lingkungan dan dari segi morfologi sungai dan muara maka permasalahan-permasalahan tersebut di atas dicoba untuk diselesaikan dengan meneliti karakteristik sedimen di hilir sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem dengan metoda yang diuraikan pada bagian metoda penelitian. Dengan mengetahui karakteristik sedimen di sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem tersebut diharapkan masalah pengendapan di tempat tersebut dapat diprediksi dengan lebih akurat sehingga dapat diantisipasi dengan lebih baik.

### **I.11 Kontribusi Spesifik Kandidat dalam Menambah Khasanah Ilmu Pengetahuan**

Karakteristik sedimen suatu daerah dengan daerah lainnya biasanya memiliki perbedaan, dimana banyak faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan tersebut. Oleh karena itu kontribusi yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini dapat dibedakan atas 2 bagian utama, yakni:

1. Karakteristik sedimen kohesif sungai Citanduy bagian hilir, khususnya kecepatan jatuh yang dipengaruhi oleh berbagai konsentrasi sedimen dan salinitas.
2. Karakteristik sedimen campuran lumpur dan pasir sungai Citanduy hilir, sungai Cimanuk hilir dan sungai Ciasem hilir, khususnya tegangan geser kritis erosi, konstanta erosi
3. Perencanaan bangunan air dengan memakai bahan material dari salah satu sungai tersebut dapat digunakan komposisi campuran terbaik yang tahan erosi.

### **I.12 Sistematika Penulisan**

Bab I merupakan bab pendahuluan menyajikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, arti penting penelitian, ruang lingkup penelitian, batasan masalah, hipotesis penelitian, pendekatan dan metoda, pelaksanaan penelitian, penyelesaian masalah, kontribusi spesifik kandidat dalam menambah khazanah ilmu pengetahuan, dan sistematika penulisan.



Bab II menyajikan tinjauan pustaka, dalam bagian ini berisi teori-teori dan hasil-hasil terdahulu yang melandasi dan menunjang penelitian ini. Bab ini menyajikan kajian pustaka tentang: klasifikasi mineral menurut ukuran butir, komposisi mineral sedimen dan ukuran butir lumpur, pergerakan sedimen, kecepatan jatuh sedimen, pengendapan, erosi, tegangan geser kritis erosi, dan parameter erosi.

Bab III merupakan bab metodologi penelitian baik penelitian laboratorium maupun pemakaian model untuk aplikasi. Pada bab ini disajikan metodologi penelitian laboratorium untuk kecepatan jatuh dan tegangan geser kritis erosi dimana dalam masing-masing percobaan disajikan peralatan dan bahan serta prosedur percobaan yang berisi pengambilan sampel, persiapan percobaan, percobaan di laboratorium, pemeriksaan sampel dan analisis hasil percobaan.

Bab IV menyajikan hasil dan analisa penelitian kecepatan jatuh sedimen kohesif dengan berbagai konsentrasi pada 7 salinitas untuk sedimen sungai Citanduy.

Bab V menyajikan hasil dan analisa penelitian hubungan kedalaman terhadap massa jenis, massa jenis kering, kadar air dan tegangan geser kritis erosi dengan 7 macam komposisi campuran sedimen untuk sedimen sungai Citanduy, Cimanuk dan Ciasem.

Bab VI menyajikan hasil dan analisa penelitian hubungan tegangan geser kritis erosi terhadap massa jenis dan massa jenis kering dengan 7 macam komposisi campuran sedimen untuk sedimen sungai Citanduy, Cimanuk dan Ciasem.

Bab VII menyajikan hasil dan analisa penelitian hubungan kecepatan erosi terhadap perbedaan tegangan geser yang terjadi dengan tegangan geser kritis erosi ( $\tau_b - \tau_c$ ) dengan 7 macam komposisi campuran sedimen untuk sedimen sungai Citanduy, Cimanuk dan Ciasem.

Bab VIII menyajikan kesimpulan dari seluruh analisa yang sudah dilakukan beserta saran-saran.

## **Bab II Tinjauan Pustaka**

### **II.1 Klasifikasi Sedimen Menurut Ukuran Butir**

Proses pengangkutan dan pengendapan sedimen tidak hanya tergantung pada sifat-sifat aliran tetapi juga pada sifat-sifat sedimen itu sendiri. Sifat-sifat di dalam proses sedimentasi terdiri dari sifat partikelnya dan sifat sedimen secara menyeluruh. Namun demikian sifat yang paling penting adalah mengenai besarnya atau ukurannya.

Ukuran butir merupakan salah satu penemuan yang digunakan untuk menentukan dengan mudah penggambaran sifat dari partikel sedimen untuk berbagai tujuan. Ukuran butir merupakan dasar dalam menentukan sifat sedimen (Yang, 1996).

Secara alami, sedimen yang memiliki ukuran butir lebih halus memiliki pergerakan lebih tinggi dibandingkan sedimen dengan ukuran lebih besar. Pada umumnya informasi mengenai pergerakan sedimen dapat diperoleh dari studi ukuran dan distribusi butir dalam beda fraksi ukuran. Pengelompokan sedimen berdasarkan ukuran butir disajikan dalam Tabel II.1 yang diperoleh dari American Geophysical Union (AGU).

Distribusi ukuran butir biasanya ditentukan berdasarkan analisa mekanika menggunakan salah satu dari analisa ayakan atau analisa hidrometer. Metoda analisa ayakan merupakan cara yang digunakan untuk partikel lebih kasar (dari bongkah hingga pasir sangat halus), dimana ukuran butir diekspresikan sebagai diameter lubang ayakan. Sedangkan analisa hidrometer digunakan untuk partikel halus (lanau kasar hingga lempung sangat halus).



Tabel II.1 Skala Ukuran Partikel berdasarkan  
American Geophysical Union (AGU)

| Ukuran           |               |             | Klasifikasi          |
|------------------|---------------|-------------|----------------------|
| Milimeter        | Mikron        | Inchi       |                      |
| 4.000 – 2.000    |               | 160 – 80    | Bongkah sangat besar |
| 2.000 – 1.000    |               | 80 – 40     | Bongkah besar        |
| 1.000 - 500      |               | 40 – 20     | Bongkah sedang       |
| 500 - 250        |               | 20 – 10     | Bongkah kecil        |
| 250 - 130        |               | 10 – 5      | Kerakal besar        |
| 130 - 64         |               | 5 – 2,5     | Kerakal kecil        |
|                  |               |             |                      |
| 64 - 32          |               | 2,5 – 1,3   | Kerikil sangat kasar |
| 32 - 16          |               | 1,3 – 0,6   | Kerikil kasar        |
| 16 - 8           |               | 0,6 – 0,3   | Kerikil sedang       |
| 8 - 4            |               | 0,3 – 0,16  | Kerikil halus        |
| 4 - 2            |               | 0,16 – 0,08 | Kerikil sangat halus |
| 2,00 - 1,00      | 2.000 – 1.000 |             | Pasir sangat kasar   |
| 1,00 - 0,50      | 1.000 - 500   |             | Pasir kasar          |
| 0,50 - 0,25      | 500 - 250     |             | Pasir sedang         |
| 0,25 - 0,125     | 250 - 125     |             | Pasir halus          |
| 0,125 - 0,062    | 125 - 62      |             | Pasir sangat halus   |
|                  |               |             |                      |
| 0,062 – 0,031    | 62 - 31       |             | Lanau kasar          |
| 0,031 – 0,016    | 31 - 16       |             | Lanau sedang         |
| 0,016 – 0,008    | 16 - 8        |             | Lanau halus          |
| 0,008 – 0,004    | 8 - 4         |             | Lanau sangat halus   |
| 0,004 – 0,002    | 4 - 2         |             | Lempung kasar        |
| 0,0020 – 0,0010  | 2 - 1         |             | Lempung sedang       |
| 0,0010 – 0,0005  | 1 - 0,5       |             | Lempung halus        |
| 0,0005 – 0,00025 | 0,5 – 0,25    |             | Lempung sangat halus |

Beberapa definisi yang digunakan untuk menyatakan diameter antara lain:

1. Diameter saringan/tapis (D), adalah diameter dengan ukuran dari lubang saringan/tapis dimana suatu partikel tepat dapat lolos melaluinya.
2. Diameter sedimentasi ( $D_s$ ), adalah diameter bulat dari partikel dengan keadaan massa jenis dan kecepatan jatuh yang sama pada cairan sedimentasi dan temperatur yang sama pula.
3. Diameter nominal ( $D_n$ ), adalah diameter bulat suatu partikel dengan volume yang sama (dimana  $\text{volume} = 1/6 \pi D_n^3$ )

### II.1.1 Sedimen Kohesif

Campuran sedimen dengan partikel tanah liat ( $d < 4 \mu\text{m}$ ) lebih besar dari 10 % mempunyai sifat kohesif sebab gaya-gaya *electro-static* sebanding atau lebih besar dari pada gaya gravitasi. Oleh karena itu, partikel sedimen tidak berkelakuan sebagai partikel individu tetapi cenderung melekat bersama membentuk agregat yang dikenal sebagai *flocs* (flok). Floks yang mempunyai ukuran dan kecepatan jatuh lebih besar dari pada partikel individu.

Mineral tanah liat mempunyai struktur berlapis. Jenis terpenting dari mineral tanah liat adalah *kaolinite* (struktur dua lapis), *montmorillonite* (struktur tiga lapis), *illite* (struktur tiga lapis), *chlorite* (struktur empat lapis). Sedangkan lumpur didefinisikan sebagai campuran sedimen-air yang terdiri dari air atau air laut, pasir, lanau, tanah liat dan material organik (Rijn, 1993). Mitchener dan Torfs (1996) mendefinisikan lumpur sebagai lempung dan silt yang lolos saringan 62,5  $\mu\text{m}$ ).

### II.1.2 Sedimen Non Kohesif

Pada umumnya, sedimen non kohesif adalah sedimen yang digolongkan mulai dari bongkah sampai pasir sangat halus. Penggolongan ini berdasarkan pada ukuran partikel sedimen. Sampel partikel sedimen alam berisi partikel yang beragam ukurannya. Oleh karena itu dilakukan penggolongan ukuran butir sampel sedimen atau distribusi ukuran butir dengan metode analisa ayakan seperti dijelaskan pada bagian 2.1 diatas.



## II.2 Komposisi Mineral Sedimen dan Ukuran Butir Lumpur

Sebagian besar mineral-mineral yang terdapat dalam sedimen kohesif atau lumpur adalah *illite*, *montmorillonite* dan *kaolinite*. Sebenarnya masih ada kandungan mineral lumpur lainnya, di antaranya *holloysites*, *chlorites* dan *vermiculites*, tetapi secara umum dalam jumlah yang kecil.

Pada umumnya lumpur mempunyai kandungan *kaolinite*, *illite* dan *montmorillonite* masing-masing 30%, bahan organik 1,2%, dan sisanya pasir. Ukuran butir lumpur 1 – 40  $\mu m$  dengan diameter median  $D_{50}$  antara 1 – 2  $\mu m$ . Warna lumpur biasanya bervariasi dari putih, kuning dan hijau. Hampir seluruh tipe mineral lumpur diidentifikasi bersamaan tipe-tipe tanah yang dibentuk oleh proses iklim.

Mineral tersebut merupakan partikel-partikel yang terkecil dan diskrit yang menyusun lumpur, suatu zat dengan fasa padat dari unsur kimia atau persenyawaan kimia yang dibentuk oleh proses-proses organik, mempunyai susunan kimiawi tertentu dan suatu penempatan atom-atom secara massauran di dalamnya atau dikenal sebagai struktur kristal (Graf, 1984).

Karakteristik mineral selalu dikaitkan dengan panjang, ketebalan, permukaan spesifik dan *cation exchange capacity* (CEC). CEC adalah sifat menarik kation ataupun anion. Mineral-mineral lumpur memiliki sifat saling tarik menarik antara kation dan anion.

Banyaknya variasi faktor-faktor yang berperan antara mineral satu dengan yang lainnya, membuat reaksi-reaksi pertukaran dalam mineral lumpur sangat kompleks, sehingga tidak ada suatu nilai CEC tunggal dalam suatu kelompok mineral lumpur. Walaupun demikian nilai-nilai CEC dapat dipakai sebagai pembanding yang lebih akurat apabila diperoleh melalui standar prosedur yang sama.

Bertambahnya *CEC* menyebabkan berkurangnya konstanta kecepatan erosi (*M*) (Mehta & Lott, 1987). Dalam kondisi lapisan difusif ganda yang tipis, naiknya harga *CEC* menghasilkan ikatan kohesif yang lebih kuat sehingga meningkatkan tegangan geser kritis. Pada kondisi lapisan difusif ganda yang lebih tebal, bertambahnya *CEC* menyebabkan berkurangnya kekuatan gaya v. d. wals sehingga kekuatan geser kritis berkurang. Tabel II.2 menyajikan karakteristik dasar mineral-mineral lumpur seperti *specific surface*, ketebalan partikel dan panjang.

Tabel II.2. Mineral-Mineral Lumpur

| Mineral                | Panjang<br>[ $\mu m$ ] | Ketebalan<br>[ $\mu m$ ] | Luas<br>Permukaan<br>[ $m^2/gr$ ] | CEC<br>$meq/100gr$ |
|------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| <i>Kaolinite</i>       | 1                      | 0.1                      | 25 s/d 50                         | 5 s/d 10           |
| <i>Illite</i>          | 0,3                    | 0.01                     | 75 s/d 125                        | 20 s/d 40          |
| <i>Montmorillonite</i> | 0,1                    | 0.001                    | 750                               | 80 s/d 125         |

### II.3 Pergerakan sedimen

Secara umum, pergerakan sedimen di sungai dan muara terdiri dari sebuah siklus dengan empat proses yaitu erosi, angkutan, deposisi dan konsolidasi endapan. Pergerakan ini tergantung dari ukuran butir sedimen, kecepatan arus, konsolidasi, kadar air, perbedaan massa jenis air laut dan air tawar (khususnya di muara). Ada hubungan antara ukuran butir sedimen dengan kecepatan rata-rata, di mana pasir halus lebih mudah tererosi daripada pasir kasar, krikil, komponen lanau, lempung atau tanah liat. Masing-masing ukuran butir sedimen mempunyai kecepatan kritis erosi. Proses erosi juga tergantung dari lamanya konsolidasi. Makin lama konsolidasi maka kadar air sedimen makin kecil, makin padat dan makin sukar untuk tererosi. Sekali tererosi, partikel dapat diangkut dengan kecepatan yang lebih rendah dari kecepatan pertama kali bergerak, di sini akan terjadi proses angkutan. Bila kecepatan turun lagi maka partikel akan turun ke dasar (proses



deposisi). Selain itu turunnya sedimen ditentukan oleh ukuran butir sedimen berdasarkan proses gravitasi.

Endapan akan terkonsolidasi bila selanjutnya kecepatan yang terjadi di bawah kecepatan kritis erosi. Tetapi bila kecepatan yang terjadi lebih besar atau sama dengan kecepatan kritis erosi maka akan terjadi proses erosi. Demikian selanjutnya sehingga akan menjadi suatu siklus.

Apabila partikel sedimen terlepas, maka partikel tersebut akan terbawa oleh air dan/atau angin atau bisa juga akibat gaya gravitasi. Pada saluran, air mengikis material pada dinding dan/atau dasar saluran. Pada umumnya, cara bergerak sedimen ada 3 macam, yaitu bergulung dan/atau bergeser, meloncat dan melayang. Jika kecepatan geser aliran lebih besar dari nilai kritis untuk menggerakkan partikel, maka material partikel dasar akan bergulung atau bergeser dan terus bergerak di dasar. Jika nilai kecepatan geser aliran meningkat, maka partikel akan bergerak sepanjang dasar dengan cara meloncat atau *saltation*. Bila kecepatan geser aliran menjadi lebih besar dari kecepatan jatuh partikel, maka partikel sedimen dapat terangkat sampai gaya turbulen sebanding atau lebih besar daripada massa basah partikel sehingga partikel berada dalam keadaan melayang.

Partikel yang bergerak dengan cara bergulung, bergeser dan melompat disebut angkutan muatan dasar (*bed load transport*) sedangkan partikel yang terangkat dengan cara melayang disebut angkutan sedimen layang (*suspended load transport*).

Selain berupa muatan yang berasal dari aliran setempat, muatan layang juga mengangkut muatan ukuran kecil yang terbawa dalam suspensi dari daerah pengaliran sungai, yang disebut dengan muatan cuci (*wash load*). Untuk membedakan antara material muatan dasar dengan muatan cuci, maka digunakan ukuran butir yang lebih kecil dari 50  $\mu\text{m}$ . Muatan dasar dan muatan layang mungkin dapat terangkut dalam waktu yang bersamaan, tetapi zona transisi antara keduanya sukar dibedakan.

Klasifikasi dan definisi sedimen berdasarkan ISO-standards (ISO 4363) adalah :

- Material dasar (*bed material*): material dengan ukuran butir tertentu, bagian dari dasar yang dipengaruhi oleh angkutan sedimen.
- Muatan material dasar (*bed material load*): bagian dari angkutan total sedimen yang terdiri dari material dasar dan dengan tingkat pergerakan yang ditentukan kapasitas angkutan saluran.
- Muatan layang (*suspended load*): bagian dari sedimen total yang berada dalam keadaan melayang (suspensi) akibat dari turbulensi dalam air yang mengalir dan tidak mempunyai kontak dengan dasar saluran untuk waktu tertentu. Partikel bergerak dengan kecepatan yang hampir sama dengan kecepatan aliran.
- Muatan dasar (*bed load*): sedimen yang selalu berada di dasar, terbawa aliran dengan cara bergulung, bergeser atau meloncat.
- Muatan cuci (*wash load*): bagian dari sedimen suspensi terdiri dari partikel yang lebih kecil dari semua material yang berada pada material dasar. Muatan ini selalu berada dalam keadaan tersuspensi dan terbawa pada aliran tanpa pengendapan. Keberadaan muatan cuci dalam aliran hanya bergantung pada tingkat/keadaan erosi daerah pengaliran sungai dan tidak bergantung pada kapasitas angkut dari aliran.

### II.3.1. Sedimen Kohesif

#### II.3.1.1 Proses Deposisi

Pendekatan umum laju deposisi untuk sedimen kohesif (Winterwerp, 1989) adalah sebagai berikut :

$$D_{ep} = \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_d}\right) w_s c_b \quad \text{untuk } \tau_b \leq \tau_d \quad (2.1)$$

Keterangan:

$D_{ep}$  = laju deposisi ( $\text{kg/m}^2\text{det}$ )

$w_s$  = kecepatan jatuh sedimen ( $\text{m/det}$ )

$c_b$  = konsentrasi sedimen di dasar ( $\text{kg/m}^3$ )

$\tau_b$  = tegangan geser dasar ( $\text{N/m}^2$ )

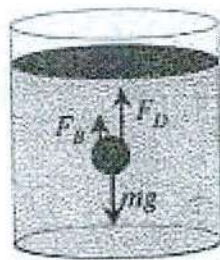
$\tau_d$  = tegangan geser kritis untuk deposisi ( $\text{N/m}^2$ )



Proses deposisi adalah proses di mana material sedimen tersuspensi dalam air menempati atau mengisi dasar saluran menjadi sedimen dasar kohesif. Proses deposisi sedimen kohesif tergantung pada kombinasi berbagai faktor, termasuk ukuran partikel, kecepatan jatuh, dan kekuatan dari unit-unit partikel. Unit ini mungkin terdiri dari partikel tunggal, gumpalan yang mungkin akan jatuh secara bersama dalam satu unit. Tegangan geser kritis untuk deposisi adalah tegangan geser yang terjadi pada saat sedimen dasar mulai terdeposisi (Winterwerp, 1989)

### Kecepatan Jatuh

Salah satu variabel utama untuk mendefinisikan interaksi angkutan sedimen dengan dasar dan suspensi dalam air adalah kecepatan jatuh partikel sedimen. Proses fisik kecepatan jatuh partikel adalah sebagai berikut:



Gambar II.1 Keseimbangan partikel sedimen

Sebuah partikel akan mencapai kecepatan jatuh terminal bilamana gaya hambatan  $F_D$  (*drag force*) dan gaya apung  $F_B$  seimbang dengan gaya massa partikel  $W$  tersebut, dimana saat itu tidak ada percepatan ( $a$ ). Solusi dari keseimbangan gaya dengan jatuhnya partikel di bawah gaya gravitasi dikenal sebagai hukum Stoke.

Menurut jatuhnya partikel yang diperlihatkan pada Gambar II.1 :

Partikel jatuh dalam air, bergerak mengikuti gaya gravitasi  $F_g = m \cdot g$

Gaya apung keatas adalah massa air yang dipindahkan  $F_B = m_f \cdot g$

Diasumsikan partikel adalah bulat dengan diameter  $D_p$  dan massa jenis  $\rho_p$ , massa jenis air  $\rho_f$ , maka :

$$\text{Volume partikel} = 1/6 \pi D_p^3$$

$$F_g = m \cdot g = \rho_p \cdot V_p \cdot g = \rho_p \cdot (1/6 \pi D_p^3) g$$

$$F_B = m_f \cdot g = \rho_f \cdot (1/6 \pi D_p^3) g$$

Gaya hambatan (*drag*) adalah akibat dari friksi yang terjadi pada permukaan partikel karena aliran air yang dilewatinya. Perlawanan ini tergantung dari kecepatan partikel melalui air, ukuran partikel dan viskositas atau perlawanan geser dari air. Kondisi batas dapat luas sekali, gaya friksi dapat dihubungkan dengan bilangan Reynolds.

Untuk partikel bulat digunakan persamaan Stoke dengan  $F_D = 3 \pi \mu D_p w$

Dimana  $\mu$  = viskositas (gram/cm.det)

$w$  = kecepatan partikel relatif terhadap air (m/det)

Gaya drag meningkat bila kecepatan meningkat, suatu saat terjadi keseimbangan gaya dan percepatan = 0, maka :

$$F_D + F_B - F_g = 0 \quad (2.2)$$

$$3 \pi \mu D_p w + \rho_f (1/6 \pi D_p^3) g - \rho_p (1/6 \pi D_p^3) g = 0$$

$$3 \pi \mu D_p w + (\rho_f - \rho_p) (1/6 \pi D_p^3) g = 0$$

$$w = (\rho_p - \rho_f) (1/6 \pi D_p^3) g / (3 \pi \mu D_p)$$

$$w = \frac{(\rho_p - \rho_f) (D_p^2) g}{18 \mu} \quad (2.3)$$

Kecepatan jatuh untuk sedimen kohesif adalah kecepatan partikel atau gumpalan dalam perjalanannya menuju dasar karena gaya massa. Proses penggumpalan mempengaruhi kecepatan jatuh sedimen. Penggumpalan membentuk partikel yang lebih besar dan akan memiliki massa yang lebih besar sehingga akan lebih mudah mengendap. Penggumpalan dipengaruhi oleh konsentrasi. Konsentrasi yang besar dapat membentuk penggumpalan dengan partikel yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi kecil, sehingga kecepatan jatuhnya juga besar. Namun untuk konsentrasi yang sangat tinggi, kecepatan jatuh partikel menjadi lebih lambat. Ini disebabkan oleh efek *hindered settling* (halangan jatuh).



*Hindered settling* adalah efek ketika kecepatan jatuh dari gumpalan berkurang karena aliran air ke atas ditempati atau digantikan oleh gumpalan. Saat konsentrasi sangat besar aliran vertikal menjadi sangat kuat dan gaya hambatan ke atas dari fluida pada gumpalan menjadi sama dengan gaya gravitasi ke bawah. Ini mengakibatkan keseimbangan dinamik sementara tanpa perpindahan vertikal dari gumpalan. Keadaan ini yang muncul dekat dasar, umumnya disebut cairan lumpur (van Rijn, 1993). Dalam suspensi air asin dengan konsentrasi sedimen sampai 1000 mg/l, kecepatan jatuh meningkat sesuai dengan konsentrasi yang diteliti sebagai hasil flokulasi baik di laboratorium maupun di lapangan. Bila konsentrasi sedimen  $> 10.000$  mg/l, kecepatan jatuh sedimen menurun dengan meningkatnya konsentrasi karena efek *hindered settling*. Kecepatan jatuh dalam dua batasan diekspresikan sebagai berikut (van Rijn, 1993):

$$w_{s,m} = k c^m \quad \text{untuk suspensi penggumpalan (10 – 10.000 mg/l)} \quad (2.4)$$

$$w_{s,m} = w_s (1 - \alpha c)^\beta \quad \text{untuk suspensi dengan } \textit{hindered settling} (> 10.000 \text{ mg/l}) \quad (2.5)$$

Keterangan:

$w_{s,m}$  = kecepatan jatuh sedimen campuran sedimen-air (mm/det)

$w_s$  = kecepatan jatuh partikel individu (mm/det) ;  $m$  = koefisien (1 – 2)

$c$  = konsentrasi volume (mg/l) ;  $k$  = koefisien

$\alpha$  = koefisien ;  $\beta$  = koefisien (3 – 5)

Thorn dalam Mehta (1984) memberikan bentuk persamaan kecepatan jatuh dalam dua batasan yang berbeda yaitu :

$$w_x = k_1 C^{k_2} \quad \text{untuk konsentrasi 0,1 – 3,5 gr/l} \quad (2.6)$$

$$w_x = w_{\infty} (1 - k_3 C)^{k_4} \quad \text{untuk konsentrasi } > 3,5 \text{ gr/l (} \textit{hindered settling} \text{)} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$w_s$  = kecepatan jatuh sedimen (mm/det) ;  $w_{\infty}$  = nilai  $w_s$  pada konsentrasi 3,5 gr/l

$k_1$  = koefisien empirik = 0.513 ;  $k_3$  = koefisien empirik = 0.008

$k_2$  = koefisien empirik = 1,29 ;  $k_4$  = koefisien empirik = 4,65

$C$  = konsentrasi (gr/l)

Ketergantungan kecepatan jatuh pada konsentrasi menurut Mehta (1993):

(1) *Flocculation settling* ( $C_1 < C < C_2 = 0.3 - 10 \text{ gr/l}$ )

$$w_s = k_1 C^{4/3} \quad (2.8)$$

(2) *Hindered settling* ( $C > C_2$ )

$$w_s = w_{so} (1 - k_2 (C - C_2))^{4.65} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$w_s$  = kecepatan jatuh sedimen (mm/det)

$w_{so}$  = nilai  $w_s$  pada konsentrasi  $C_2$

$C$  = konsentrasi sedimen (gr/l)

$C_2$  = konsentrasi pada  $w_s = 0$

$k_1$  = koefisien empirik

$k_2$  = invers dari  $(C_s - C_2)$

Kecepatan jatuh juga dipengaruhi oleh salinitas dan temperatur. Efek salinitas terlihat jelas terhadap kecepatan jatuh untuk salinitas sampai 10‰ dan konsentrasi sedimen  $< 1000 \text{ mg/l}$  (Krone, 1962). Bila konsentrasi sedimen  $> 1000 \text{ mg/l}$ , meningkatnya kecepatan jatuh hampir linier terhadap salinitas yang diteliti (Owen, 1970; Allersma, 1967). Pengaruh temperatur terhadap kecepatan jatuh sangat tergantung pada kondisi aliran. Dalam kondisi bergerak dan aliran turbulen, menurunnya temperatur akan meningkatkan kecepatan jatuh (Lau, 1994). Dalam kondisi diam dan tidak ada aliran, penambahan temperatur meningkatkan kecepatan jatuh (Owen, 1972).

### II.3.1.2 Proses Erosi

Pendekatan umum laju erosi untuk sedimen kohesif (Mitchener dan Torfs, 1996) adalah sebagai berikut :

$$E = M_e (\tau_b - \tau_c) \quad \text{untuk} \quad \tau_b \geq \tau_c \quad (2.10)$$

Keterangan:

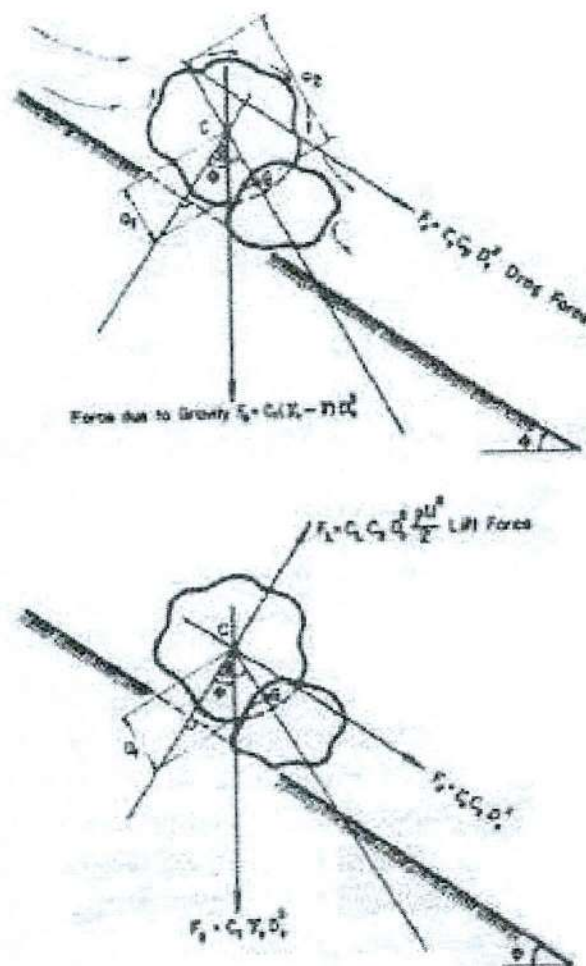
$E$  = laju erosi ( $\text{kg/m}^2 \text{det}$ ) ;  $\tau_b$  = tegangan geser dasar ( $\text{N/m}^2$ )

$M_e$  = konstanta erosi ( $\text{kg/Ndet}$ ) ;  $\tau_c$  = tegangan geser kritis untuk erosi ( $\text{N/m}^2$ )



### Tegangan Geser Kritis Erosi

Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah partikel pada dasar saluran yang dilalui air adalah massa partikel, gaya angkat dan gaya drag. Biasanya gaya angkat tidak muncul secara eksplisit dalam analisa teori, karena tergantung pada beberapa variabel seperti drag dan konstanta dari persamaan yang diperoleh secara empiris.



Gambar II.2 Gaya-gaya yang bekerja pada butiran tanah pada laminar dan turbulen

Gaya-gaya yang bekerja pada butiran sedimen di dasar adalah gaya drag  $F_D$  dan gaya massa  $F_g$  seperti ditunjukkan Gambar II.2 (a) untuk aliran laminar; (b) untuk aliran turbulen. Dalam gambar:  $\theta$  adalah kemiringan dasar

$\Theta$  adalah angle of repose dari sedimen

C adalah pusat gravitasi

G adalah titik dukung partikel

Gaya apung sudah termasuk dalam  $F_g$  dan  $F_g = C_1(\gamma_s - \gamma)D_s^3$

dimana  $C_1$  adalah koefisien bentuk

$D_s$  adalah diameter partikel

$\gamma_s$  adalah massa jenis partikel

$\gamma$  adalah massa jenis air

Volume partikel =  $C_1 D_s^3$  (untuk partikel bulat =  $C_1 = \frac{\pi}{6}$ )

Gaya drag dapat di evaluasi dalam dua cara (Gambar II.2):

1. Jika aliran adalah laminar, efek viskos kuat dan aliran mengikuti bentuk partikel. Resultan gaya drag bekerja pada titik di atas titik C.
2. Jika aliran turbulen, efek inersia kuat dan resultan dari gaya drag bekerja pada titik C.

White (1940) mempelajari keseimbangan partikel dalam aliran laminar dan mendefinisikan tegangan geser kritis sebagai berikut :

$$Cc = 0.18(\gamma_s - \gamma)D_s \tan \theta \quad (2.11)$$

Kenyataannya dalam seluruh problem teknik, aliran adalah turbulen. Untuk kasus ini gaya drag adalah :

$$F_D = \tau_0 C_2 D_s^2 \quad (2.12)$$

dimana  $\tau_0$  adalah tegangan geser dasar

$C_2 D_s^2$  adalah luas permukaan efektif dari partikel yang dilalui  $\tau_0$

$C_2$  adalah koefisien bentuk yang mendefinisikan luas permukaan efektif partikel



Bila aliran laminar, momen yang terjadi pada titik G :

$$C_1(\gamma_s - \gamma)D_s^3 a_1 \sin(\theta - \phi) = C_2 \tau_0 D_s^2 a_2 \cos \theta \quad (2.13)$$

Untuk kondisi kritis  $\tau_0 = \tau_c$  dimana  $\tau_c$  adalah tegangan geser kritis

$$C_1(\gamma_s - \gamma)D_s^3 a_1 \sin(\theta - \phi) = C_2 \tau_c D_s^2 a_2 \cos \theta \quad (2.14)$$

$$\tau_c = \frac{C_1 a_1}{C_2 a_2} (\gamma_s - \gamma) D_s \cos \phi (\tan \theta - \tan \phi) \quad (2.15)$$

Bila dasar adalah horisontal :

$$\tau_c = \frac{C_1 a_1}{C_2 a_2} (\gamma_s - \gamma) D_s \tan \theta \quad (2.16)$$

Dari persamaan (2.11), diperoleh koefisien persamaan (2.16)

$$\frac{C_1 a_1}{C_2 a_2} = 0,18$$

Untuk aliran turbulen penuh :

$$a_1 = a_2 \text{ dan}$$

$$\tau_c = k(\gamma_s - \gamma) D_s \tan \theta \quad (2.17)$$

dimana  $k = \frac{C_1}{C_2}$  atau

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) D_s} = k \tan \theta \quad (2.18)$$

Parameter  $\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) D_s}$  adalah rasio dari gaya drag terhadap gaya gravitasi

Oleh sebab itu, angka tidak berdimensi ini adalah setipe *Froude number* yang berhubungan dengan ukuran butir dan kecepatan geser. Secara umum, kondisi awal permulaan gerakan partikel tergantung pada  $b, d, D_s, g, \rho_s, \rho, v, U_s$ . Analisis dimensi memberikan :

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)D_s} = \frac{\rho U_{*c}^2}{\gamma_s} = f\left(\frac{D_s}{b}, \frac{D_s}{d}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{v_* D_s}{\nu}\right)$$

dimana  $\gamma_s = (\gamma_s - \gamma)$

$b$  = lebar saluran

$d$  = kedalaman

$D_s$  = diameter sedimen

$g$  = percepatan gravitasi

$\rho_s$  = massa jenis partikel

$\rho$  = massa jenis air

$\nu$  = viskositas kinematik air

$U_{*c}$  = kecepatan geser

Secara praktis untuk partikel halus, pengaruh  $\frac{D_s}{b}$ ,  $\frac{D_s}{d}$  pada keseimbangan partikel dapat diabaikan. Bila  $\rho_s$  konstan, pengaruh dari  $\frac{\rho_s}{\rho}$  dapat dimasukkan dalam koefisien pada persamaan akhir. Maka hubungan menjadi :

$$\frac{\rho U_{*c}^2}{\gamma_s D_s} = f\left(\frac{v_* D_s}{\nu}\right) \quad (2.19)$$

Sisi kiri dari persamaan adalah bilangan *Froude* yang diekspresikan dengan kecepatan geser dan sisi kanan adalah bilangan *Reynolds*  $\rho$ . Secara umum persamaan (2.19) mendefinisikan awal gerakan untuk partikel besar, Cheng (1969) memberikan hubungan :

$$\frac{\rho U_{*c}^2}{\gamma_s D_s} = 2,0 \left(\frac{D_s}{d}\right)^{2/3}$$

Penelitian eksperimental gerak awal partikel sudah menggunakan material yang mendekati *uniform* (seragam). Pemakaian hasil-hasil penelitian tersebut untuk



material *non uniform* (tidak seragam) disarankan memakai ukuran median, lihat persamaan (2.18).

Berbagai usaha sudah dilakukan untuk menganalisis tingkah laku butiran atau sedimen campuran. Egiazaroff (1965) memberikan persamaan untuk partikel campuran yang tidak seragam :

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)D_{50}} = \frac{0,1}{\log 19 \frac{D_{50}}{\bar{D}}} \quad (2.20)$$

dimana  $D_{50}$  = diameter median

$\bar{D}$  = diameter rata-rata

Untuk campuran bergradasi halus  $D_{50} < \bar{D}$ , ketahanan untuk gerakan awal meningkat dan kebalikannya untuk campuran bergradasi kasar, dimana  $D_{50} > \bar{D}$  (persamaan (2.20)).

Formula lain untuk gerakan awal:

Gessler (1971), memodifikasi diagram *Shields* dan membaginya menjadi empat segmen dengan persamaan untuk tiap-tiap segmen sebagai berikut :

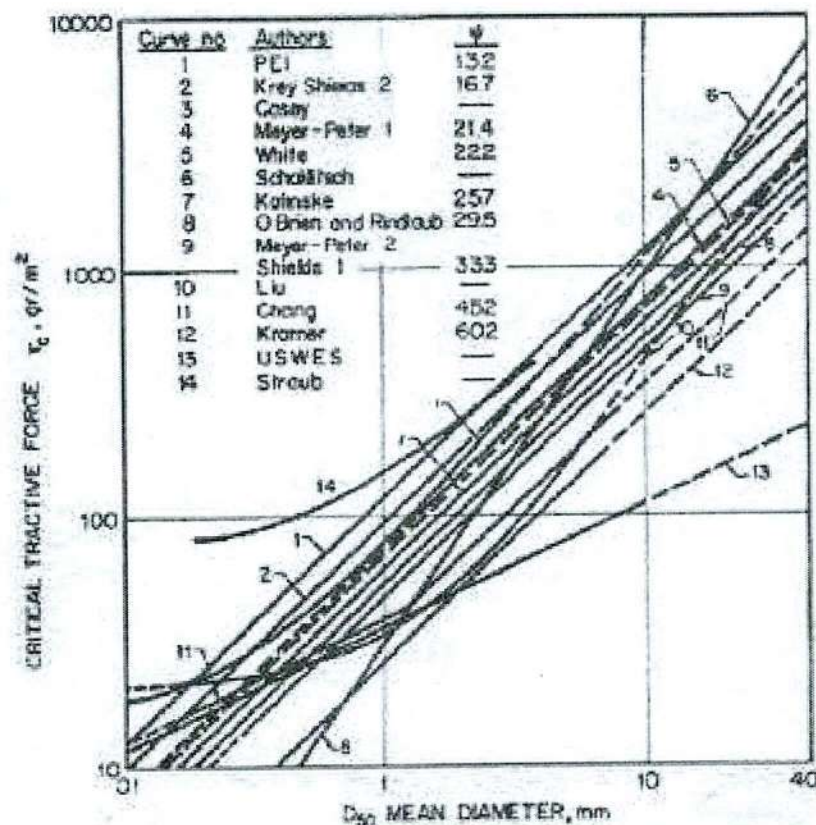
$$1. \quad \tau_c = 0,0215 D_s^{0,25} \quad \text{untuk } 0,0003 < D_s < 0,0009 \text{ ft} \quad (2.21)$$

$$2. \quad \tau_c = 0,315 D_s^{0,633} \quad \text{untuk } 0,0009 < D_s < 0,0018 \text{ ft} \quad (2.22)$$

$$3. \quad \tau_c = 16,8 D_s^{1,287} \quad \text{untuk } 0,0018 < D_s < 0,02 \text{ ft} \quad (2.23)$$

$$4. \quad \tau_c = 6,18 D_s \quad \text{untuk } D_s > 0,02 \text{ ft} \quad (2.24)$$

Asumsi  $\gamma = 62,4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ ,  $\frac{\gamma_s}{\gamma} = 2,65$  dan  $\nu = 1,04 \times 10^{-5} \frac{\text{ft}^2}{\text{sec}}$



Gambar II.3 Tegangan Geser Kritis sebagai fungsi dari diameter  
(Sumber: Chien, 1954)

Chien (1954) dengan Gambar II.3 menunjukkan variasi tegangan geser kritis sebagai fungsi dari diameter rata-rata partikel dengan menggunakan persamaan tegangan geser. Semua persamaan di atas untuk partikel di atas 0,062 mm (batas pasir sangat halus), kecuali persamaan (2.20) yang dapat digunakan untuk partikel halus.

Proses erosi adalah proses terangkatnya material sedimen dasar akibat adanya tegangan geser yang terjadi pada dasar saluran. Tegangan geser kritis erosi didefinisikan sebagai tegangan geser dasar yang terjadi pada saat di mana sedimen mulai tererosi dari dasar. Kekuatan lapisan sedimen kohesif terhadap erosi dipengaruhi oleh waktu dan riwayat konsolidasi dari lapisan itu sendiri. Konsolidasi adalah fenomena pemadatan dengan keluarnya air pori akibat adanya beban yang bekerja. Seiring dengan hal tersebut lapisan tanah akan menjadi *solid* dan masif. Sedimen yang mengendap pada dasar akan mengalami konsolidasi



karena adanya beban, baik beban massa sendiri maupun tekanan hidrostatik. Waktu dan beban konsolidasi merupakan variabel yang menentukan kepadatan lapisan tanah yang berhubungan langsung dengan kekuatan gesernya. Akibat pengaruh waktu maka sedimen yang mengalami konsolidasi lebih lama memiliki kekuatan geser yang lebih besar. Demikian pula halnya dengan pengaruh beban. Lapisan sedimen yang bawah menerima beban (massa sendiri dan hidrostatik) yang lebih besar, sehingga kekuatan geser bertambah dengan kedalaman (Teisson dkk dalam Mitchener dan Torfs (1996)).

### Konstanta Erosi

Konstanta erosi ( $M_e$ ) adalah parameter yang menghubungkan antara kecepatan erosi ( $E$ ) dengan konstanta tegangan geser ( $\tau_b - \tau_c$ ). Konstanta ini menggambarkan sifat material sedimen kohesif terhadap kecepatan erosinya. Makin besar nilai konstanta ini maka makin mudah material tersebut untuk tererosi. Konstanta erosi adalah konstanta material tergantung pada komposisi mineral, material organik, salinitas dll. Nilai yang dilaporkan adalah  $M_e = 0.00001 - 0.0005$  untuk lumpur alam lunak (Rijn, 1993).

## II.3.2 Sedimen Non Kohesif

### Sifat-Sifat Sedimen

Proses pengangkutan sedimen tidak hanya bergantung pada sifat aliran, tetapi juga pada sifat sedimen itu sendiri, yaitu rapat massa, porositas, ukuran, dan kecepatan jatuh.

#### 1. Rapat Massa dan Porositas

Rapat massa pasir dan mineral tanah yang mengandung karbonat berkisar antara  $2000 - 2650 \text{ kg/m}^3$ . Relatif densitas didefinisikan sebagai perbandingan rapat massa sedimen dan rapat massa fluida :

$$s = \frac{\rho_s}{\rho} \quad (2.25)$$

Porositas (p) adalah perbandingan antara volume rongga (voids) dengan volume rongga dan bahan padat :

$$p = \frac{\text{volume rongga}}{\text{vol. rongga} + \text{bahan padat}} \times 100\% \quad (2.26)$$

## 2. Ukuran

Pada umumnya, sedimen digolongkan sebagai kerikil, pasir, lanau atau lempung. Penggolongan ini berdasarkan pada ukuran partikel sedimen. Sampel partikel sedimen alam berisi partikel yang beragam ukurannya. Oleh karena itu dilakukan penggolongan ukuran butir sampel sedimen atau distribusi ukuran butir. Distribusi ukuran butir pada sampel adalah distribusi material sedimen dengan persen massa, biasanya ditunjukkan dengan kumulatif distribusi frekuensi sebagai berikut :

- Ukuran median partikel,  $d_{50}$ , yaitu 50 % massa contoh sampel.
- Ukuran rata-rata partikel,  $d_m = \Sigma(p_i d_i)/100$ ; dengan  $p_i$  = persentase massa setiap bagian ukuran butir  $d_i$ .
- Standar deviasi,  $\sigma_d = \Sigma p_i (d_i - d_m)^2 / 100$  atau  $\sigma_d = 0.5(d_{50}/d_{16} + d_{84}/d_{50})$ , yang ditentukan dari grafik hasil pengukuran.

Berdasarkan pada standar deviasi, maka dapat ditentukan ukuran butir untuk berbagai persen massa, sebagai berikut :

$$d_{10} = \sigma_s^{-1.3} d_{50} \quad (2.27a)$$

$$d_{16} = \sigma_s^{-1} d_{50} \quad (2.27b)$$

$$d_{84} = \sigma_s d_{50} \quad (2.27c)$$

$$d_{90} = \sigma_s^{1.3} d_{50} \quad (2.27d)$$

### II.3.3 Sedimen Campuran

Dalam sejarah, pelajaran erosi dikonsentrasikan sangat besar pada perilaku kohesif atau non kohesif sedimen karena sifatnya sangat berbeda. *Erosion resistance* biasanya diparameterkan dgn tegangan geser kritis erosi ( $\tau_{cr}$ ) dan  $dm/dt$  (*erosion rate*) suatu saat kondisi sudah melebihi. Erosi sedimen non kohesif sudah



dipelajari oleh banyak peneliti, contoh Miller et al . (1977). Erosi sedimen kohesif sudah diteliti dan dipresentasikan oleh Mehta (1991). Dalam studi Mehta dan Lee (1994) sudah dicatat beberapa problem didalamnya dalam menentukan validitas konsep erosi sedimen non kohesif dan kohesif. Erosi sedimen non kohesif (pasir > 62.5  $\mu\text{m}$ ) tergantung pada faktor seperti distribusi butiran, bentuk dan densitas dari individu butiran. Untuk kohesif sedimen (lumpur < 62.5  $\mu\text{m}$ ) gaya *electrochemical* penting dan banyak parameter yg berpengaruh pada erosi termasuk komposisi mineral dan kadar organik, proses biological, komposisi pori air dan aliran erosi, dan sejarah konsolidasi dgn waktu. Teisson dkk dalam Mitchener dan Torfs (1996) mendapatkan masih ada *lack of knowledge* lalu teori-teori berkonsentrasi pada hubungan antara erodibilitas sedimen dan parameter yg menjelaskan sedimen. Ada satu kekosongan dalam pengertian angkutan sedimen tentang erosi sedimen campuran kohesif dan non kohesif.

Sejumlah kecil pasir ditambahkan ke lumpur meningkatkan erosion resistance mungkin karena perubahan dalam mikro struktur lumpur (Mc Gave, 1984; Partheniades, 1965). Peneliti-peneliti lain sudah mencatat faktor-faktor yang mempengaruhi erosion resistance pada sedimen kohesif. Tegangan geser kritis erosi meningkat dengan kedalaman sampai ke dasar sedimen akibat konsolidasi dan perubahan *physico-chemical* karena kelebihan beban dan variasi ukuran partikel dengan kedalaman (Parchure dan Mehta, 1985; Amos dkk, 1992) dan untuk beberapa tempat permukaan tegangan geser meningkat dgn densitas dasar (Williamson dan Ockenden dalam Mitchener dan Torfs (1996)). Proses konsolidasi melibatkan pengeluaran pori air akibat pemadatan sedimen yg *over time* menghasilkan sedimen padat dgn densitas besar dan kadar air yg lebih rendah.

### II.3.3.1 Tegangan Geser Kritis Erosi dan Densitas

Tegangan geser kritis erosi terhadap densitas untuk test sedimen campuran buatan dimana termasuk dasar yang dikonsolidasikan (*under-consolidate*), terdiri dari sedimen campuran, dasar hanya lumpur, dan dasar campuran pada densitas yang

lebih tinggi. Pada umumnya, terjadi kenaikan critical shear stress untuk erosi berhubungan dengan densitas, seperti rumus ini:

$$\tau_{cr} = E1 (\rho_b - 1000)^{E2} \quad (2.28)$$

dimana:

$\tau_{cr}$  = critical shear stress (N/m<sup>2</sup>)

$\rho_b$  = bulk density (kg/m<sup>3</sup>)

E1 = 0,015

E2 = 0,73

Ockenden dan Delo (1988) memberikan persamaan untuk endapan hanya dasar pasir dengan densitas kering ( $\rho_d$ ) mulai 50-300 kg/m<sup>3</sup> sebagai berikut:

$$\tau_{cr} = 0,0012 \rho_d^{1,2} \quad (2.29)$$

Nilai shear stress yang diprediksi dari pers (2.29) adalah lebih besar dari yang diprediksi dari turunan hubungan untuk campuran pada densitas lebih tinggi (pers 2.28). Dengan adanya densitas tinggi (lebih konsolidasi), data bed buatan membatasi kenaikan tegangan geser kritis dan perilaku asymptot pada tegangan geser kritis. Karakteristik tegangan geser kritis untuk densitas tinggi menunjukkan kenaikan pada *scatter* untuk  $\tau_{cr}$  dengan penambahan pasir sebanyak 0-50% pasir dan kenaikan berkurang pada 86-95% pasir. Nilai batas dari tegangan geser kritis dengan densitas tinggi mungkin disebabkan 2 faktor. Pertama karena pada densitas cukup tinggi sedimen kohesif hampir mengalami konsolidasi penuh dan akan mencapai minimum dalam kadar air, dan maksimum *strength* dan kompaksi pada bed. Alasan lainnya adalah pada densitas tinggi dengan kadar pasir tinggi dan perilaku erosi akan tergantung pada tipe pasir yang digunakan.

### II.3.3.2 Mode Erosi

Mode erosion adalah sebuah faktor penting ketika memprediksi angkutan sedimen dasar *mix*. Apakah itu tererosi seperti pasir (non kohesif) atau lumpur (kohesif)? Mode erosi campuran lumpur/ pasir tergantung pada beberapa parameter. Dalam



studi Kamphuis dan Hall (1983) dgn pengamatan visual pada proses erosi diungkapkan ukuran partikel tererosi dari dasar menurun sesuai dgn kadar pasir. Untuk campuran *clayey silt coarse* Murray (1977) menemukan bahwa pasir berpindah sebagai *bed load* dimana yang halus berpindah dalam suspensi. Teeter dalam Mitchener dan Torfs (1996) juga menyatakan bahwa mode *transport* untuk campuran tergantung ukuran. Pada tegangan geser rendah, fraksi halus kelihatan tergerus dan pada tegangan geser tinggi, ukuran yang lebih besar tererosi.

Amos dkk (1992) menyatakan bahwa ada 2 mode erosi untuk dasar kohesif yaitu:  
 Tipe 1: ada suatu puncak kecepatan erosi (*erosion rate*) yang cepat menurun, juga dikenal sebagai “benign” erosion.  
 Tipe 2: kecepatan erosi tinggi terus menerus juga dikenal sebagai “chronic” erosion.

Penambahan lumpur ke dasar berpasir juga mengubah mode suatu erosi. Untuk *kaolinite* yang ditambahkan ke pasir, terjadi sedikit perubahan ketahanan erosi dimana terdapat kurang dari 3% lumpur. Pada kasus ini lumpur tergerus dari matrix pasir pada saat erosi dan pasir tererosi dengan bentuk riak serta perpindahan terjadi jika tidak terdapat jenis lumpur. Untuk lempung *Laponite* yang ditambahkan ke pasir (Alvarez Hernandez, 1990), transisi antara perilaku erosi non-kohesif dan kohesif terjadi pada 5 – 15% kadar lempung., serta tergantung dari ukuran pasir. Tabel II.3 menunjukkan persentasi lumpur dimana terjadi transisi pada perilaku erosi. Kelihatan penambahan lumpur sebanyak 3-15% ke pasir, menunjukkan ikatan dan efek penghalusan mulai kelihatan.

Tabel II.3 Persentasi lumpur terhadap perubahan mode erosi

| Material kohesif       | Ukuran pasir yang digunakan (µm) | % lumpur pada transisi mode erosi | Reference               |
|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| <i>Kaolinite</i>       | 230                              | 3 %                               | Torfs, 1995             |
| <i>Montmorillonite</i> | 230                              | 7 – 13 %                          | Torfs, 1995             |
| <i>Laponite clay</i>   | 120 - 4100                       | 5 – 15 %                          | Alvarez-Hernandez, 1990 |

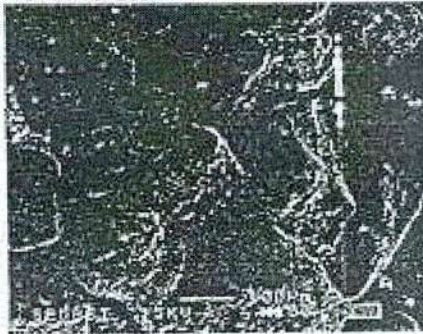
### II.3.3.3 Struktur Sedimen

Dade dan Nowell (1991) menyarankan bahwa gaya ikatan pada suspensi lempung menghasilkan kombinasi gaya elektrostatis, gaya adhesif van der Waals, gaya Brownian (thermal) dan gaya viskous yang muncul dari *gradien velocity* antara fasa cairan dan padat. Ada *solid fraction* ( $\Phi_s$ ) agregat mineral lempung membentuk struktur *network* yang terdiri dari "lumpur". Pengisian kekosongan awal fraksi padat sekitar 0,01 – 0,05, berdasarkan konsentrasi sedimen sekitar 20-200 kg/m<sup>3</sup>, berupa gel point. Jika ini dikonversikan kepada % fraksi massa untuk lumpur, ini akan menjadi 3 – 15% fines, dimana sesuai dengan hasil eksperimen. Partikel lempung mengalami kondisi adhesif yang baru jadi dan pembentukan struktur *network* yang disebut dengan perilaku "pengisian kekosongan (*space filling*)".

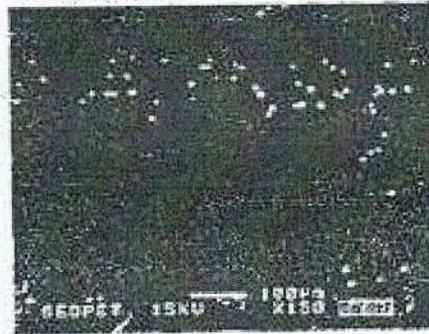
Teori ini dapat dikembangkan untuk perilaku campuran lumpur dan pasir, dan layak untuk memprediksi pada situasi partikel lempung akan membentuk struktur *network* sekitar butiran pasir. Gambar II.3 menunjukkan permukaan struktur sedimen dasar dari campuran homogen pasir dan *kaolinite* pada 5% dan 19,3% fine. Pembesaran sampai 100x dan gambar diambil dengan *scanning* mikroskop elektron. Permukaan untuk 5% kadar *kaolinite* menunjukkan bahwa beberapa "threads (benang)" dari flok pasir yang menghubungkan beberapa butiran pasir, tetapi secara umum butiran pasir menempel satu sama lain dan menunjukkan *angularity* yang berbeda. Permukaan ini menunjukkan kesatuan *network* dari lempung tidak berkembang pada sekitar butiran pasir. Permukaan untuk 19,3% kadar *kaolinite* menunjukkan kesatuan lempung yang jelas sekitar butiran halus, dan penghalusan dari perilaku pengisian *space* telah dijelaskan lebih awal. Untuk campuran ini, gaya ikatan kohesif mendominasi.



5% kaolinite



19.3% kaolinite



Gambar II.4 Ikatan struktur sedimen pada campuran *kaolinite*/pasir  
(Sumber: Mitchener dan Torfs, 1996)

### Bab III Metodologi Penelitian Laboratorium

#### Metodologi Penelitian Laboratorium

Penelitian laboratorium dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrodinamika, Pusat Penelitian Antar Universitas – Ilmu Rekayasa, Institut Teknologi Bandung. Penelitian yang dilakukan adalah :

- a. kecepatan jatuh sedimen kohesif dilakukan dengan menggunakan tabung *bottom withdrawal*. Pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengukuran waktu, salinitas dan konsentrasi sedimen yang jatuh atau mengendap.
- b. tegangan geser kritis erosi dengan menggunakan sirkular flume. Pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini meliputi kecepatan, muka air, temperatur, massa jenis, dan konsentrasi sedimen yang tererosi.

#### III.1 Penelitian Kecepatan Jatuh Sedimen

##### III.1.1 Peralatan dan Bahan

##### 1. Tabung *bottom withdrawal*

Tabung *bottom withdrawal* yang digunakan terdiri dari sebuah tabung kaca dengan panjang 1 m dan diameter dalam 0,05m. Pada bagian bawah tabung terdapat sebuah *nozzle* untuk mengeluarkan sampel. Pada sisi tabung diberi tanda untuk pengambilan sampel air dengan jarak 12,5 cm untuk pengambilan sampel air sebanyak 250 ml.

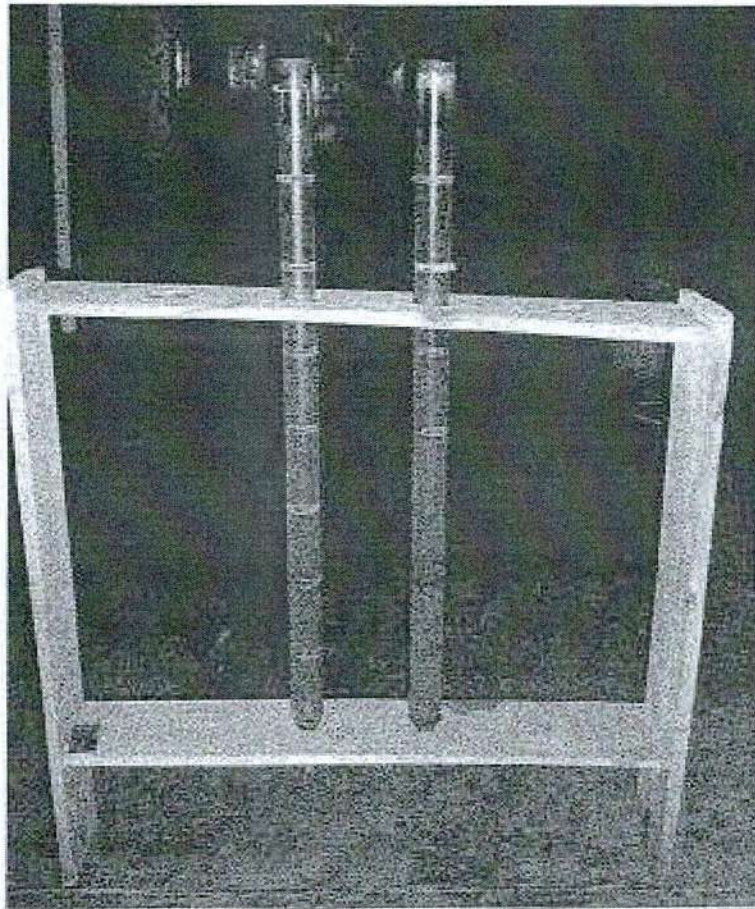
##### 2. Sedimen

Sedimen yang dipakai adalah sedimen kohesif yang diambil dari Segara Anakan (daerah Selatan Jawa Barat). Sedimen tersebut disaring dengan menggunakan saringan no. 200 dengan bukaan saringan 0,076 mm, sehingga diperoleh sedimen dengan ukuran butiran lebih kecil dari 0,076 mm atau 76  $\mu\text{m}$ .



### 3. Air laut

Air laut diambil dari daerah Pangandaran, Jawa Barat dengan salinitas awal 33 ‰. Air laut tersebut kemudian diencerkan dengan menambahkan aquadest menjadi salinitas yang diinginkan yaitu 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 20 ‰, 25 ‰, 30 ‰.



Gambar III.1 Tabung *bottom withdrawal* pada rak penyangga

### 4. Alat ukur

Alat ukur yang digunakan untuk tiap percobaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### a. Alat ukur waktu

Pengukuran waktu dilakukan dengan memakai Casio Stopwatch HS-5, tahan air dan dapat mengukur waktu dalam jam, menit, detik serta 1/100 detik

b. Alat ukur salinitas

Alat ukur salinitas yang dipakai adalah Salinometer dengan type LF 330/SET, Best.-Nr. 300 204. WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten dapat mengukur salinitas dalam ‰.

c. Alat ukur temperatur

Alat ukur yang digunakan adalah thermometer yang dapat mengukur suhu dari -10° C sampai 110° C dengan ketelitian hingga 1° C

d. Alat ukur viskositas

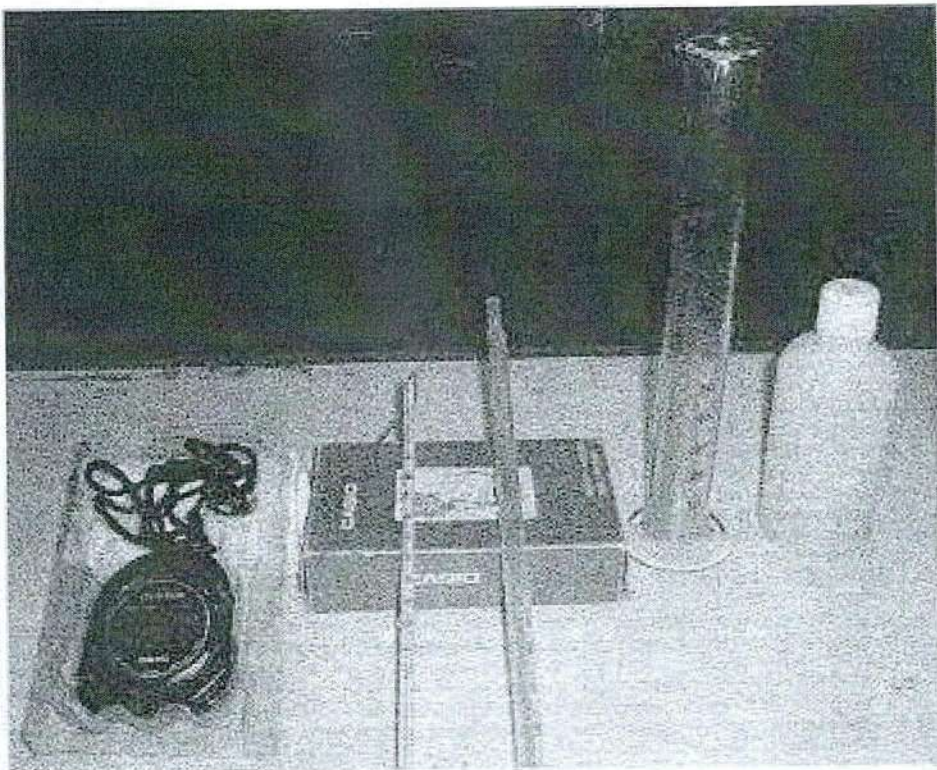
Alat ukur yang digunakan adalah Brookfield dial Viscometer dengan ketelitian hingga 1 % dari pembacaan skala

## 5. Peralatan bantu

Peralatan bantu yang diperlukan adalah :

- gelas ukur, pipet ukur untuk membuat konsentrasi tertentu
- botol-botol plastik sebagai tempat sampel air
- stiker untuk memberi tanda pada botol sampel
- oven untuk mengeringkan sampel
- timbangan untuk mengetahui massa kering sampel
- kertas saring untuk menyaring sampel
- rak untuk menaruh tabung *bottom withdrawal* agar tegak berdiri
- spidol dan solasi untuk memberi tanda jarak tabung *bottom withdrawal*
- formulir pencatatan data
- kamera untuk dokumentasi





Gambar III.2 Stopwatch, thermometer, pipet ukur 10 ml, gelas ukur 100 ml, botol plastik

### III.1.2 Prosedur Percobaan

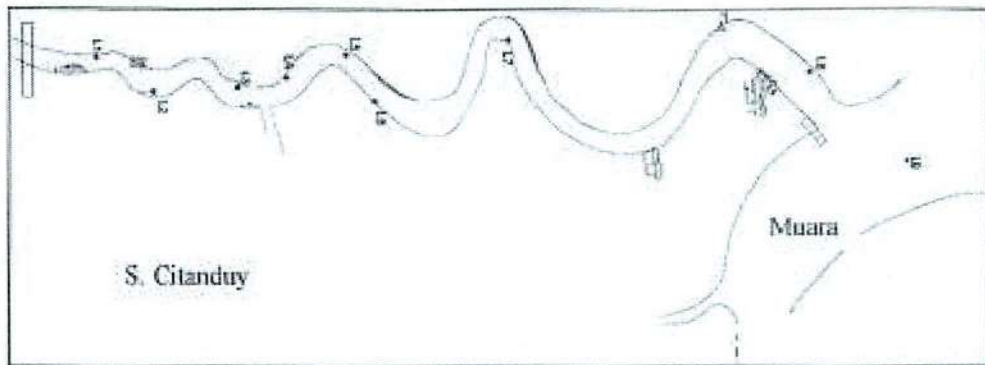
Secara umum tahapan percobaan dalam penelitian ini meliputi :

1. Pengambilan sampel
2. Persiapan percobaan
3. Percobaan di laboratorium
4. Pemeriksaan sampel
5. Analisis hasil percobaan

#### 1. Pengambilan sampel sedimen dan air laut

Pengambilan sampel dilakukan di Jawa Barat dengan mengambil sampel sedimen kohesif di muara Segara Anakan, sampel adalah sampel *disturb* dan mengambil air laut di Pangandaran. Sampel sedimen diambil dari beberapa titik lokasi, untuk memperoleh kadar lumpur terbanyak. Sampel-sampel sedimen yang diperoleh beberapa banyak mengandung pasir, maka dipilih sampel dari lokasi 4 yang

dipakai karena dari lokasi tersebut hampir seluruhnya lumpur. Penyaringan harus dilakukan untuk mendapatkan sampel yang 100% kohesif.



Gambar III.3 Lokasi pengambilan sampel sedimen sungai Citanduy

## 2. Persiapan percobaan

- Sampel sedimen yang diambil harus dibersihkan dahulu dari kotoran-kotoran berupa daun-daun atau tumbuhan dan binatang-binatang kecil yang telah mati. Pembersihan dapat dilakukan dengan penyaringan. Hasil penyaringan diperiksa konsentrasinya dan dijadikan sampel inti yang nantinya digunakan sebagai bahan yang digunakan dalam percobaan dengan berbagai konsentrasi yang ditentukan yaitu 200, 400, 1000, 4000, 6000, 10.000, 15.000, 18.000 ppm (*part per million*) atau mg/l.
- Air laut yang diambil harus diperiksa dahulu salinitasnya. Kemudian air laut tersebut diencerkan dengan menambahkan aquadest menjadi salinitas yang diinginkan yaitu 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 20 ‰, 25 ‰, 30 ‰.

## 3. Percobaan di laboratorium

Langkah-langkah percobaan :

- Disiapkan 2 liter suspensi dengan konsentrasi tertentu pada salinitas tertentu
- Diisi tabung dengan suspensi diatas dan ukur temperaturnya,
- Tabung ditutup dengan tutup karet,
- Suspensi dicampur sampai merata sehingga larutan menjadi homogen dengan cara pengadukan (membolak balik tabung),



- e. Tabung diletakkan pada posisi tegak (seperti dalam rak) dan mulai hitung waktu,
- f. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak bagian sampel yang telah ditentukan (0,25 liter) pada waktu-waktu 3, 6, 10, 20, 40, 60, dan 120 menit,
- g. Massa sedimen dari setiap sampel ditimbang,
- h. Dilakukan lagi untuk konsentrasi-konsentrasi berikutnya.

#### 4. Pemeriksaan sampel

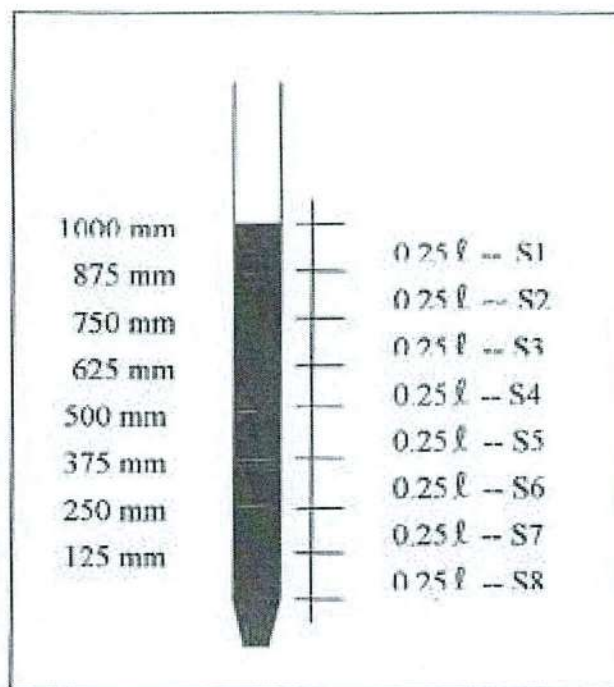
Langkah-langkah pemeriksaan sampel untuk memperoleh massa sedimen :

- a. Siapkan kertas saring, cuci bersih lalu keringkan dalam oven selama 24 jam kemudian timbang massa kertas saring
- b. Saring sedimen yang berada dalam sampel (0.25 liter) dengan memakai kertas saring
- c. Setelah tersaring semua, masukkan dalam oven, setelah kering timbang massanya.
- d. Massa yang diperoleh di kurangi massa kertas saring diperoleh massa sedimen.

#### 5. Analisis hasil percobaan

- a. Hitung seluruh massa sedimen  $St = S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8$
- b. Hitung konsentrasi yang diperoleh ( $St/2$ )
- c. Hitung tinggi sampel (Volume/luas penampang tabung)
- d. Hitung tinggi jatuh tiap pengambilan sampel (1000 mm, 875 mm.....)
- e. Hitung massa komulatif ( $St-S1$  ;  $St-S1-S2$  ;  $St-S1-S2-S3$  ; .....  $S8$ )
- f. Hitung faktor kedalaman (tinggi jatuh standard/ tinggi jatuh)
- g. Hitung massa komulatif koreksi (massa komulatif x faktor kedalaman)
- h. Hitung persentasi massa komulatif (massa komulatif/ $St \times 100\%$ )
- i. Hitung waktu pengambilan koreksi (waktu pengambilan x faktor kedalaman)
- j. Gunakan waktu jatuh untuk tinggi jatuh standard 1000 mm berikut kecepatan jatuh
- k. Persentase massa kumulatif sebagai fungsi waktu digambar (gambar 1)

- l. Berdasarkan waktu jatuh standard, buat tangen pada setiap waktu jatuh (digambar pd gbr 1) dan buat bentuk segitiga dengan dasar sepanjang log e
- m. Tarik garis horizontal melalui puncak segitiga, baca persentasi massa komulatif pada sumbu vertikal dan nilai tersebut dicatat
- n. Gambar distribusi kecepatan jatuh dengan *comulative weight percentage smaller*
- o. Dari gambar di atas diperoleh kecepatan jatuh
- p. Gambar kecepatan jatuh vs konsentrasi sedimen



Gambar III.4 Prinsip percobaan kecepatan jatuh

## III.2 Penelitian Tegangan Geser Kritis Erosi

### III.2.1 Peralatan dan Bahan

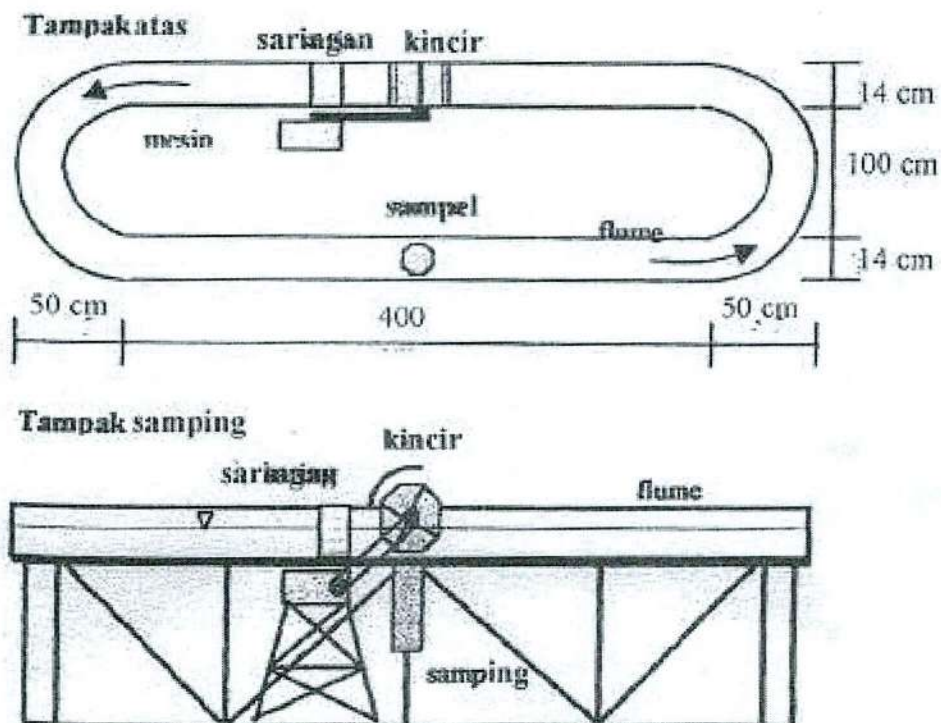
#### 1. Sirkular flume

Sirkular flume merupakan sebuah flume yang dasar dan dindingnya terbuat dari *fiberglass* pada tikungan dan kaca pada bagian lurus. Panjang bagian lurus 400 cm dengan lebar saluran 14 cm. Pada bagian tikungan berjari-jari 50 cm.

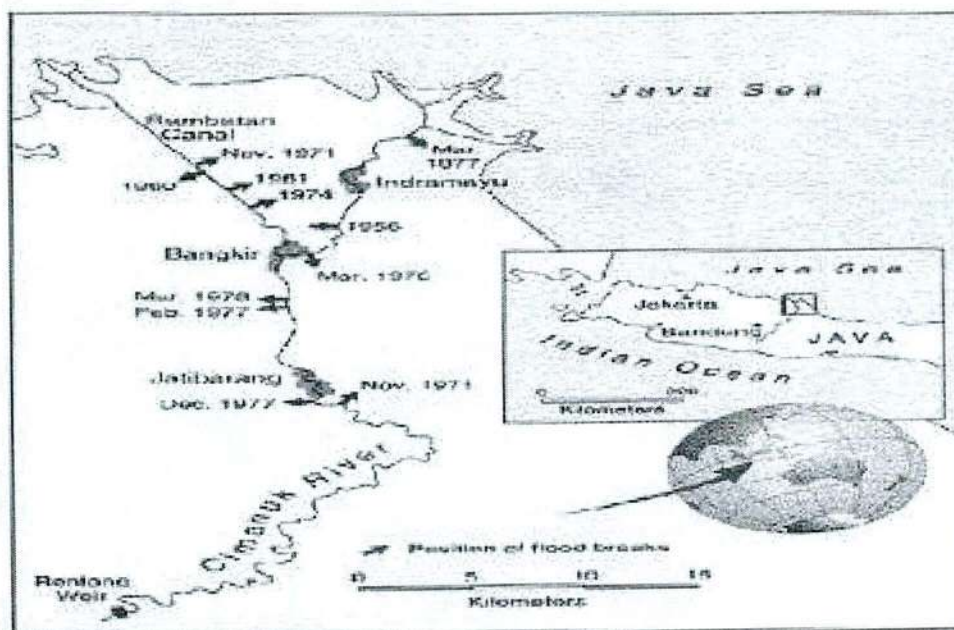


## 2. Sedimen

Sedimen yang dipakai adalah sedimen yang berasal dari dasar sungai Citanduy, sungai Cimanuk, dan sungai Ciasem (Jawa Barat) pada bagian hilir. Pengambilan dilakukan dari beberapa titik lokasi seperti terlihat pada gambar III.3 (sungai Citanduy). Beberapa titik lokasi tersebut ada yang mengandung banyak lumpur dengan sedikit pasir, ada juga yang mengandung banyak pasir dengan sedikit lumpur, begitu juga pada dua sungai lainnya.



Gambar III.5 Sirkular flume



Gambar III.6 Lokasi sungai Cimanuk

### 3. Alat ukur

Alat ukur yang digunakan untuk tiap percobaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### a. Alat ukur kecepatan

Alat ukur kecepatan yang digunakan adalah sebuah *currentmeter* yang menggunakan kipas (*fan*) dan sebuah mesin penghitung (*counter*) yang menghitung intensitas putaran dalam satuan Hz. Jenis kipas *current meter* yang digunakan ada dua buah yaitu kipas *high speed* (No seri alat: -) dan *low speed* (No seri alat: B8713-1). Counter digital yang dipakai adalah Streamflow-422 dan Streamflow-B8713-1. Perbandingan pembacaan antar kipas *high speed* (HL)) dengan *low speed* (LS) serta kalibrasinya telah dilakukan oleh Joko Nugroho (2000) adalah sebagai berikut:

$$Y_1 = 1.1023 X_1 \quad (3.1)$$

$$Y = 0.0000000002 x^5 - 0.0000002 x^4 + 0.00005 x^3 - 0.0057 x^2 + 0.8562 x \quad (3.2)$$

$X_1$  = bacaan dari kipas HS

$Y_1$  = nilai atau bacaan dari kipas LS

$X$  = bacaan dari kipas LS

$Y$  = kecepatan (cm/detik)



b. Alat ukur temperatur

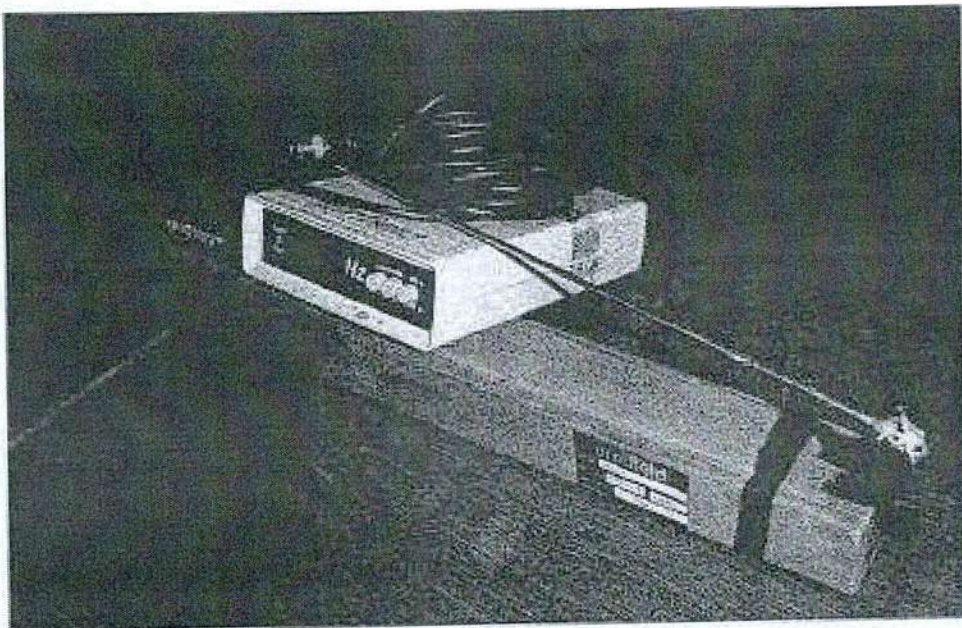
Alat ukur yang digunakan adalah thermometer yang dapat mengukur suhu dari  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai  $110^{\circ}\text{C}$  dengan ketelitian hingga  $1^{\circ}\text{C}$

c. Alat ukur waktu

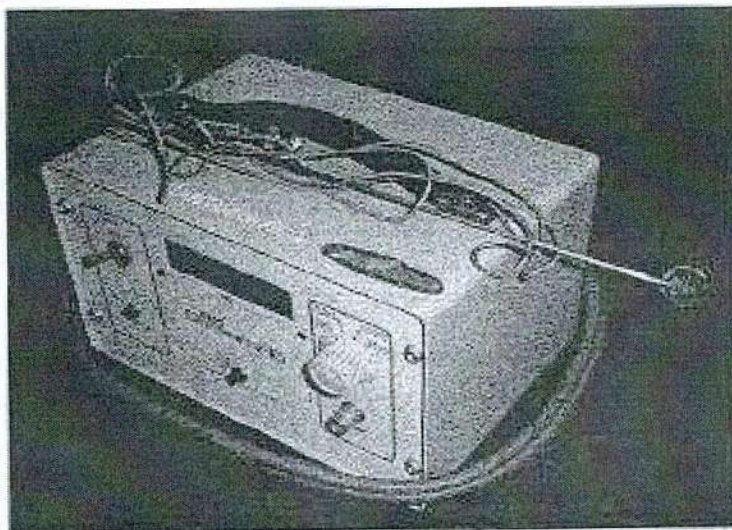
Pengukuran waktu dilakukan dengan memakai Casio Stopwatch HS-5, tahan air dan dapat mengukur waktu dalam jam, menit, detik serta  $1/100$  detik

d. Alat ukur massa (timbangan)

Timbangan yang digunakan adalah timbangan elektrik Nagata dengan kapasitas 3000 gram dengan ketelitian hingga 0.1 gram.



Gambar III.7 *Currentmeter* dengan *counter digital Streamflow* B8713-1 dan kipas *low speed* B-8713-2

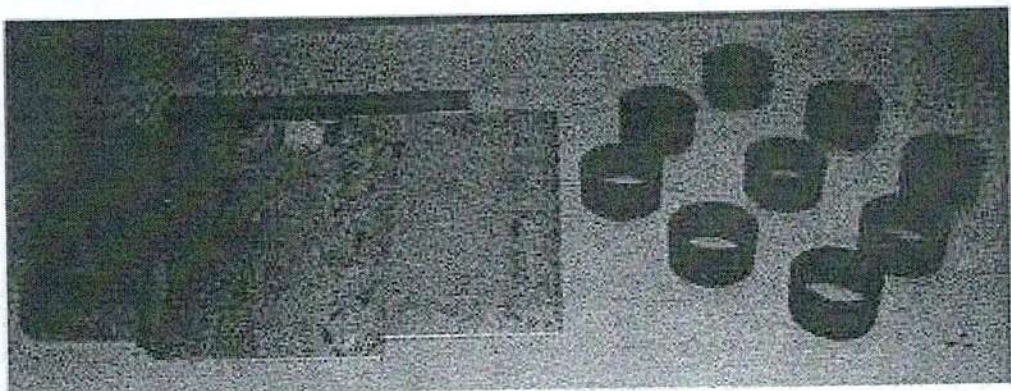


Gambar III.8 *Currentmeter* dengan *counter digital* Streamflow-422 dan kipas *high speed*

#### 4. Peralatan bantu

Peralatan bantu yang diperlukan adalah :

- botol-botol plastik sebagai tempat sampel air
- stiker untuk memberi tanda pada botol sampel
- ring besi sebagai tempat sampel sedimen untuk densitas
- lempeng stainless/alumunium sebagai dasar ring sampel atau tatakan
- mistar untuk mengukur tinggi air
- formulir pencatatan data
- kamera untuk dokumentasi



Gambar III.9 Lempeng alumunium dan ring besi



Tabel III.1 Komposisi campuran pasir dan lumpur

| No. | Pasir (%) | Lumpur (%) | Konsolidasi (minggu) | Kode                                                  | Keterangan                                                                                                                                                    |
|-----|-----------|------------|----------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | 100       | 0          | 1                    | Cty-100% lumpur-1 mg (tanggal buat-tanggal percobaan) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cty = Citanduy</li> <li>100% lumpur = komposisi campuran</li> <li>1mg, 2mg, 3 mg = konsolidasi dalam minggu</li> </ul> |
|     |           |            | 2                    | Cty-100% lumpur-2 mg (tanggal buat-tanggal percobaan) |                                                                                                                                                               |
|     |           |            | 3                    | Cty-100% lumpur-3 mg (tanggal buat-tanggal percobaan) |                                                                                                                                                               |
| 2.  | 80        | 20         | 1                    | Cty-80% lumpur-1 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cty = Citanduy</li> <li>80% lumpur = komposisi campuran</li> <li>1mg, 2mg, 3 mg = konsolidasi dalam minggu</li> </ul>  |
|     |           |            | 2                    | Cty-80% lumpur-2 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
|     |           |            | 3                    | Cty-80% lumpur-3 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
| 3.  | 60        | 40         | 1                    | Cty-60% lumpur-1 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cty = Citanduy</li> <li>60% lumpur = komposisi campuran</li> <li>1mg, 2mg, 3 mg = konsolidasi dalam minggu</li> </ul>  |
|     |           |            | 2                    | Cty-60% lumpur-2 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
|     |           |            | 3                    | Cty-60% lumpur-3 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
| 4.  | 50        | 50         | 1                    | Cty-50% lumpur-1 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cty = Citanduy</li> <li>50% lumpur = komposisi campuran</li> <li>1mg, 2mg, 3 mg = konsolidasi dalam minggu</li> </ul>  |
|     |           |            | 2                    | Cty-50% lumpur-2 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
|     |           |            | 3                    | Cty-50% lumpur-3 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
| 5.  | 40        | 60         | 1                    | Cty-40% lumpur-1 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cty = Citanduy</li> <li>40% lumpur = komposisi campuran</li> <li>1mg, 2mg, 3 mg = konsolidasi dalam minggu</li> </ul>  |
|     |           |            | 2                    | Cty-40% lumpur-2 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
|     |           |            | 3                    | Cty-40% lumpur-3 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
| 6.  | 20        | 80         | 1                    | Cty-20% lumpur-1 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cty = Citanduy</li> <li>20% lumpur = komposisi campuran</li> <li>1mg, 2mg, 3 mg = konsolidasi dalam minggu</li> </ul>  |
|     |           |            | 2                    | Cty-20% lumpur-2 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
|     |           |            | 3                    | Cty-20% lumpur-3 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
| 7.  | 10        | 90         | 1                    | Cty-10% lumpur-1 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cty = Citanduy</li> <li>10% lumpur = komposisi campuran</li> <li>1mg, 2mg, 3 mg = konsolidasi dalam minggu</li> </ul>  |
|     |           |            | 2                    | Cty-10% lumpur-2 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |
|     |           |            | 3                    | Cty-10% lumpur-3 mg (tanggal buat-tanggal percobaan)  |                                                                                                                                                               |

### 3. Percobaan di laboratorium

- Siapkan sampel sedimen kemudian masukkan ke dalam tabung. Tabung ini mempunyai diameter dalam 100 mm dan tinggi 0,5 m. Masukkan air ke dalam sirkular *flume*, ukur tinggi muka air. Biarkan sampel terkonsolidasi selama waktu yang diinginkan (misalnya 7 hari). Setelah terkonsolidasi, sampel siap untuk percobaan erosi.

- b. Periksa kembali tinggi muka air dan ukur suhu
- c. Naikkan permukaan sampel sekitar 1 cm dari dasar *flume*
- d. Jalankan kincir untuk menggerakkan aliran mulai dari aliran lambat ke aliran yang cepat.
- e. Atur kecepatan secara perlahan dan amati sampel mulai terjadi erosi, catat setiap perubahan yang terjadi pada formulir data hasil percobaan (contoh formulir lihat Tabel III.2).
- f. Ukur kecepatan pada saat mulai terjadi erosi sampai pada erosi terjadi
  - 1) Setelah erosi terjadi, ambil sampel larutan sedimen  $\pm 200$  ml.
  - 2) Naikkan kecepatan, tunggu 5 menit lalu ukur kecepatan dan ambil sampel larutan sedimen  $\pm 200$  ml.
  - 3) Ambil sampel sedimen untuk mengetahui densitas
- g. Keluarkan air dari *flume*, potong lapisan atas untuk memperoleh lapisan permukaan yang baru, isi kembali *flume* dengan air.
- h. Lakukan lagi pada lapisan permukaan yang baru tersebut sampai lapisan terakhir.

#### 4. Pemeriksaan sampel

- a. Pemeriksaan sampel larutan sedimen untuk mendapatkan massa sedimen, langkah-langkah pemeriksaan dapat dilihat pada 3.1.2 bagian 4.
- b. Pemeriksaan sampel sedimen untuk memperoleh massa jenis dan massa jenis kering. Langkah-langkah pemeriksaan sebagai berikut :
  - 1) Sedimen diambil dari tabung percobaan dengan memakai ring berdiameter 3,6 cm, bersihkan sekitar ring sehingga sedimen hanya ada di dalam ring saja. Beri alas agar sampel sedimen tidak keluar.
  - 2) Timbang sampel sedimen basah berikut ring dan alas.
  - 3) Masukkan oven selama 24 jam lalu timbang kembali sampel sedimen kering berikut ring dan alas.
  - 4) Timbang massa ring, massa alas, ukur diameter dan tinggi ring



Tabel III.2 Formulir data hasil percobaan

|                                          |                                             |                                  |  |
|------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|--|
| Nama sungai                              | : Citanduy/Cimanuk/Ciasem                   |                                  |  |
| Komposisi campuran                       | : 100%/ 80%/ 60%/ 50%/ 40%/ 20%/ 10% lumpur |                                  |  |
| Konsolidasi                              | : 1/2/3 minggu                              |                                  |  |
| Lapisan I:                               |                                             |                                  |  |
| Bacaan <i>currentmeter</i> mulai erosi : |                                             |                                  |  |
| Bacaan <i>currentmeter</i> saat erosi :  |                                             |                                  |  |
| Waktu awal ambil sampel:                 | ; No.Botol:                                 | ;Bacaan current:                 |  |
| Waktu akhir ambil sampel:                | ; No.Botol:                                 | ;Bacaan current:                 |  |
| No. Ring:                                | ; Massa ring:                               | ; Massa ring + tatakan + sampel: |  |
| No. Tatakan:                             | ; Massa tatakan:                            |                                  |  |
| Lapisan II:                              |                                             |                                  |  |
| Bacaan <i>currentmeter</i> mulai erosi : |                                             |                                  |  |
| Bacaan <i>currentmeter</i> saat erosi :  |                                             |                                  |  |
| Waktu awal ambil sampel:                 | ; No.Botol:                                 | ;Bacaan current:                 |  |
| Waktu akhir ambil sampel:                | ; No.Botol:                                 | ;Bacaan current:                 |  |
| No. Ring:                                | ; Massa ring:                               | ; Massa ring + tatakan + sampel: |  |
| No. Tatakan:                             | ; Massa tatakan:                            |                                  |  |
| Lapisan III:                             |                                             |                                  |  |
| Bacaan <i>currentmeter</i> mulai erosi : |                                             |                                  |  |
| Bacaan <i>currentmeter</i> saat erosi :  |                                             |                                  |  |
| Waktu awal ambil sampel:                 | ; No.Botol:                                 | ;Bacaan current:                 |  |
| Waktu akhir ambil sampel:                | ; No.Botol:                                 | ;Bacaan current:                 |  |
| No. Ring:                                | ; Massa ring:                               | ; Massa ring + tatakan + sampel: |  |
| No. Tatakan:                             | ; Massa tatakan:                            |                                  |  |

## 5. Analisis hasil percobaan

### Proses perhitungan tegangan geser kritis erosi

- Hitung parameter penampang seperti luas penampang basah (A), keliling basah (P), dan jari-jari hidrolik (R).

- b. Hitung bilangan Reynold (R):  $R = \frac{4RV}{\nu}$  dimana : V = kecepatan aliran ;  $\nu$  = kekentalan kinematik
- c. Hitung harga kekasaran f dengan anggapan saluran halus dengan persamaan berikut :  $\frac{1}{f} = 2.0 \log \left( \frac{R\sqrt{f}}{2.51} \right)$
- d. Hitung tegangan geser kritis dengan persamaan :  $\sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \sqrt{\frac{f}{8}} V$  dimana :  $\rho$  = massa jenis air
- e. Gambar grafik hubungan antara tegangan geser kritis erosi dengan kedalaman sampel

#### Proses perhitungan konstanta erosi

- a. Hitung perubahan konsentrasi yang terjadi
- b. Hitung pertambahan massa sedimen dalam *flume* : perubahan konsentrasi x volume *flume* (dm)
- c. Hitung laju erosi : perubahan massa sedimen / perubahan waktu = dm/dt
- d. Hitung laju erosi persatuan luas (E)
- e. Hitung tegangan geser dasar yang terjadi setelah kecepatan dinaikkan  $\tau_b$ , perhitungan sama seperti memperoleh tegangan geser kritis erosi
- f. Hitung  $(\tau_b - \tau_c)$
- g. Gambar grafik hubungan antara (E) dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  untuk mendapatkan konstanta erosi ( $M_e$ )
- h. Perhitungan dapat dilakukan secara tabelaris

#### Proses perhitungan densitas

- a. Massa sampel sedimen basah + ring (A)
- b. Massa sampel sedimen kering + ring (B)
- c. Massa ring (C)
- d. Ukur diameter dan tinggi ring, hitung volume ring (V)
- e. Hitung massa air,  $W_a = (A - B)$
- f. Hitung massa sedimen kering,  $W_s = (B - C)$



- g. Hitung kadar air,  $w = W_a / W_s$
- h. Hitung massa sedimen basah,  $W = (A - C)$
- i. Hitung  $\rho_{wet} = W / V$
- j. Hitung  $\rho_{dry} = \rho_{wet} / (1+w)$

## Bab IV Analisa Kecepatan Jatuh Sedimen

### IV.1 Kecepatan Jatuh Sedimen Kohesif

Kecepatan jatuh adalah kecepatan partikel atau gumpalan dalam perjalanannya menuju dasar karena gaya massa. Proses penggumpalan mempengaruhi kecepatan jatuh sedimen. Penggumpalan membentuk partikel yang lebih besar dan akan memiliki massa yang lebih besar sehingga akan lebih mudah mengendap. Penggumpalan dipengaruhi oleh konsentrasi. Konsentrasi yang besar dapat membentuk penggumpalan dengan partikel yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi kecil, sehingga kecepatan jatuhnya juga besar. Namun untuk konsentrasi yang sangat tinggi, kecepatan jatuh partikel menjadi lebih lambat. Ini disebabkan oleh efek *hindered settling* (halangan jatuh).

*Hindered settling* adalah efek ketika kecepatan jatuh dari gumpalan berkurang karena aliran air ke atas ditempati atau digantikan oleh gumpalan. Saat konsentrasi sangat besar aliran vertikal menjadi sangat kuat dan gaya hambatan ke atas dari fluida pada gumpalan menjadi sama dengan gaya gravitasi ke bawah. Ini mengakibatkan keseimbangan dinamik sementara tanpa perpindahan vertikal dari gumpalan. Keadaan ini yang muncul dekat dasar, umumnya disebut cairan lumpur (van Rijn, 1993).

Percobaan laboratorium telah dilakukan dengan menggunakan tabung *bottom withdrawal*. Percobaan kecepatan jatuh dilakukan dengan memakai 7 salinitas dan 7 atau 8 konsentrasi untuk masing-masing salinitas.

Hasil percobaan dapat dilihat dalam bentuk tabel dan grafik. Tabel IV.1 adalah tabel yang berisi hasil percobaan kecepatan jatuh setelah melalui perhitungan. Perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

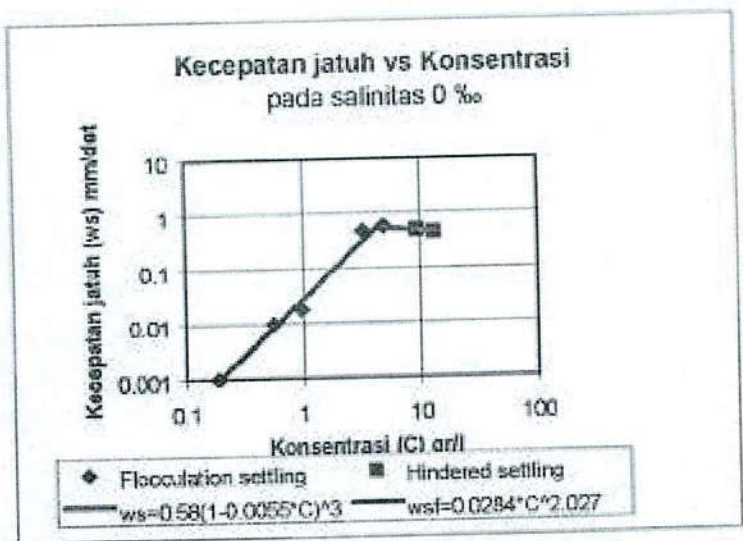


IV.1.1 Kecepatan Jatuh Sedimen Pada Salinitas 0 ‰

Pada salinitas 0 ‰, kecepatannya bertambah dengan lambat dari konsentrasi 188 mg/l sampai konsentrasi 970,25 mg/l kemudian menaik tajam hingga mencapai puncak pada konsentrasi 4970,50 mg/l dengan kecepatan jatuh sedimen 0,58 mm/s lalu menurun sampai 0,45 mm/s pada konsentrasi 13.338 mg/l (lihat Gambar IV.1).

Tabel IV.1.Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 0 ‰

| Konsentrasi (mg/l) | Kecepatan jatuh sedimen (mm/s) |
|--------------------|--------------------------------|
| 188,000            | 0,001                          |
| 557,000            | 0,010                          |
| 970,250            | 0,018                          |
| 3252,750           | 0,480                          |
| 4970,500           | 0,580                          |
| 9453,150           | 0,400                          |
| 13337,750          | 0,450                          |



Gambar IV.1 Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 0‰

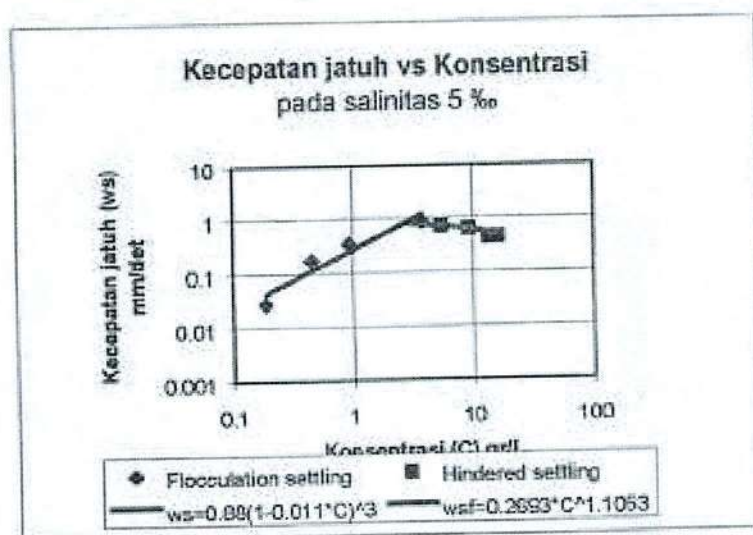
IV.1.2 Kecepatan Jatuh Sedimen Pada Salinitas 5 ‰

Eksperimen pada salinitas 5 ‰ mempunyai kecepatan jatuh yang lebih besar dibandingkan dengan eksperimen pada salinitas 0 ‰. Dari konsentrasi 187,85 mg/l sampai dengan 937,75 mg/l, kecepatan jatuh sedimen bertambah dengan

cepat dan mencapai puncak pada konsentrasi 3821,45 mg/l dengan kecepatan jatuh sedimen 0,880 mm/s kemudian menurun terus sampai 0,45 mm/s pada konsentrasi 16.370,38 mg/l (Gambar IV. 2).

Tabel IV.2 Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 5 ‰

| Konsentrasi (mg/l) | Kecepatan jatuh sedimen (mm/s) |
|--------------------|--------------------------------|
| 187,850            | 0,027                          |
| 458,000            | 0,175                          |
| 937,750            | 0,345                          |
| 3821,450           | 0,880                          |
| 5578,250           | 0,725                          |
| 9483,125           | 0,640                          |
| 14160,125          | 0,450                          |
| 16370,380          | 0,450                          |



Gambar IV.2 Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 5 ‰

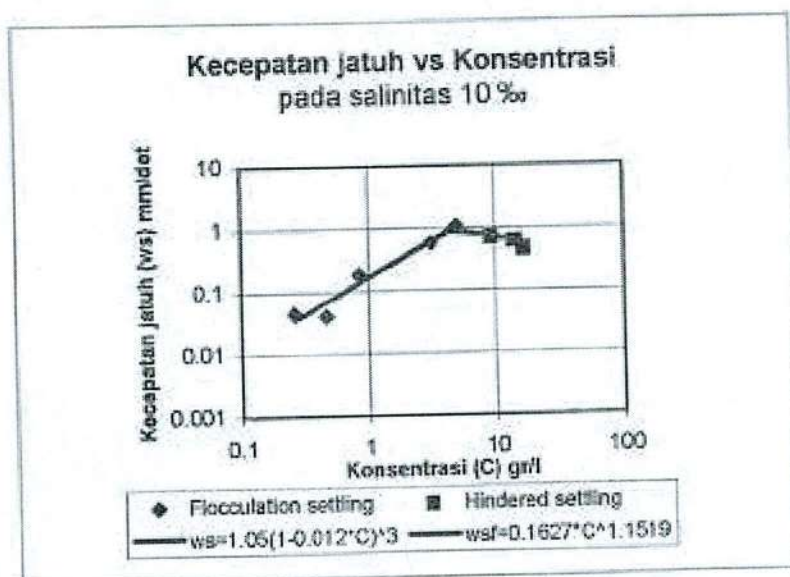
#### IV.1.3 Kecepatan Jatuh Sedimen Pada Salinitas 10 ‰

Pada Gambar IV.3 yaitu untuk salinitas 10 ‰ terlihat dari konsentrasi 468,50 sampai dengan 4962,00 mg/l, kecepatan jatuh menanjak dengan tajam hingga mencapai puncak pada 1,05 mm/s kemudian menurun sampai kecepatan jatuh 0,45 mm/s pada konsentrasi 16.704,00 mg/l.



Tabel IV.3.Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 10 ‰

| Konsentrasi<br>(mg/l) | Kecepatan jatuh sedimen<br>(mm/s) |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 262,650               | 0,045                             |
| 468,500               | 0,040                             |
| 861,000               | 0,185                             |
| 3130,750              | 0,580                             |
| 4962,000              | 1,050                             |
| 9380,750              | 0,690                             |
| 14349,125             | 0,605                             |
| 16704,000             | 0,450                             |



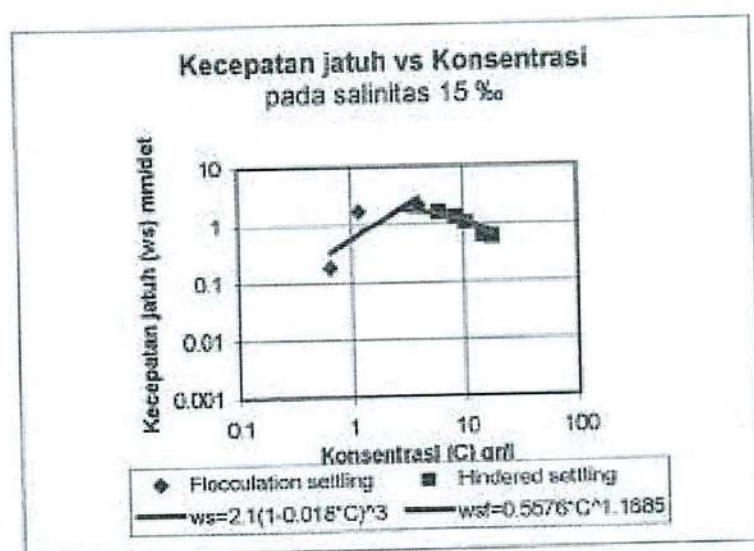
Gambar IV.3 Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 10 ‰

#### IV.1.4 Kecepatan Jatuh Sedimen Pada Salinitas 15 ‰

Eksperimen pada salinitas 15 ‰ memperoleh kecepatan jatuh maksimum yang terbesar dibandingkan dengan kecepatan jatuh pada salinitas-salinitas lain yang di coba. Kecepatan jatuh terlihat menanjak dengan tajam dari konsentrasi 644,5 mg/l hingga konsentrasi 1180 mg/l kemudian masih menanjak agak tajam hingga mencapai puncak kecepatan jatuh sebesar 2,1 mm/s pada konsentrasi 4033,88 mg/l . Pertambahan konsentrasi selanjutnya membuat kecepatan jatuh berkurang hingga mencapai 0,59 mm/s pada konsentrasi 17.943,1 mg/l seperti terlihat pada Gambar IV.4

Tabel IV.4.Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 15 ‰

| Konsentrasi<br>(mg/l) | Kecepatan jatuh sedimen<br>(mm/s) |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 644,500               | 0,180                             |
| 118,000               | 1,700                             |
| 4033,880              | 2,100                             |
| 6105,380              | 1,600                             |
| 8524,130              | 1,330                             |
| 10509,300             | 1,060                             |
| 14814,500             | 0,610                             |
| 17943,100             | 0,590                             |



Gambar IV.4 Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 15 ‰

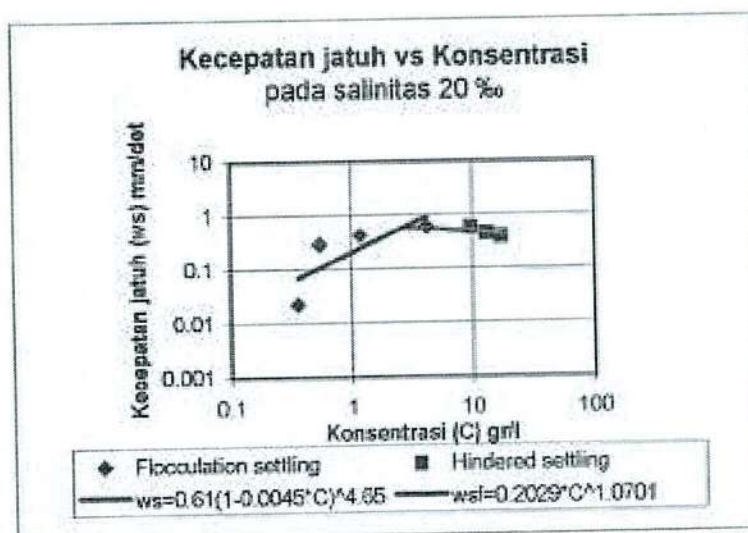
#### IV.1.5 Kecepatan Jatuh Sedimen Pada Salinitas 20 ‰

Pada salinitas 20 ‰ (Gambar IV.5) kecepatan jatuh bertambah dengan cepat dari konsentrasi 359 mg/l sampai dengan konsentrasi 541,88 mg/l kemudian bertambah cukup cepat sampai konsentrasi 1192,88 mg/l dan bertambah agak cepat hingga mencapai puncak pada konsentrasi 4211,38 mg/l dengan kecepatan jatuh sebesar 0,61 mm/s. Setelah mencapai puncak kecepatan jatuh menurun hingga mencapai 0,39 mm/s pada konsentrasi 17.364,5 mg/l. Kecepatan jatuh maksimum pada salinitas ini sudah berkurang atau lebih kecil dari kecepatan jatuh maksimum pada salinitas 15 ‰.



Tabel IV.5.Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 20 ‰

| Konsentrasi<br>(mg/l) | Kecepatan jatuh sedimen<br>(mm/s) |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 359,000               | 0,022                             |
| 541,880               | 0,290                             |
| 1192,880              | 0,425                             |
| 4211,380              | 0,610                             |
| 9789,440              | 0,580                             |
| 13455,800             | 0,450                             |
| 17364,500             | 0,390                             |



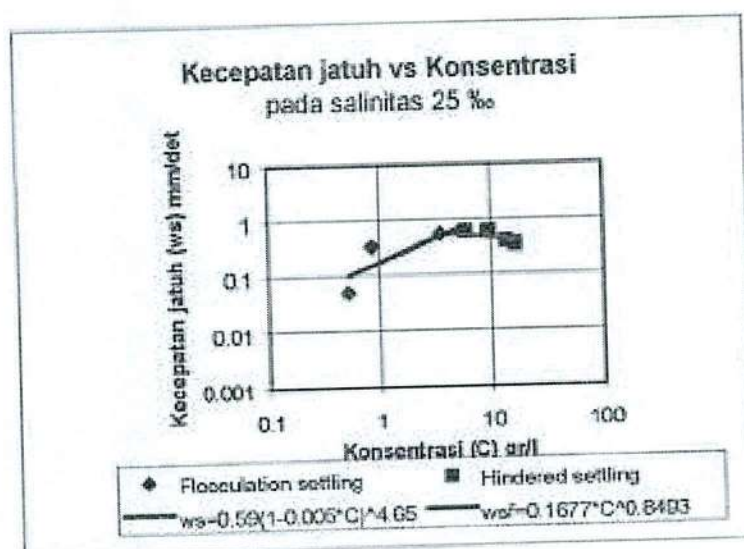
Gambar IV.5 Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 20 ‰

#### IV.1.6 Kecepatan Jatuh Sedimen Pada Salinitas 25 ‰

Gambar IV.6 menunjukkan kecepatan jatuh pada salinitas 25 ‰. Pada gambar ini terlihat kecepatan jatuh bertambah dengan cepat dari konsentrasi 525,15 mg/l sampai dengan konsentrasi 863,65 mg/l kemudian bertambah agak cepat sampai konsentrasi 3522,5 mg/l dan bertambah lambat sampai konsentrasi 5954,75 mg/l. Pada salinitas ini, tidak terlihat puncak kecepatan jatuh karena pada konsentrasi 5954,75 mg/l mempunyai kecepatan yang sama dengan konsentrasi 9618,25 mg/l yaitu 0,59 mm/s. Lalu kecepatan jatuh menurun hingga 0,34 mm/s pada konsentrasi 16.634,25 mg/l.

Tabel IV.6 Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 25 ‰

| Konsentrasi (mg/l) | Kecepatan jatuh sedimen (mm/s) |
|--------------------|--------------------------------|
| 525,150            | 0,050                          |
| 863,650            | 0,330                          |
| 3522,500           | 0,550                          |
| 5954,750           | 0,590                          |
| 9618,250           | 0,590                          |
| 13894,625          | 0,400                          |
| 16634,250          | 0,340                          |



Gambar IV.6 Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 25 ‰

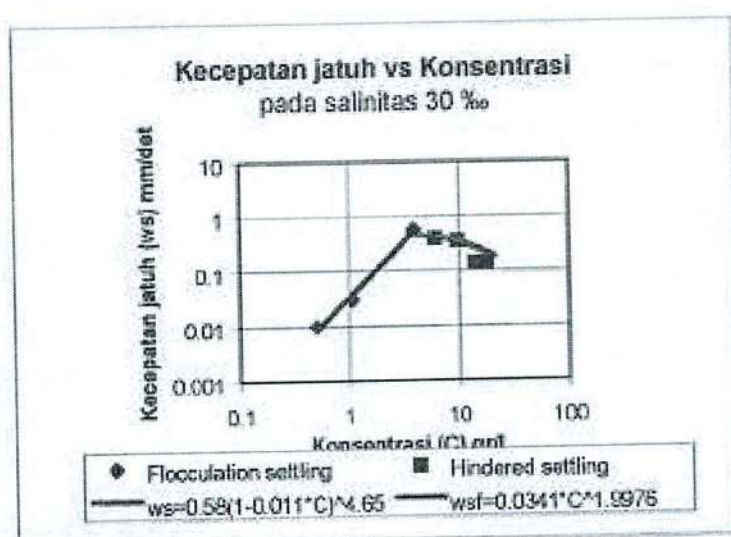
#### IV.1.7 Kecepatan Jatuh Sedimen Pada Salinitas 30 ‰

Kecepatan jatuh pada salinitas 30 ‰ mencapai puncak pada konsentrasi 3934 mg/l dengan kecepatan sebesar 0,58 mm/s. Dari konsentrasi 498 mg/l hingga konsentrasi 3934 mg/l kecepatan bertambah dengan cepat lalu kecepatan jatuh menurun dengan bertambahnya konsentrasi sedimen hingga kecepatan 0,14 mm/s pada konsentrasi 17.900 mg/l (lihat Gambar IV.7).



Tabel IV.7 Kecepatan jatuh sedimen pada salinitas 30 ‰

| Konsentrasi<br>(mg/l) | Kecepatan jatuh sedimen<br>(mm/s) |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 498,350               | 0,010                             |
| 1068,400              | 0,030                             |
| 3933,550              | 0,580                             |
| 6143,630              | 0,400                             |
| 9866,380              | 0,360                             |
| 14472,500             | 0,140                             |
| 17899,500             | 0,140                             |



Gambar IV.7 Hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi pada salinitas 30 ‰

#### IV.2 Hubungan Kecepatan Jatuh Dengan Konsentrasi

Keterikatan jenis sedimen dengan dinamika aliran dan tingkat salinitas memang perlu diperhatikan. Dalam penelitian ini, kecepatan jatuh yang diteliti adalah sedimen kohesif dari sungai Citanduy dengan klasifikasi lanau (*silt*) dan mineral *kaolinite*. Diteliti dalam keadaan aliran diam, sehingga akan lebih mudah diamati dan diperoleh kecepatan jatuh yang maksimum, selain itu pengendapan lebih optimum pada saat aliran mengalami lack dimana terjadi perubahan pasang surut di muara. Hubungan kecepatan jatuh dengan salinitas dibahas pada bagian IV.3.

Dari 7 Gambar di atas diperoleh 2 persamaan umum:

1. Persamaan untuk daerah penggumpalan (*flocculation settling*)

Daerah penggumpalan adalah daerah atau kisaran konsentrasi dimana sedimen mengalami penggumpalan atau flokulasi yang membuat kecepatan jatuh bertambah besar. Pada kisaran konsentrasi ini berarti kecepatan jatuh mengalami peningkatan dengan bertambahnya konsentrasi.

2. Persamaan dimana terjadi gangguan pada jatuhnya sedimen (*hindered settling*)

Terjadi gangguan pada jatuhnya sedimen adalah setelah mengalami penggumpalan optimum yang membuat kecepatan jatuh menjadi maksimum lalu kecepatan jatuh menjadi menurun karena adanya gangguan dari gumpalan yang semakin besar tetapi membuat ruang gerak menjadi berkurang sehingga jatuhnya sedimen terganggu dan menjadi bertambah lambat (seperti penjelasan pada bagian IV.1). Ini berarti kecepatan jatuh semakin rendah dengan meningkatnya konsentrasi setelah melewati batas konsentrasi dimana kecepatan jatuh maksimum terjadi.

**Batas persamaan umum**

2 persamaan umum yang diperoleh tentu ada daerah atau batasan konsentrasi yang berlaku untuk masing-masing persamaan. Jika melihat dari masing-masing salinitas diperoleh batas yang berbeda (lihat 7 Gambar di atas dan tabel IV.8), tetapi dari Gambar IV.8 dapat diambil suatu persamaan dan batasan umum yang berlaku untuk semua salinitas. Batasan tersebut adalah 4,25 gram/l.



Tabel IV.8 Salinitas dan batas persamaan

| Salinitas (‰) | Batas (gram/l) |
|---------------|----------------|
| 0             | 5,0            |
| 5             | 3,0            |
| 10            | 4,5            |
| 15            | 3,5            |
| 20            | 3,0            |
| 25            | 3,5            |
| 30            | 3,5            |

**Persamaan umum untuk daerah penggumpalan (*flocculation settling*)**

Persamaan ini berlaku untuk :  $C_1 < C < C_2 = 0,1 \text{ gram/l} - 4,25 \text{ gram/l}$

Dari 7 Gambar di atas, diperoleh persamaan umum untuk daerah penggumpalan adalah sama seperti persamaan (2.6) dengan nilai:

$k_1$  : konstanta bernilai  $0,02 - 0,56$

$k_2$  : konstanta bernilai  $1,06 - 2,03$

**Persamaan dimana terjadi gangguan pada jatuhnya sedimen (*hindered settling*)**

Persamaan ini berlaku untuk :  $C_2 < C < C_3 \Rightarrow 4,25 \text{ gram/l} < C < 18 \text{ gram/l}$

Persamaan ini sama dengan persamaan (2.7) dengan nilai:

$k_3$  : konstanta bernilai  $0,0045 - 0,025$

$k_4$  : konstanta bernilai  $3 - 4,65$

Hasil yang diperoleh memperlihatkan kecenderungan yang sama dengan penelitian pada sungai Citanduy yang dilakukan oleh Umar (2000) dengan nilai  $k_1 = 0,0004$  dan  $k_2 = 1,7132$ . Melihat dari kisaran konsentrasi yang berlaku antara  $0,03$  dan  $1,1 \text{ gram/l}$  berarti masih dalam batas *flocculation settling*.

Penelitian Van Leussen (1988) memberikan bentuk persamaan yang sama dimana  $k_1$  adalah kecepatan jatuh referensi dan  $k_2$  bervariasi dari 0 sampai 2 tergantung jenis sedimen. Penelitian lain membagi 2 kisaran konsentrasi untuk persamaan

kecepatan jatuh (Thorn dalam Mehta, 1984). Lihat bagian II.3.1.1, untuk konsentrasi antara 0,1 dan 3,5 gram/l (*flocculation settling*), dengan nilai  $k_1 = 0,513$  dan  $k_2 = 1,29$ , sedangkan untuk konsentrasi lebih dari 3,5 gram/l (*hindered settling*) dengan nilai  $W_{30} = 2,6$  mm/det,  $k_3 = 0,008$ ,  $k_4 = 4,65$ . Bentuk persamaan dalam *flocculation settling* maupun *hindered settling* menunjukkan bentuk yang sama hanya berlainan pada konstanta yang diperoleh dari empiris dan batas persamaan.

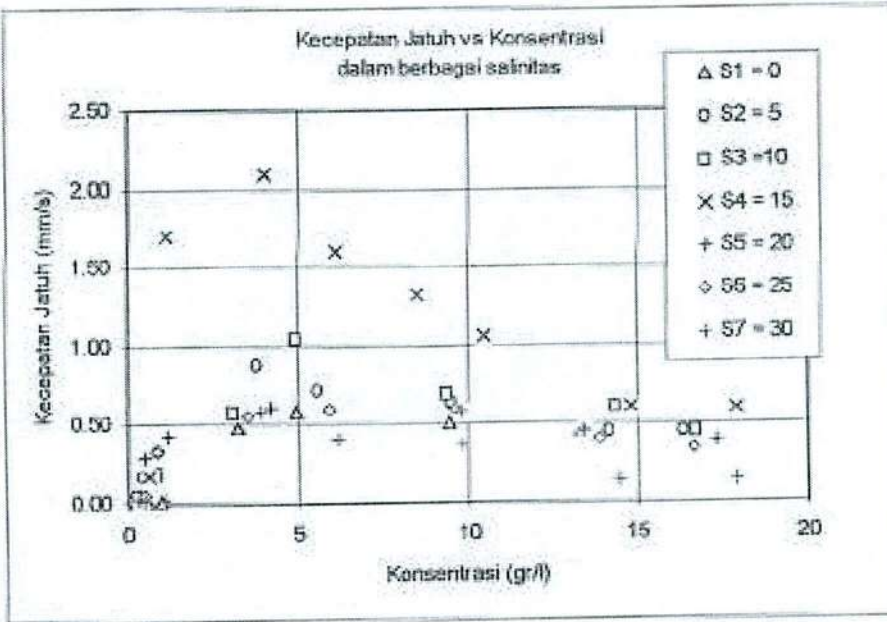
Begitu pula dengan Mehta (1993) dan dalam *flocculation settling* menunjukkan bentuk yang sama tetapi dalam *hindered settling* menunjukkan bentuk yang sedikit berbeda. Lihat bagian II.3.1.1, persamaan (2.8) dan (2.9).

Kedua penelitian di atas hanya menyatakan hubungan kecepatan jatuh dengan konsentrasi sedimen tersuspensi dan tidak memberikan keterangan salinitas sehingga tidak diketahui pada salinitas berapa persamaan tersebut berlaku.

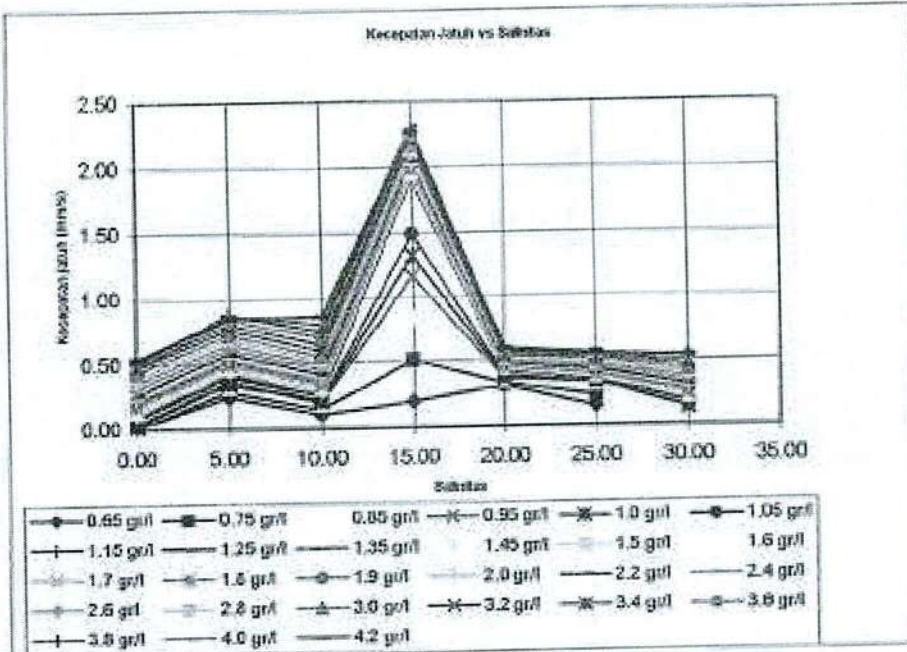
### IV.3 Hubungan Kecepatan Jatuh dengan Salinitas

Berdasarkan hasil percobaan (Bab IV.1) kecepatan jatuh sedimen kohesif (jenis dan mineral sedimen lihat bagian IV.2) selain dipengaruhi konsentrasi juga dipengaruhi oleh salinitas. Dari 7 salinitas yang di pakai dalam percobaan ternyata salinitas 15 ‰ yang terlihat paling berpengaruh dalam memperoleh nilai kecepatan jatuh sedimen yang maksimum dan merupakan salinitas optimum. Lebih dari salinitas tersebut, kecepatan jatuh sedimen mulai berkurang signifikan seperti terlihat pada Gambar IV.8, IV.9, IV.10 di bawah ini:

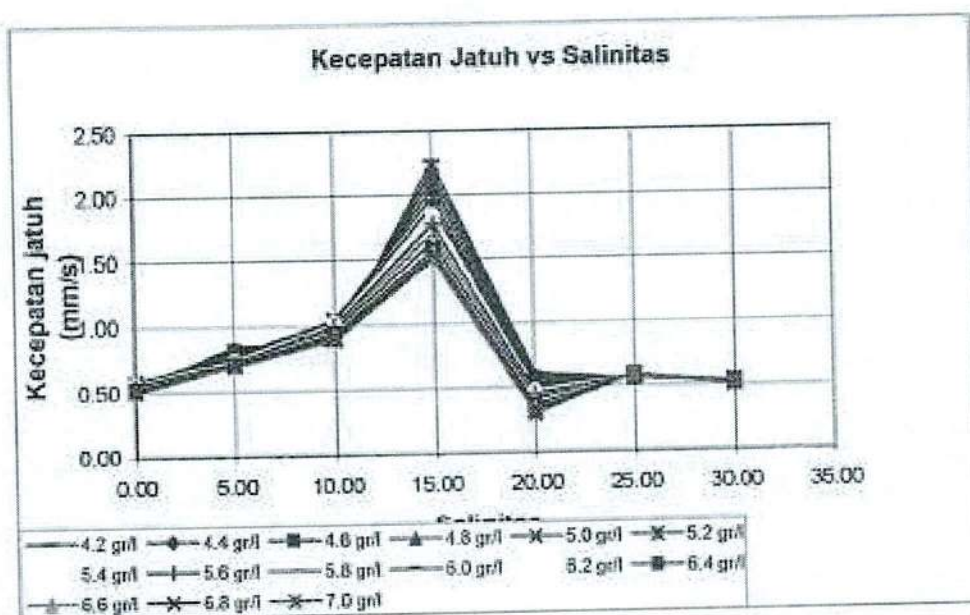




Gambar IV.8 Kecepatan jatuh dalam berbagai salinitas



Gambar IV.9 Hubungan kecepatan jatuh dengan salinitas pada *flocculation settling*



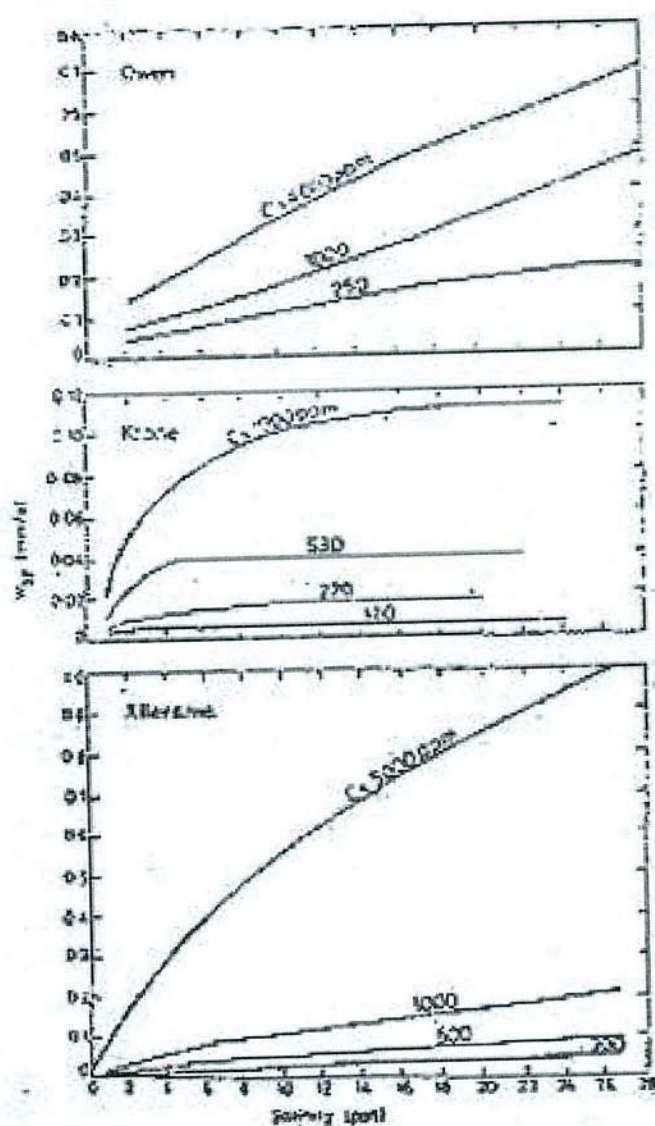
Gambar IV.10 Hubungan kecepatan jatuh dengan salinitas pada *hindered settling*

Gambar IV.9 menggambarkan hubungan kecepatan jatuh dengan salinitas pada konsentrasi *flocculation settling*. Gambar IV.10 menggambarkan hubungan kecepatan jatuh dengan salinitas pada konsentrasi *hindered settling*. Gambar IV.9 menunjukkan salinitas 15 ‰ menjadi yang paling berpengaruh mulai konsentrasi 0,75 gram/l dan menjadi salinitas optimum. Gambar IV.10 juga menunjukkan salinitas 15 ‰ menjadi salinitas optimum. Salinitas 0 ‰ sampai 15 ‰ mengindikasikan bahwa kecepatan jatuh sedimen mengalami peningkatan dengan semakin tingginya salinitas, tetapi diatas salinitas 15 ‰ kecepatan jatuh makin rendah dengan meningkatnya salinitas.

Salinitas mempengaruhi lapisan difusi ganda yang mengelilingi partikel. Apabila salinitas meningkat maka lapisan difusi ganda yang mengelilingi partikel menjadi menipis, hal ini akan mengakibatkan jarak antar partikel menjadi lebih dekat dan timbul gaya Van der Waals sehingga sifat kohesif menjadi lebih kuat dan akan terbentuk flok baru yang lebih besar membuat kecepatan jatuh meningkat. (Krone, 1962)



Penelitian laboratorium memperlihatkan efek yang jelas pengaruh salinitas terhadap kecepatan jatuh pada salinitas sampai 10 ‰ dengan konsentrasi dibawah 1 mg/l (Krone, 1962). Pada konsentrasi di atas 1 mg/l, kecepatan jatuh meningkat relatif linier dengan salinitas yng diteliti (Owen, 1970; Allersma, 1967; lihat Gambar IV.11). Seperti terlihat pada Gambar IV.11, konsentrasi terbesar yang diteliti hanya sampai 5 mg/l. Sedangkan konsentrasi yang diuji dalam penelitian ini sampai konsentrasi  $\pm 18$  mg/l dan memperoleh kecepatan jatuh maksimum pada salinitas 15 ‰.



Gambar IV.11 Pengaruh salinitas pada kecepatan jatuh (Burt, 1984)

### Komposisi Mineral Lumpur

Hasil test dari analisis mineral lumpur muara Segara Anakan yang dikeluarkan oleh Laboratorium Kimia Mineral dan Lingkungan, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2004) adalah sebagai berikut :

Komposisi mineral : *Kaolinite* , Anorthit, Kuarsa .

Sebagian besar mineral adalah *kaolinite* dan yang paling rendah atau sedikit sekali adalah kuarsa.

Dari komposisi tersebut dapat diketahui luas permukaan dan nilai *cation exchange capacity* atau CEC (Winterwerp, 1989), dimana nilai tersebut adalah terendah bila dibandingkan dengan luas permukaan dan nilai CEC untuk *illite* dan *montmorillonite* (Tabel II.2). Dengan luas permukaan rendah dan CEC rendah berarti sifat menarik kation dan anion kecil mengakibatkan perlu konsentrasi yang lebih besar untuk terjadinya flokulasi optimum dalam usaha mencapai kecepatan jatuh maksimum bila dibandingkan dengan mineral *illite* dan *montmorillonite*. Hal ini bisa menyebabkan batas konsentrasi (4,25 gram/l) menjadi lebih besar dibandingkan yang diperoleh Thorn dalam Mehta (1984) yaitu 3,5 gram/l dan Mehta (1993) sebesar 3,0 gram/l.

### Viskositas

Berdasarkan hasil test yang dilakukan di Laboratorium Pertanian, Universitas Padjadjaran Bandung (2004), diperoleh:



Tabel IV.9 Konsentrasi dan viskositas

| Konsentrasi (gram/l) | Viskositas (mPa.s) |
|----------------------|--------------------|
| 0,2                  | 11,0               |
| 0,5                  | 11,2               |
| 1,0                  | 11,2               |
| 4,0                  | 11,4               |
| 6,0                  | 11,4               |
| 8,0                  | 11,4               |
| 10,0                 | 11,6               |
| 14,0                 | 11,8               |
| 17,0                 | 12,0               |
| 20,0                 | 12,2               |

Viskositas dari sedimen tersuspensi bervariasi dari 11,0 mPa.s sampai dengan 12,2 mPa.s, yang menunjukkan semakin besar konsentrasi maka semakin besar pula kekentalannya. Perbedaan viskositas antar konsentrasi sangat kecil. Yang menjadi perhatian adalah pada konsentrasi 4,0 – 8,0 gram/l mempunyai viskositas yang sama yaitu 11,4 mPa.s dan bisa ditarik kesimpulan bahwa viskositas mempunyai pengaruh yang sama untuk kecepatan jatuh pada konsentrasi tersebut yaitu pada batas konsentrasi tersebut (sekitar 4 gram/l) viskositas mulai berpengaruh dan memperlambat kecepatan jatuh. Pada konsentrasi dibawah 4,0 gram/l, viskositas belum begitu berpengaruh untuk kecepatan jatuh karena kecepatan jatuh pada konsentrasi tersebut masih meningkat. Pada konsentrasi diatas 8,0 gram/l, viskositas memperlambat kecepatan jatuh karena viskositas semakin besar atau kental.

## **Bab V Analisa Hubungan Kedalaman dengan Massa Jenis, Massa jenis Kering, Kadar Air, dan Tegangan Geser Kritis Erosi**

Tegangan geser kritis erosi yang pertama kali diperoleh dalam eksperimen adalah tegangan geser kritis erosi pada permukaan pertama atau permukaan sedimen yang dikonsolidasikan dalam tabung percobaan dan diberi nama dengan kedalaman 0 cm. Setelah diperoleh tegangan geser kritis erosinya maka lapisan setebal 1 cm sebagai permukaan pertama itu dibuang kemudian diambil sampel massa jenis dengan tebal 2 cm. Lalu dilanjutkan untuk memperoleh tegangan geser kritis erosi selanjutnya pada permukaan kedua atau permukaan dengan kedalaman -3,0 cm. Demikian pula selanjutnya untuk permukaan ketiga adalah permukaan dengan kedalaman -6,0 cm dan permukaan keempat adalah permukaan dengan kedalaman -9,0 cm.

### **V.1 Sedimen Sungai Citanduy**

#### **V.1.1 Sedimen 100% Lumpur**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perbedaan massa jenis untuk konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu tidak terlalu signifikan, tetapi pada konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu terjadi perbedaan cukup signifikan.

Massa jenis kering juga bertambah besar sesuai dengan kedalaman sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Pada konsolidasi 1 minggu nilainya untuk kedalaman 3 cm, 6 cm, dan 9 cm terjadi lompatan nilai yang cukup besar dibandingkan kedalaman 0 cm. Nilainya mendekati nilai pada konsolidasi 2 minggu.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut. Nilai kadar air untuk kedalaman 3 cm dan 6 cm besarnya sama untuk konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu



Tabel V.1 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 100%, 80%, 50% lumpur (Citanduy)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an (m) | 100 % lumpur   |                          |              |              | 80% lumpur     |                          |              |              | 60% lumpur     |                          |              |              |
|------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|
|                              |                         | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser |
| 1                            | 0                       | 1438.561       | 821.6024                 | 0.75         | 0.00001      | 1546.55        | 918.5773                 | 0.68         | 0.00414      | 1611.137       | 980.4496                 | 0.65         | 0.00973      |
|                              | -0.03                   | 1459.404       | 864.7497                 | 0.69         | 0.00017      | 1580.845       | 945.1422                 | 0.68         | 0.00636      | 1634.68        | 999.7969                 | 0.64         | 0.01372      |
|                              | -0.06                   | 1478.16        | 874.7921                 | 0.69         | 0.00032      | 1590.609       | 955.3942                 | 0.67         | 0.01735      | 1652.889       | 1012.578                 | 0.63         | 0.02728      |
|                              | -0.09                   | 1514.872       | 905.0815                 | 0.67         | 0.00057      |                |                          |              |              |                |                          |              |              |
| 2                            | 0                       | 1454.282       | 854.0671                 | 0.71         | 0.00011      | 1553.943       | 930.3615                 | 0.67         | 0.00535      | 1614.815       | 991.622                  | 0.63         | 0.01074      |
|                              | -0.03                   | 1463.684       | 866.2443                 | 0.69         | 0.00023      | 1603.173       | 958.557                  | 0.67         | 0.00718      | 1684.696       | 1060.686                 | 0.59         | 0.01583      |
|                              | -0.06                   | 1481.802       | 878.9364                 | 0.69         | 0.00038      | 1605.51        | 968.6815                 | 0.66         | 0.01968      | 1693.453       | 1074.134                 | 0.58         | 0.03680      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |                |                          |              |              |                |                          |              |              |
| 3                            | 0                       | 1498.981       | 890.0308                 | 0.68         | 0.00038      | 1575.32        | 973.8183                 | 0.62         | 0.00654      | 1655.657       | 1045.412                 | 0.58         | 0.01318      |
|                              | -0.03                   | 1521.644       | 906.6122                 | 0.68         | 0.00136      | 1604.908       | 993.329                  | 0.62         | 0.00924      | 1694.332       | 1080.244                 | 0.57         | 0.03208      |
|                              | -0.06                   | 1550.653       | 927.0467                 | 0.67         | 0.00168      | 1609.433       | 1027.11                  | 0.57         | 0.02281      | 1707.912       | 1095.491                 | 0.56         | 0.03855      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |                |                          |              |              |                |                          |              |              |
|                              |                         |                |                          |              |              |                |                          |              |              |                |                          |              |              |



Tabel V.2 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 50%, 40%, 20% lumpur (Citanduy)

| Konsolidasi (minggu) | Kedalaman (m) | 50 % lumpur |                    |           |           | 40% lumpur  |                    |           |           | 20% lumpur  |                    |           |           |
|----------------------|---------------|-------------|--------------------|-----------|-----------|-------------|--------------------|-----------|-----------|-------------|--------------------|-----------|-----------|
|                      |               | Massa jenis | Massa jenis Kering | Kadar air | Teg Geser | Massa jenis | Massa jenis Kering | Kadar air | Teg Geser | Massa jenis | Massa jenis Kering | Kadar air | Teg Geser |
| 1                    | 0             | 1632.866    | 993.6908           | 0.64      | 0.02070   | 1743.983    | 1208.792           | 0.44      | 0.00900   | 1729.708    | 1282.013           | 0.35      | 0.00698   |
|                      | -0.03         | 1660.466    | 1013.717           | 0.64      | 0.02500   | 1753.648    | 1220.873           | 0.44      | 0.01583   | 1736.06     | 1282.86            | 0.35      | 0.01048   |
|                      | -0.06         | 1662.052    | 1034.864           | 0.61      | 0.04127   | 1754.701    | 1228.07            | 0.43      | 0.03085   | 1748.16     | 1301.04            | 0.34      | 0.02580   |
|                      | -0.09         |             |                    |           |           |             |                    |           |           |             |                    |           |           |
| 2                    | 0             | 1660.36     | 1052.746           | 0.6       | 0.03291   | 1753.254    | 1217.901           | 0.44      | 0.01061   | 1796.629    | 1327.334           | 0.35      | 0.00769   |
|                      | -0.03         | 1678.16     | 1055.234           | 0.59      | 0.03680   | 1804.91     | 1251.472           | 0.44      | 0.01831   | 1803.749    | 1339.425           | 0.35      | 0.01139   |
|                      | -0.06         | 1685.76     | 1068.774           | 0.58      | 0.04227   | 1838.067    | 1289.658           | 0.43      | 0.04227   | 1971.6      | 1476.923           | 0.34      | 0.02728   |
|                      | -0.09         |             |                    |           |           |             |                    |           |           | 1990.946    | 1484.019           | 0.34      | 0.03185   |
| 3                    | 0             | 1704.645    | 1077.86            | 0.58      | 0.03721   | 1846.28     | 1301.521           | 0.42      | 0.01492   | 1943.94     | 1443.85            | 0.35      | 0.00853   |
|                      | -0.03         | 1745.843    | 1118.35            | 0.56      | 0.10457   | 1854.106    | 1307.18            | 0.42      | 0.08333   | 1974.209    | 1484.84            | 0.33      | 0.01234   |
|                      | -0.06         | 1779.548    | 1139.22            | 0.56      | 0.13649   | 1870.3      | 1313.895           | 0.42      | 0.10457   | 2005.84     | 1516.49            | 0.32      | 0.03085   |
|                      | -0.09         |             |                    |           |           |             |                    |           |           |             |                    |           |           |
|                      |               |             |                    |           |           |             |                    |           |           |             |                    |           |           |



Tabel V.3 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 10% lumpur (Citanduy)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an (m) | 10 % lumpur    |                          |              |              |
|------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|
|                              |                         | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser |
| 1                            | 0                       | 1740.271       | 1302.69                  | 0.34         | 0.00636      |
|                              | -0.03                   | 1824.082       | 1363.02                  | 0.34         | 0.00973      |
|                              | -0.06                   | 1854.633       | 1377.01                  | 0.34         | 0.02459      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
| 2                            | 0                       | 2015.86        | 1503.12                  | 0.34         | 0.00718      |
|                              | -0.03                   | 2034.869       | 1521.14                  | 0.34         | 0.01074      |
|                              | -0.06                   | 2044.389       | 1535.79                  | 0.33         | 0.02613      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
| 3                            | 0                       | 2025.223       | 1512.25                  | 0.34         | 0.00784      |
|                              | -0.03                   | 2037.238       | 1521.25                  | 0.34         | 0.01153      |
|                              | -0.06                   | 2116.832       | 1587.01                  | 0.33         | 0.02728      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
|                              |                         |                |                          |              |              |

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Terjadi lompatan nilai yang cukup signifikan pada konsolidasi 3 minggu, dimana nilainya tiba-tiba menjadi sangat besar. Data dapat dilihat pada Tabel V.1, V.2 dan V.3.

#### **V.1.2 Sedimen Campuran 80% Lumpur + 20% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perbedaan massa jenis untuk konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu cukup signifikan, dibandingkan dengan konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu. Terjadi loncatan nilainya dari kedalaman 0 cm dengan 3 cm.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Perbedaan tegangan tiap minggu cenderung konstan. Terjadi lompatan nilai yang cukup signifikan pada konsolidasi 3 minggu, dimana nilainya tiba-tiba menjadi sangat besar.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut. Perbedaan kadar air untuk 2 minggu dengan 3 minggu cukup jauh, dibandingkan perbedaannya untuk 1 minggu dengan 2 minggu.

#### **V.1.3 Sedimen Campuran 60% Lumpur + 40% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perbedaan massa jenis untuk konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu



pada kedalaman 0 cm berbeda dengan 3 cm dan 6 cm dan ini juga terjadi kebalikannya dengan konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu.

Massa jenis kering juga bersifat hampir sama dengan massa jenis diatas.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Terjadi lompatan nilai yang cukup signifikan pada konsolidasi 3 minggu, dimana nilainya tiba-tiba menjadi sangat besar.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut. Perbedaan kadar air tiap minggu cenderung konstan.

#### **V.1.4 Sedimen Campuran 50% Lumpur + 50% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perbedaan massa jenis untuk konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu tidak terlalu signifikan, tetapi keadaan ini berbeda dengan kondisi konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perbedaan massa jenis antar tiap minggu cenderung konstan..

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Terjadi lompatan nilai yang cukup signifikan pada konsolidasi 3 minggu pada kedalaman 3 cm dan 6 cm, dimana nilainya tiba-tiba menjadi sangat besar.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut. Perbedaan kadar air antar konsolidasi tiap minggu cenderung konstan

#### **V.1.5 Sedimen Campuran 40% Lumpur + 60% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Pada kedalaman 0 cm untuk konsolidasi 3 minggu terjadi loncatan nilai yang cukup besar. Pada kedalaman lainnya cenderung terjadi pertambahan massa jenis yang konstan.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Massa jenis kering juga bersifat hampir sama dengan massa jenis diatas.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Pada kedalaman 3 cm dan 6 cm untuk konsolidasi 3 minggu terjadi loncatan nilai yang cukup besar.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut. Kadar air 1 minggu dan 2 minggu besarnya cenderung sama untuk setiap kedalaman. Kadar air pada konsolidasi 3 minggu nilainya cenderung sama untuk setiap kedalaman.

#### **V.1.6 Sedimen Campuran 20% Lumpur + 80% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah



massa jenisnya. Pada kedalaman 6 cm terjadi loncatan nilai yang sangat besar, tetapi penambahannya kembali kecil lagi pada kedalaman 9 cm.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Pada kedalaman 6 cm terjadi loncatan nilai yang sangat besar, tetapi penambahannya kembali kecil lagi pada kedalaman 9 cm.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Besarnya relatif sama untuk semua konsolidasi. Tetapi terjadi loncatan nilai tegangan pada kedalaman 6 cm.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut. Kadar air 1 minggu dan 2 minggu besarnya cenderung sama untuk setiap kedalaman. Kadar air pada konsolidasi 3 minggu nilainya cenderung sama untuk setiap kedalaman.

#### **V.1.7 Sedimen Campuran 10% Lumpur + 90% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu nilainya cenderung sama. Perbedaan konsolidasi 1 minggu dengan 2 minggu cukup signifikan.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Hampir sama dengan massa jenis diatas.

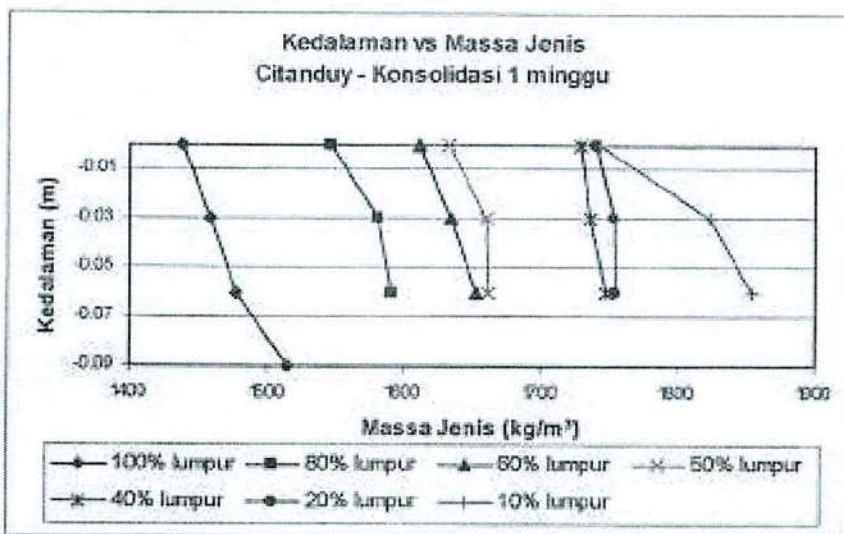
Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga

akan menambah tegangannya. Besarnya relatif sama untuk semua konsolidasi. Tetapi terjadi loncatan nilai tegangan pada kedalaman 6 cm.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut. Kadar air 1 minggu dan 2 minggu besarnya cenderung sama untuk setiap kedalaman. Kadar air pada kedalaman 0 cm dan 3 cm nilainya cenderung sama, hanya saja pada kedalaman 6 cm, pada konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu menjadi sangat besar.

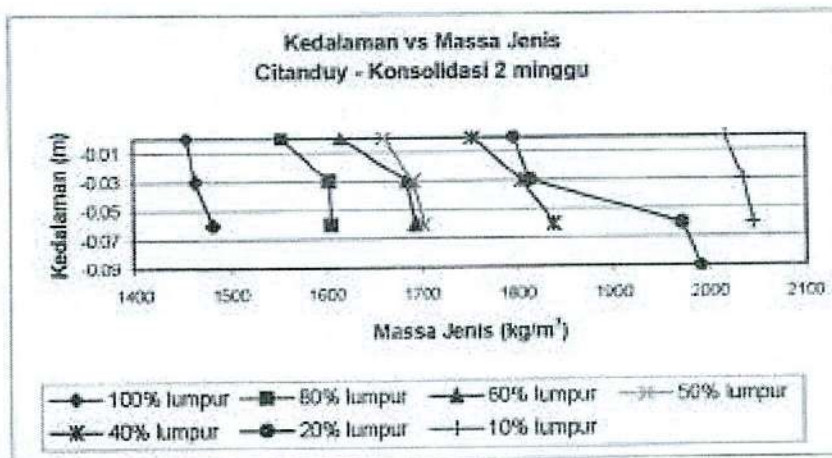
#### V.1.8 Hubungan Kedalaman Dengan Massa Jenis, Massa Jenis Kering, Tegangan Geser Kritis Erosi dan Kadar Air

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara kedalaman dengan massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi sebagai berikut:



Gambar V.1 Hubungan kedalaman dengan massa jenis (Citanduy – konsolidasi 1 minggu)





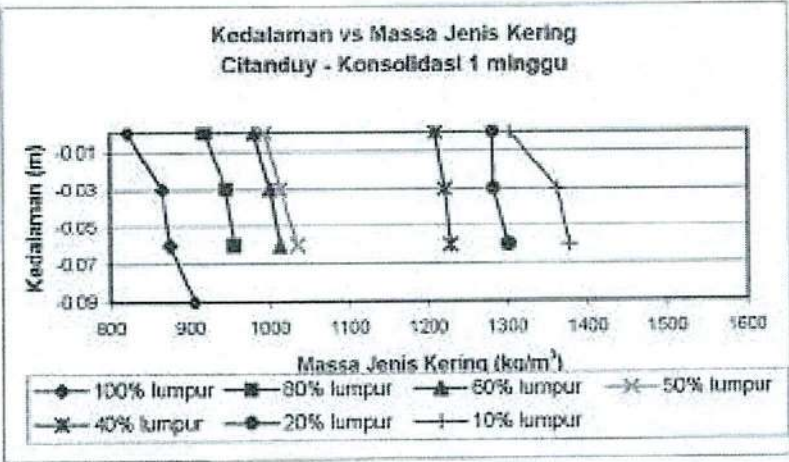
Gambar V.2 Hubungan kedalaman dengan massa jenis  
(Citanduy – konsolidasi 2 minggu)



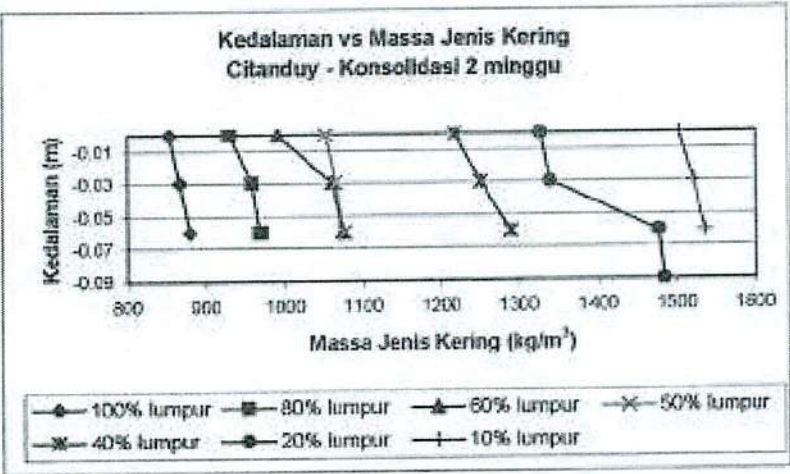
Gambar V.3 Hubungan kedalaman dengan massa jenis  
(Citanduy – konsolidasi 3 minggu)

Hubungan kedalaman dengan massa jenis dalam 7 komposisi sedimen campuran baik pada konsolidasi 1, 2 dan 3 minggu memperlihatkan bertambahnya komposisi pasir meningkatkan massa jenis. Seperti diketahui massa jenis pasir ( $G_s = 2,735$ ) lebih besar dari massa jenis lumpur ( $G_s = 2,668$ ) sehingga bertambahnya komposisi pasir akan meningkatkan massa jenis sedimen campuran tersebut.

Nilai massa jenis bertambah besar dengan meningkatnya kedalaman dan bertambahnya waktu konsolidasi. Bertambahnya kedalaman akan menambah beban (massa sendiri) bagi lapisan sedimen yang bawah sehingga lapisan sedimen bawah semakin padat dan massa jenis akan bertambah besar. Begitu pula dengan bertambahnya waktu konsolidasi (lihat Bab II.3.1.2) dimana konsolidasi adalah fenomena pemadatan dengan keluarnya air pori akibat massa sendiri (dalam penelitian pemadatan alami). Dengan demikian lapisan sedimen akan menjadi solid dan masif yang berdampak pada massa jenis akan bertambah (Teisson dkk dalam Mitchener dan Torfs, 1996).

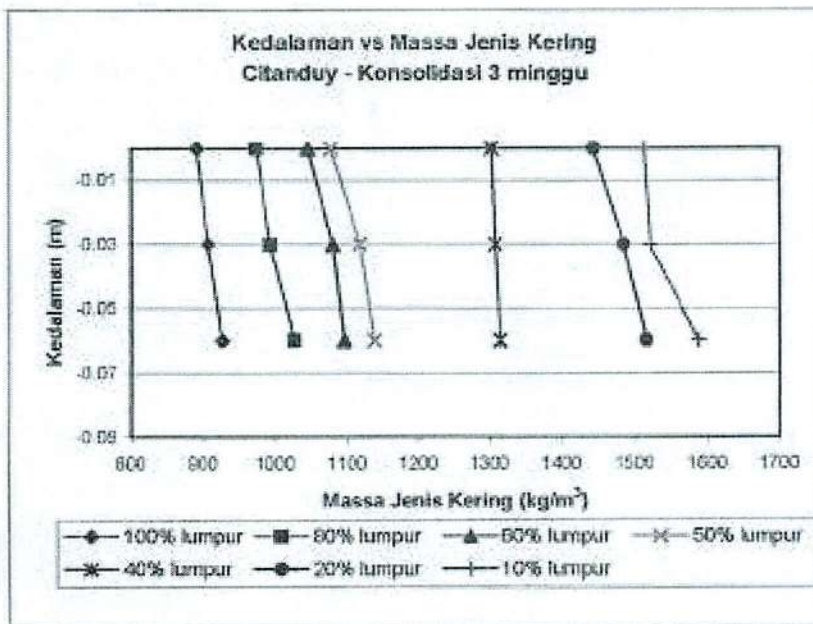


Gambar V.4 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Citanduy – konsolidasi 1 minggu)



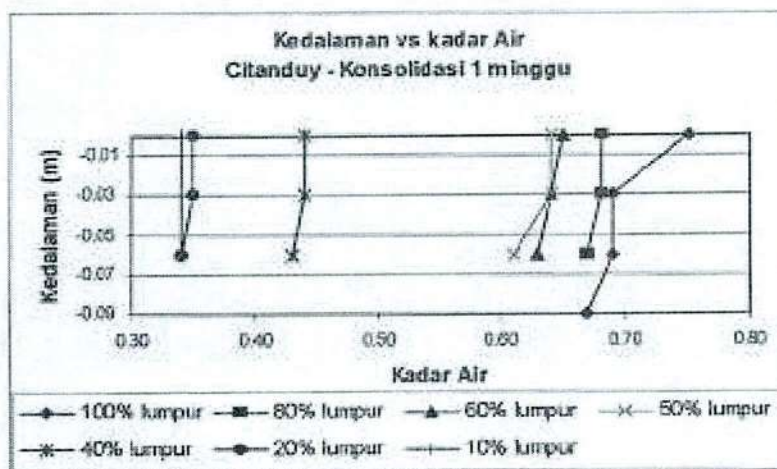
Gambar V.5 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Citanduy – konsolidasi 2 minggu)



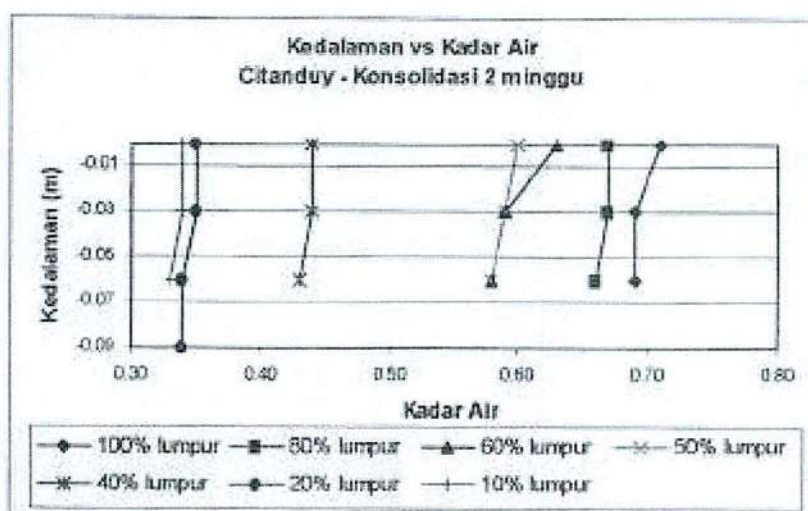


Gambar V.6 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Citanduy – konsolidasi 3 minggu)

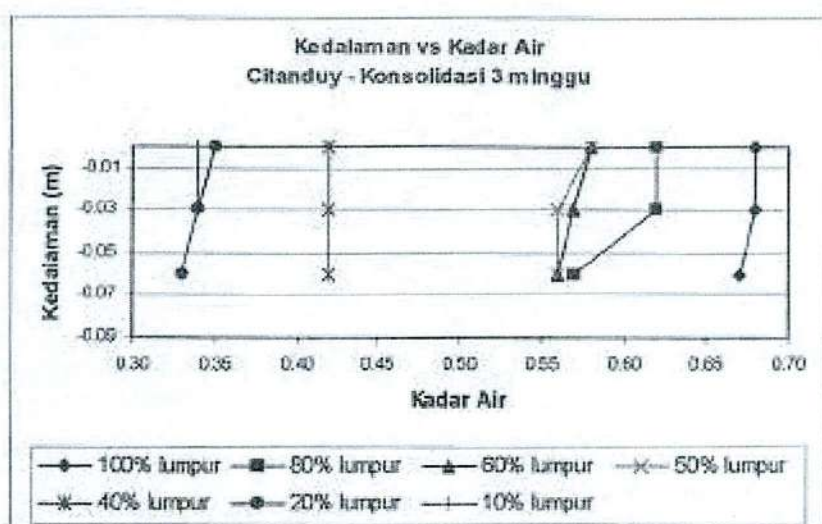
Sama halnya dengan massa jenis demikian juga hubungan kedalaman dengan massa jenis kering, perbedaan yang ada hanyalah pada nilai, nilai massa jenis kering tergantung dari kadar air yang terkandung dalam setiap lapisan sedimen pada tiap komposisi sedimen campuran dan pada setiap waktu konsolidasi.



Gambar V.7 Hubungan kedalaman dengan kadar air (Citanduy – konsolidasi 1 minggu)



Gambar V.8 Hubungan kedalaman dengan kadar air  
(Citanduy – konsolidasi 2 minggu)



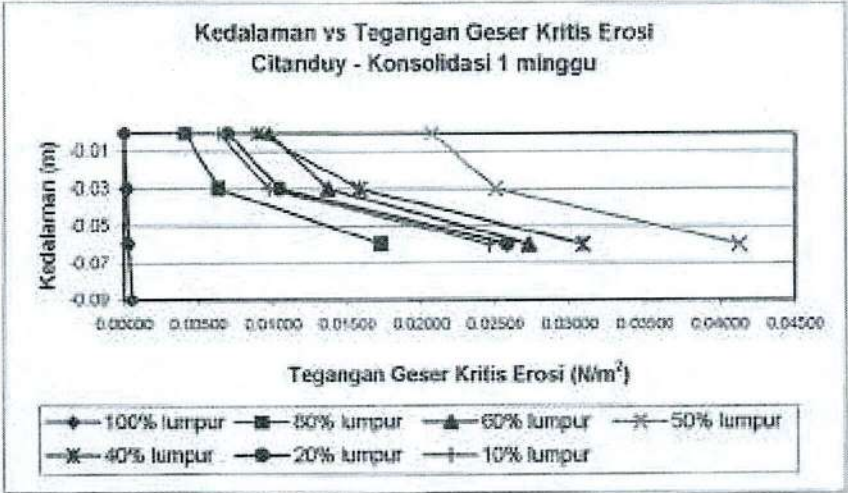
Gambar V.9 Hubungan kedalaman dengan kadar air  
(Citanduy – konsolidasi 3 minggu)

Hubungan kedalaman dengan kadar air pada tiap komposisi sedimen campuran pada umumnya memperlihatkan kadar air berkurang dengan bertambahnya kedalaman, karena pemadatan yang terjadi menyebabkan air pori keluar.

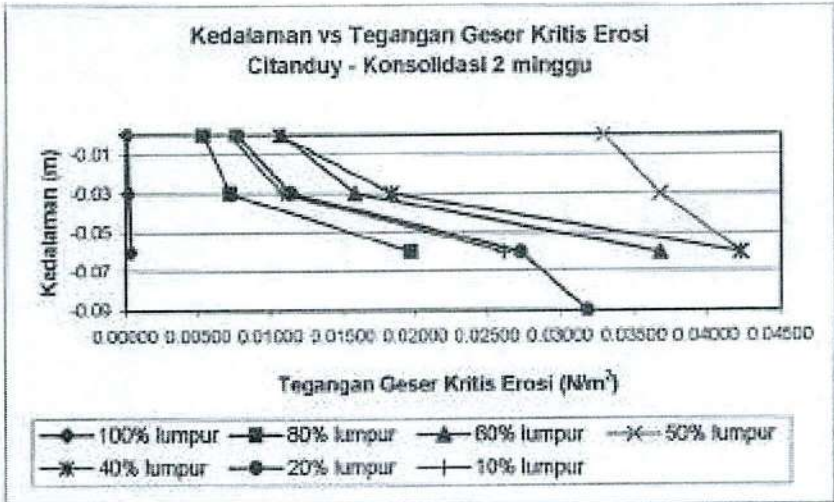
Dari Gambar V.7, V.8, V.9, kadar air untuk komposisi sedimen campuran 100%, 80%, 60% dan 50 % mempunya kadar air dengan kisaran 56% - 80% sedangkan komposisi campuran 40%, 20% dan 10% mempunyai kadar air dengan kisaran



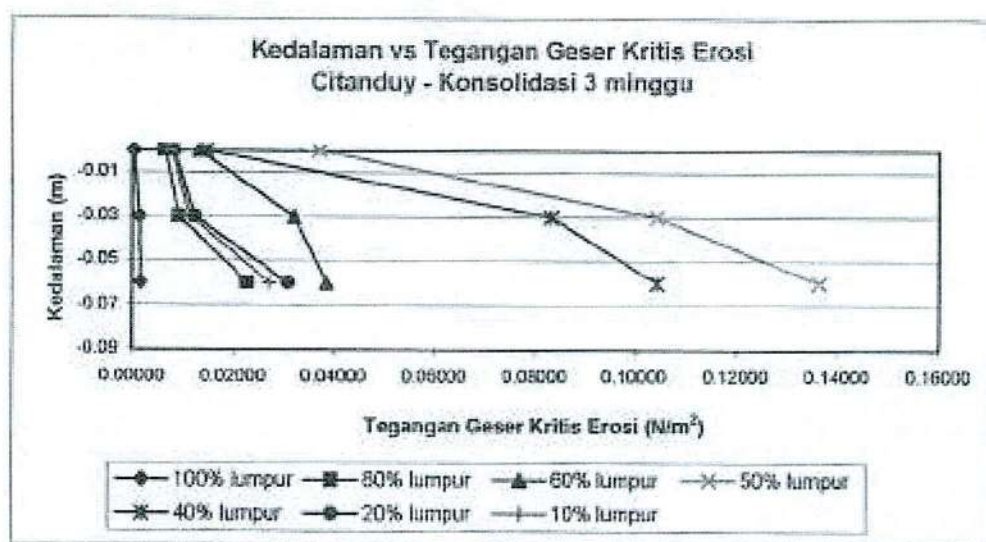
30% - 44%. Dengan demikian kadar air dapat juga menjadi menjadi salah satu faktor yang mendukung kuatnya ikatan antara pasir dan lumpur dimana tegangan geser kritis erosi maksimum yang dapat terjadi adalah pada komposisi campuran 50% lumpur + 50% pasir untuk sedimen sungai Citanduy.



Gambar V.10 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Citanduy – konsolidasi 1 minggu)



Gambar V.11 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Citanduy – konsolidasi 2 minggu)



Gambar V.12 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Citanduy – konsolidasi 3 minggu)

Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi pada setiap komposisi sedimen campuran memperlihatkan bertambahnya kedalaman menambah nilai tegangan geser kritis erosi, hal sesuai dengan bertambahnya massa jenis dengan semakin padatnya tiap lapisan dibawahnya. Dengan semakin padat maka kekuatan gesernya juga bertambah.

Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi pada waktu konsolidasi 1, 2 dan 3 minggu memperlihatkan bertambahnya komposisi pasir pada batas tertentu ( 50% pasir) membawa dampak bertambahnya tegangan geser kritis erosi. Setelah itu, kekuatan geser melemah karena berkurangnya ikatan yang diberikan sifat kohesif dari lumpur.

## V.2 Sedimen Sungai Cimanuk

### V.2.1 Sedimen 100% Lumpur

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perbedaan massa jenis pada konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu cukup signifikan dibandingkan dengan konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu.



Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar secara konstan sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perbedaan konsolidasi tiap minggu cenderung konstan.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar secara konstan sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Konsolidasi 2 minggu nilainya mendekati nilai tegangan pada konsolidasi 3 minggu.

Kadar air semakin lama semakin berkurang secara konstan, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut. Perbedaan kadar air tiap minggu cenderung konstan.

#### **V.2.2 Sedimen Campuran 80% Lumpur + 20% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Pada kedalaman 3 cm dan 6 cm pada konsolidasi 3 minggu terjadi loncatan nilai yang sangat besar.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Nilainya cenderung sama dengan massa jenis diatas.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Nilai tegangan geser kritis erosi pada konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu cenderung sama, kecuali pada kedalaman 6 cm.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut cenderung konstan.

Tabel V.4 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 100%, 80%, 60% lumpur (Cimanuk)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an (m) | 100 % lumpur   |                          |              |              | 80% lumpur     |                          |              |              | 60% lumpur     |                          |              |              |
|------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|
|                              |                         | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser |
| 1                            | 0                       | 1455.84        | 754.4509                 | 0.93         | 0.02500      | 1603.22        | 949.8117                 | 0.73         | 0.07788      | 1752.236       | 1103.223                 | 0.59         | 0.10457      |
|                              | -0.03                   | 1478.032       | 767.5623                 | 0.93         | 0.04127      | 1653.372       | 1014.488                 | 0.63         | 0.10863      | 1795.104       | 1183.18                  | 0.51         | 0.12766      |
|                              | -0.06                   | 1504.712       | 792.3889                 | 0.90         | 0.06913      | 1664.562       | 1020.55                  | 0.63         | 0.12766      | 1832.291       | 1220.37                  | 0.5          | 0.15956      |
|                              | -0.09                   | 1562.285       | 844.7748                 | 0.85         | 0.09859      |                |                          |              |              | 1841.63        | 1253.703                 | 0.47         | 0.19410      |
| 2                            | 0                       | 1547.183       | 818.0777                 | 0.89         | 0.05919      | 1635.92        | 1077.518                 | 0.52         | 0.08893      | 1762.818       | 1188.411                 | 0.48         | 0.10863      |
|                              | -0.03                   | 1548.864       | 822.4251                 | 0.88         | 0.09083      | 1669.211       | 1097.661                 | 0.52         | 0.11484      | 1804.091       | 1223.865                 | 0.47         | 0.16917      |
|                              | -0.06                   | 1554.505       | 836.4443                 | 0.86         | 0.11068      | 1695.872       | 1118.339                 | 0.52         | 0.13649      | 1846.47        | 1266.787                 | 0.46         | 0.18649      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |                |                          |              |              |                |                          |              |              |
| 3                            | 0                       | 1564.93        | 859.7849                 | 0.82         | 0.06743      | 1645.936       | 1090.879                 | 0.51         | 0.09468      | 1786.715       | 1226.481                 | 0.46         | 0.11484      |
|                              | -0.03                   | 1575.778       | 879.7758                 | 0.79         | 0.09468      | 1776.14        | 1201.94                  | 0.48         | 0.12118      | 1817.173       | 1252.257                 | 0.45         | 0.17160      |
|                              | -0.06                   | 1613.631       | 900.8836                 | 0.79         | 0.13426      | 1793.29        | 1220.462                 | 0.48         | 0.19666      | 1851.17        | 1286.667                 | 0.44         | 0.22298      |
|                              | -0.09                   | 1644.293       | 924.7685                 | 0.78         | 0.14785      | 1801.04        | 1227.978                 | 0.47         | 0.27621      |                |                          |              |              |
|                              |                         |                |                          |              |              |                |                          |              |              |                |                          |              |              |



Tabel V.5 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 50%, 40%, 20% lumpur (Cimanuk)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an (m) | 50 % lumpur    |                          |              |              | 40% lumpur     |                          |              |              | 20% lumpur     |                          |              |              |
|------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|
|                              |                         | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser |
| 1                            | 0                       | 1788.721       | 1198.014                 | 0.50         | 0.10863      | 1900.699       | 1390.39                  | 0.37         | 0.05446      | 1910.463       | 1407.603                 | 0.36         | 0.05140      |
|                              | -0.03                   | 1837.204       | 1242.606                 | 0.48         | 0.14099      | 1937.431       | 1420.611                 | 0.36         | 0.07433      | 1974.331       | 1469.119                 | 0.35         | 0.06743      |
|                              | -0.06                   | 1853.471       | 1263.568                 | 0.47         | 0.17405      | 1944.044       | 1429.64                  | 0.36         | 0.12118      | 2022.901       | 1522.69                  | 0.33         | 0.10457      |
|                              | -0.09                   | 1880.782       | 1290.535                 | 0.46         | 0.19666      | 1964.136       | 1444.747                 | 0.36         | 0.13649      | 2037.652       | 1535.46                  | 0.33         | 0.11484      |
| 2                            | 0                       | 1841.5         | 1243.392                 | 0.48         | 0.11275      | 1906.637       | 1397.953                 | 0.36         | 0.07610      | 1967.443       | 1515.496                 | 0.3          | 0.06743      |
|                              | -0.03                   | 1867.11        | 1271.517                 | 0.47         | 0.18397      | 1944.291       | 1444.388                 | 0.35         | 0.11068      | 1980.787       | 1526.518                 | 0.3          | 0.10457      |
|                              | -0.06                   | 1898.7         | 1316.251                 | 0.45         | 0.20967      | 1950.775       | 1451.516                 | 0.34         | 0.13205      | 2040.389       | 1575.082                 | 0.3          | 0.12548      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |                |                          |              |              | 2052.52        | 1588.475                 | 0.29         | 0.21230      |
| 3                            | 0                       | 1861.163       | 1273.219                 | 0.46         | 0.11694      | 1973.84        | 1461.662                 | 0.35         | 0.09663      | 2075.241       | 1599.327                 | 0.3          | 0.08519      |
|                              | -0.03                   | 1882.301       | 1297.418                 | 0.45         | 0.18649      | 2054.95        | 1527.824                 | 0.34         | 0.14785      | 2119.887       | 1637.451                 | 0.29         | 0.10863      |
|                              | -0.06                   | 1914.21        | 1360.537                 | 0.41         | 0.23658      | 2087.7         | 1575.819                 | 0.33         | 0.21230      | 2146.491       | 1658.938                 | 0.29         | 0.17160      |
|                              | -0.09                   | 1948.3         | 1380.853                 | 0.41         | 0.28794      |                |                          |              |              |                |                          |              |              |
|                              |                         |                |                          |              |              |                |                          |              |              |                |                          |              |              |

Tabel V.6 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 10% lumpur (Cimanuk)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an (m) | 10 % lumpur    |                          |              |              |
|------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|
|                              |                         | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser |
| 1                            | 0                       | 2064.348       | 1597.45                  | 0.29         | 0.04841      |
|                              | -0.03                   | 2127.216       | 1644.53                  | 0.29         | 0.05919      |
|                              | -0.06                   | 2172.105       | 1692.41                  | 0.28         | 0.09663      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
| 2                            | 0                       | 2120.04        | 1656.74                  | 0.28         | 0.04990      |
|                              | -0.03                   | 2172.03        | 1700.3                   | 0.28         | 0.06743      |
|                              | -0.06                   | 2192.1         | 1724.64                  | 0.27         | 0.10457      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
| 3                            | 0                       | 2130.694       | 1664.57                  | 0.28         | 0.05140      |
|                              | -0.03                   | 2214.028       | 1750.84                  | 0.27         | 0.07085      |
|                              | -0.06                   | 2242.555       | 1761.47                  | 0.27         | 0.12118      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
|                              |                         |                |                          |              |              |



### **V.2.3 Sedimen Campuran 60% Lumpur + 40% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Setiap kedalaman cenderung sama perubahan nilainya dengan konsolidasi yang juga relatif konstan

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Nilainya cenderung sama dengan massa jenis di atas.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Nilainya cenderung konstan, hanya saja pada kedalaman 6 cm dengan konsolidasi 2 minggu nilainya cenderung sama dengan konsolidasi 3 minggu.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut dan cenderung konstan. Nilainya cenderung relatif konstan hanya pada kedalaman 0 cm untuk konsolidasi 1 minggu kadar airnya agak besar..

### **V.2.4 Sedimen Campuran 50% Lumpur + 50% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Setiap kedalaman cenderung sama perubahan nilainya dengan konsolidasi yang juga relatif konstan

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Nilainya cenderung sama dengan massa jenis di atas, kecuali pada kedalaman 6 cm dengan konsolidasi 3 minggu.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Nilainya cenderung konstan, kecuali pada kedalaman 6 cm dengan konsolidasi 2 minggu nilainya cenderung sama dengan konsolidasi 3 minggu.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut dan cenderung konstan. Nilainya cenderung relatif konstan kecuali pada kedalaman 6 cm untuk konsolidasi 3 minggu dan kembali konstan pada kedalaman 9 cm.

#### **V.2.5 Sedimen Campuran 40% Lumpur + 60% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Nilai untuk konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu cenderung sama, tetapi berbeda jauh dengan konsolidasi 3 minggu.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Nilainya cenderung sama dengan massa jenis di atas.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Nilainya cenderung konstan untuk setiap kedalaman dan setiap konsolidasi.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut dan cenderung konstan. Nilainya cenderung relatif konstan untuk setiap kedalaman dan konsolidasi, kecuali pada konsolidasi 1 minggu dimana untuk kedalaman 3 cm, 6 cm, dan 9 cm nilai kadar airnya sama.



#### **V.2.6 Sedimen Campuran 20% Lumpur + 80% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perubahan terhadap kedalaman relatif sama. Perubahan nilainya dengan konsolidasi berbeda jauh pada 3 minggu.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahan terhadap kedalaman dan konsolidasi relatif sama.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Nilainya cenderung konstan, kecuali pada kedalaman 9 cm dengan konsolidasi 2 minggu nilainya jauh lebih besar.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut dan cenderung konstan. Nilainya pada konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu cenderung sama, tetapi jauh berbeda pada konsolidasi 1 minggu.

#### **V.2.7 Sedimen Campuran 10% Lumpur + 90% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perubahan massa jenis terhadap kedalaman dan konsolidasi relatif konstan, kecuali pada kedalaman 0 cm untuk konsolidasi 2 minggu nilainya mendekati konsolidasi 3 minggu.

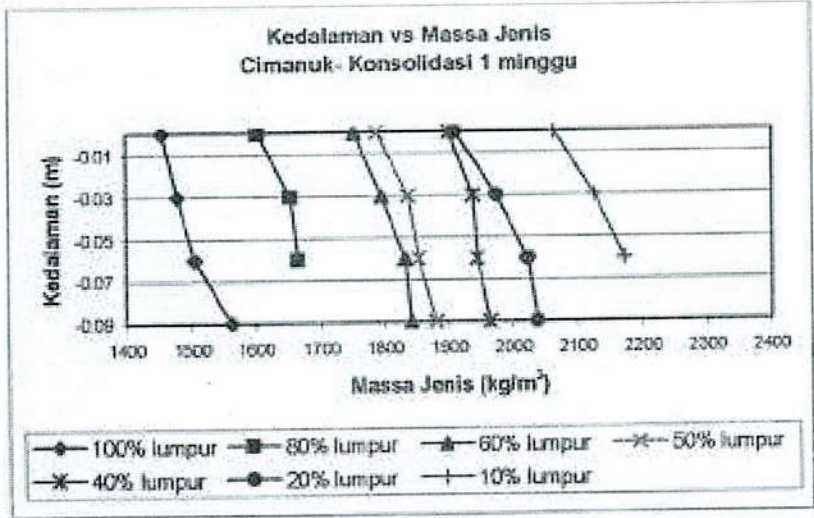
Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahan sama dengan perubahan pada massa jenis di atas.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar secara konstan sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Perubahan nilainya cenderung konstan.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut dan cenderung konstan. Nilainya sama pada kedalaman 0 cm dan 3 cm untuk konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu, tetapi berbeda pada konsolidasi 3 minggu yang nilainya sama adalah kedalaman pada 3 cm dan 6 cm.

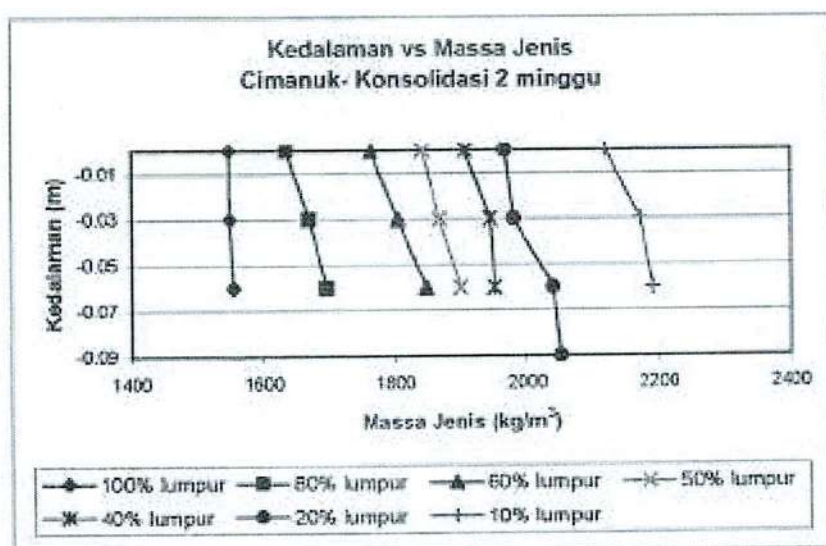
### V.2.8 Hubungan Kedalaman Dengan Massa Jenis, Massa Jenis Kering, Tegangan Geser Kritis Erosi dan Kadar Air

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara kedalaman dengan massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi sebagai berikut:

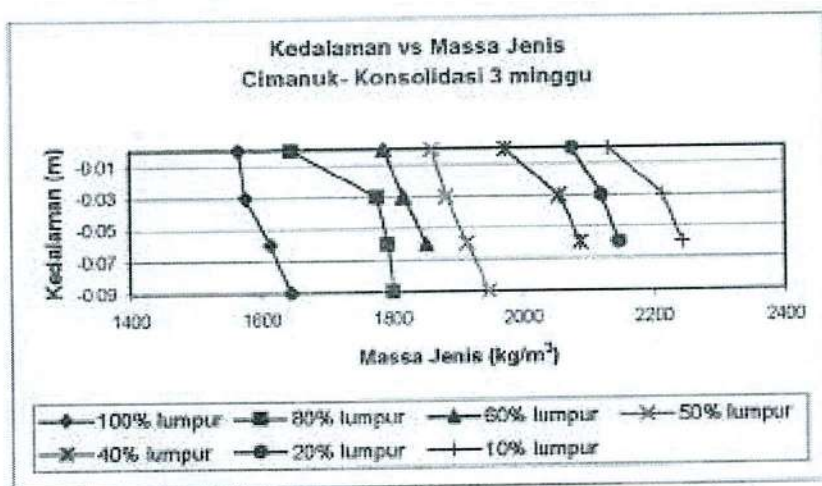


Gambar V.13 Hubungan kedalaman dengan massa jenis (Cimanuk – konsolidasi 1 minggu)





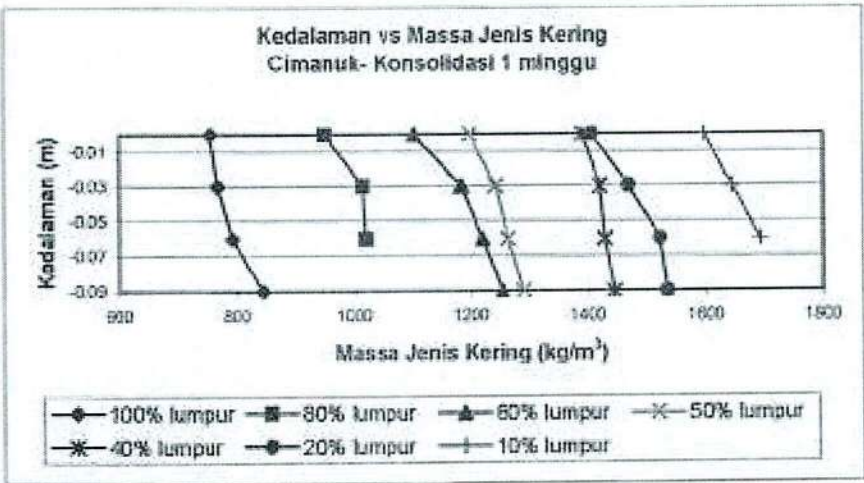
Gambar V.14 Hubungan kedalaman dengan massa jenis  
(Cimanuk – konsolidasi 2 minggu)



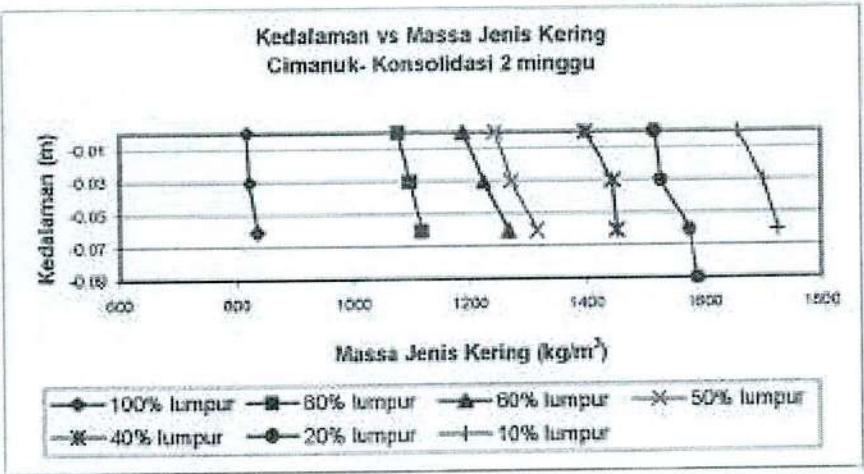
Gambar V.15 Hubungan kedalaman dengan massa jenis  
(Cimanuk – konsolidasi 3 minggu)

Hubungan kedalaman dengan massa jenis dalam 7 komposisi sedimen campuran baik pada konsolidasi 1, 2 dan 3 minggu memperlihatkan bertambahnya komposisi pasir meningkatkan massa jenis.

Seperti halnya pada sedimen Citanduy, nilai massa jenis bertambah besar dengan meningkatnya kedalaman dan bertambahnya waktu konsolidasi. Nilai massa jenis sedimen Cimanuk lebih besar dari nilai massa jenis sedimen Citanduy.

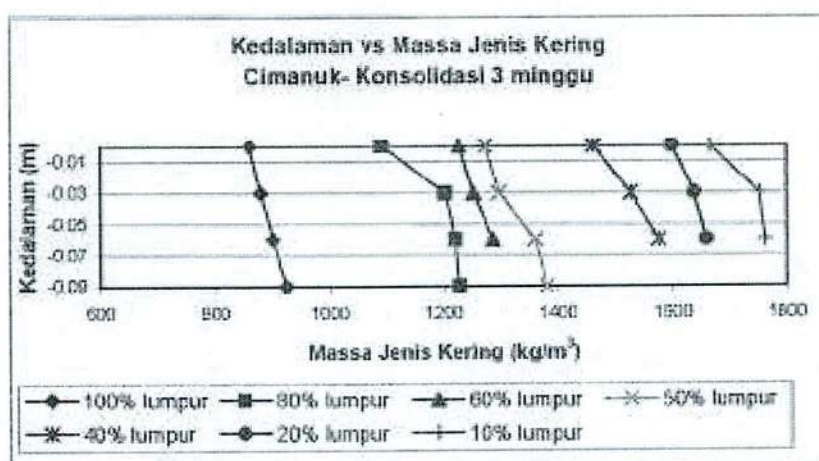


Gambar V.16 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Cimanuk – konsolidasi 1 minggu)



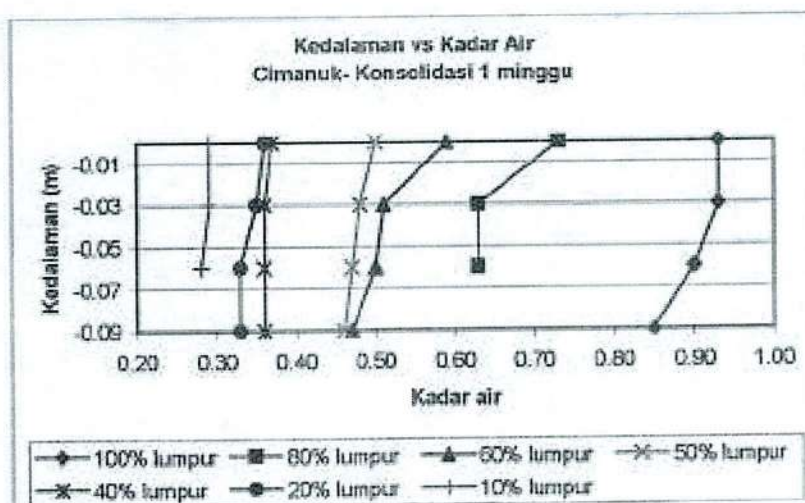
Gambar V.17 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Cimanuk – konsolidasi 2 minggu)



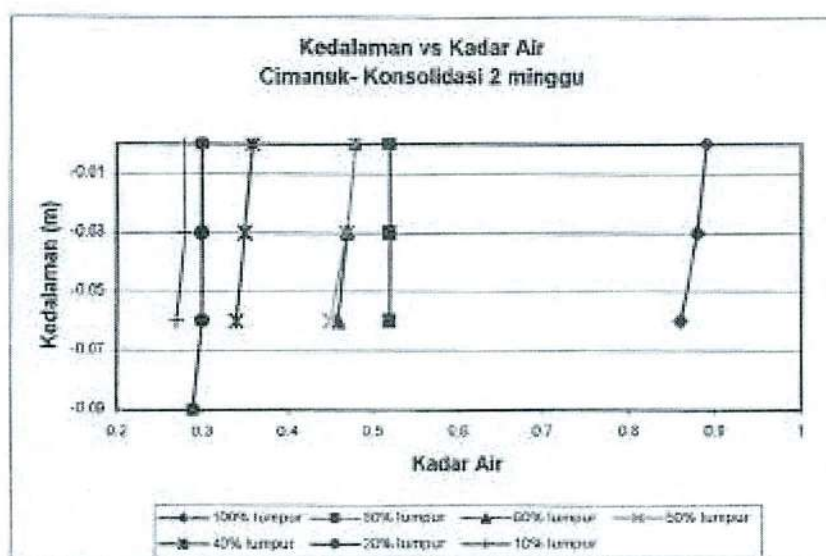


Gambar V.18 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Cimanuk – konsolidasi 3 minggu)

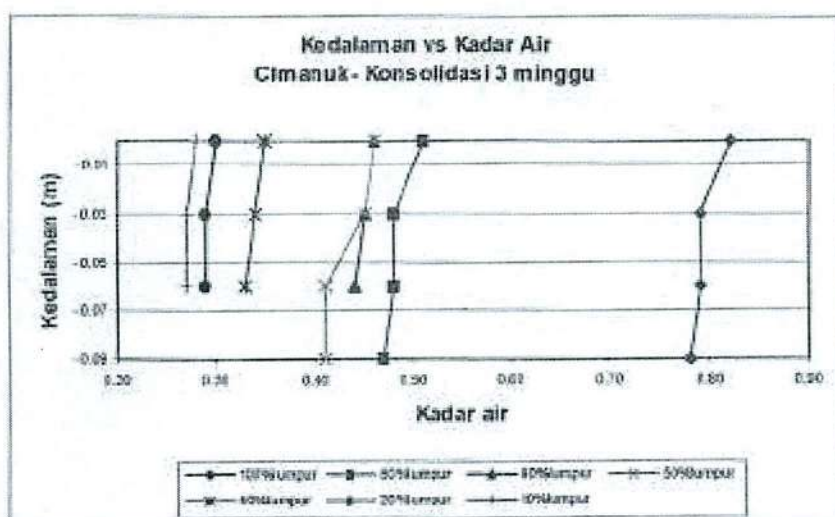
Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering seperti halnya hubungan kedalaman dengan massa jenis, perbedaan yang ada hanyalah pada nilai, nilai massa jenis tergantung dari kadar air yang terkandung dalam setiap lapisan sedimen pada tiap komposisi sedimen campuran dan pada setiap waktu konsolidasi.



Gambar V.19 Hubungan kedalaman dengan kadar air (Cimanuk – konsolidasi 1 minggu)



Gambar V.20 Hubungan kedalaman dengan kadar air (Cimanuk – konsolidasi 2 minggu)



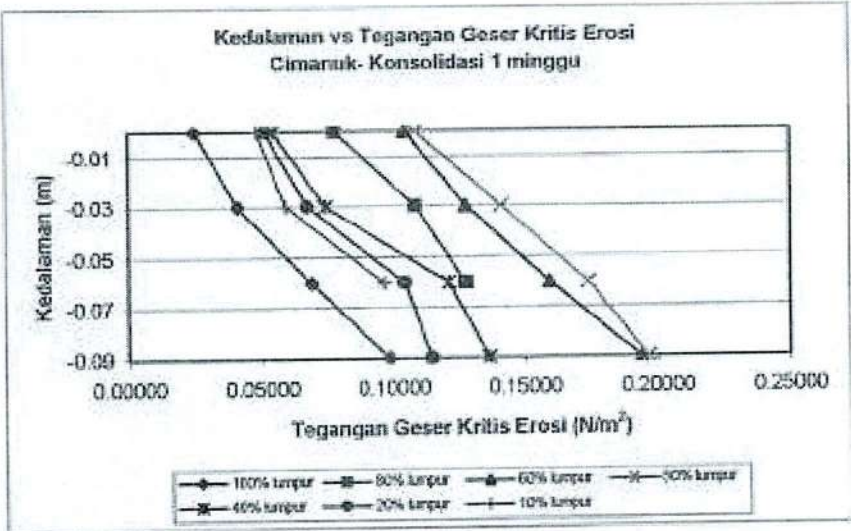
Gambar V.21 Hubungan kedalaman dengan kadar air (Cimanuk – konsolidasi 3 minggu)

Seperti halnya pada sedimen campuran Citanduy, hubungan kedalaman dengan kadar air pada tiap komposisi sedimen campuran pada umumnya memperlihatkan kadar air berkurang dengan bertambahnya kedalaman, karena pemadatan yang terjadi menyebabkan air pori keluar, meskipun demikian bisa saja terjadi kadar air



yang sama seperti pada komposisi campuran 50% dan 60% karena campuran antara keduanya hanya berbeda sedikit.

Dari Gambar V.19, V.20, V.21, kadar air untuk komposisi sedimen campuran 80%, 60% dan 50 % mempunyai kadar air dengan kisaran 40% - 75% sedangkan komposisi campuran 40%, 20% dan 10% mempunyai kadar air dengan kisaran 20% - 40%, terlihat seperti adanya 3 kelompok dengan 100% terpisah sendiri. Dengan demikian kadar air dapat juga menjadi menjadi salah satu faktor yang mendukung kuatnya ikatan antara pasir dan lumpur dimana tegangan geser kritis erosi maksimum yang dapat terjadi adalah pada komposisi campuran 50% lumpur + 50% pasir.



Gambar V.22 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Cimanuk – konsolidasi 1 minggu)



Gambar V.23 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Cimanuk – konsolidasi 2 minggu)



Gambar V.24 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Cimanuk – konsolidasi 3 minggu)

Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi pada setiap komposisi sedimen campuran memperlihatkan bertambahnya kedalaman menambah nilai tegangan geser kritis erosi, hal ini sesuai dengan bertambahnya massa jenis dengan makin padatnya tiap lapisan dibawahnya. Dengan makin padat maka kekuatan gesernya juga bertambah.



Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi pada waktu konsolidasi 1, 2 dan 3 minggu memperlihatkan bertambahnya komposisi pasir pada batas tertentu ( 50% pasir) membawa dampak bertambahnya tegangan geser kritis erosi. Setelah itu, kekuatan geser melemah karena berkurangnya ikatan yang diberikan sifat kohesif dari lumpur. Walaupun sedimen Cimanuk mengandung mineral *montmorillonite* yang mempunyai CEC yang cukup besar dibanding mineral *kaolinite* yang ada pada sedimen Citanduy tetapi gradasi pasir sedimen Cimanuk lebih kasar dibanding sedimen Citanduy yaitu pada ukuran 0,075 – 0,15 mm adalah 15,94% dan ukuran 0,15 – 0,30 mm adalah 58, 57% dengan  $D_{60} = 0,24$  mm sedangkan gradasi pasir sedimen Citanduy yaitu pada ukuran 0,075 – 0,15 mm adalah 29,82% dan ukuran 0,15 – 0,30 mm adalah 57, 26% dengan  $D_{60} = 0,21$  mm. Sedimen pasir dengan gradasi lebih kasar dapat mengurangi ikatan dengan lumpur dibandingkan dengan gradasi yang lebih halus.

### V.3 Sedimen Sungai Ciasem

#### V.3.1 Sedimen 100% Lumpur

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perubahan terhadap kedalaman dan konsolidasi relatif konstan, kecuali pada kedalaman 6 cm untuk konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahannya sama dengan perubahan pada massa jenis.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Perubahan nilainya cenderung konstan untuk kedalaman, hanya pada konsolidasi 2 minggu perubahannya relatif menurun.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut cenderung konstan. Terjadi loncatan nilai pada kedalaman 9 cm.

### **V.3.2 Sedimen Campuran 80% Lumpur + 20% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Pada kedalaman 0 cm dengan konsolidasi 1 minggu nilainya sangat kecil, selain itu keseluruhan relatif konstan.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahannya sama dengan perubahan pada massa jenis.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Perubahan nilainya cenderung konstan untuk kedalaman dan konsolidasi.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut cenderung konstan. Nilai kadar air pada konsolidasi 2 minggu mendekati nilai konsolidasi 3 minggu untuk setiap kedalamannya.



Tabel V.7 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 100%, 80%, 60% lumpur (Ciasem)

| Konsolidasi<br>(minggu) | Kedalaman<br>(m) | 100 % lumpur |                    |           |           | 80% lumpur  |                    |           |           | 60% lumpur  |                    |           |           |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------------|-----------|-----------|-------------|--------------------|-----------|-----------|-------------|--------------------|-----------|-----------|
|                         |                  | Massa jenis  | Massa jenis Kering | Kadar air | Teg Geser | Massa jenis | Massa jenis Kering | Kadar air | Teg Geser | Massa jenis | Massa jenis Kering | Kadar air | Teg Geser |
| 1                       | 0                | 1219.009     | 439.8017           | 1.78      | 0.00204   | 1596.818    | 967.6092           | 0.66      | 0.02500   | 1768.679    | 1182.46            | 0.50      | 0.01074   |
|                         | -0.03            | 1304.326     | 481.8056           | 1.72      | 0.03721   | 1789.655    | 1126.673           | 0.59      | 0.06243   | 1799.906    | 1196.574           | 0.50      | 0.06743   |
|                         | -0.06            | 1315.12      | 491.0172           | 1.71      | 0.05602   | 1794.45     | 1165.356           | 0.54      | 0.06913   | 1810.097    | 1212.37            | 0.49      | 0.08333   |
|                         | -0.09            |              |                    |           |           | 1798.778    | 1186.656           | 0.52      | 0.07085   | 1819.458    | 1218.712           | 0.49      | 0.10863   |
| 2                       | 0                | 1356.989     | 508.2756           | 1.70      | 0.03721   | 1762.932    | 1159.677           | 0.52      | 0.03085   | 1781.181    | 1186.244           | 0.50      | 0.05919   |
|                         | -0.03            | 1368.104     | 516.0562           | 1.65      | 0.05446   | 1829.312    | 1226.473           | 0.49      | 0.06743   | 1848.958    | 1226.473           | 0.49      | 0.08519   |
|                         | -0.06            | 1385.85      | 538.3035           | 1.58      | 0.06408   | 1852.885    | 1257.642           | 0.48      | 0.10457   | 1883.458    | 1257.642           | 0.48      | 0.14785   |
|                         | -0.09            | 1464.355     | 611.3598           | 1.40      | 0.07085   |             |                    |           |           |             |                    |           |           |
| 3                       | 0                | 1363.936     | 522.6783           | 1.61      | 0.07433   | 1809.174    | 1226.874           | 0.5       | 0.08519   | 1846.244    | 1238.63            | 0.50      | 0.09859   |
|                         | -0.03            | 1391.261     | 538.7592           | 1.59      | 0.10863   | 1840.514    | 1248.578           | 0.48      | 0.14785   | 1857.991    | 1255.004           | 0.48      | 0.19666   |
|                         | -0.06            | 1438.141     | 564.2541           | 1.58      | 0.15017   | 1913.873    | 1311.434           | 0.46      | 0.19666   | 1922.759    | 1322.063           | 0.46      | 0.23934   |
|                         | -0.09            | 1571.192     | 663.2163           | 1.37      | 0.18397   |             |                    |           |           | 1939.443    | 1330.257           | 0.46      | 0.25896   |
|                         |                  |              |                    |           |           |             |                    |           |           |             |                    |           |           |



Tabel V.8 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 50%, 40%, 20% lumpur (Ciasem)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an (m) | 50 % lumpur    |                          |              |              | 40% lumpur     |                          |              |              | 20% lumpur     |                          |              |              |
|------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|
|                              |                         | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser |
| 1                            | 0                       | 1806.356       | 1214.355                 | 0.49         | 0.03085      | 1840.555       | 1232.348                 | 0.50         | 0.03461      | 1951.494       | 1429.307                 | 0.37         | 0.02845      |
|                              | -0.03                   | 1852.8         | 1249.113                 | 0.48         | 0.09468      | 1873.364       | 1285.06                  | 0.46         | 0.12118      | 1972.394       | 1488.096                 | 0.33         | 0.07085      |
|                              | -0.06                   | 1860.881       | 1263.969                 | 0.47         | 0.12766      | 1935.562       | 1339.352                 | 0.45         | 0.21495      | 2010.602       | 1519.757                 | 0.32         | 0.08519      |
|                              | -0.09                   | 1870.411       | 1287.115                 | 0.45         | 0.16917      |                |                          |              |              |                |                          |              |              |
| 2                            | 0                       | 1830.61        | 1267.086                 | 0.44         | 0.06743      | 1868.007       | 1286.25                  | 0.44         | 0.12548      | 1984.178       | 1500.617                 | 0.32         | 0.05602      |
|                              | -0.03                   | 1872.371       | 1299.486                 | 0.44         | 0.10863      | 1923.656       | 1339.683                 | 0.44         | 0.20967      | 2035.49        | 1544.501                 | 0.32         | 0.07788      |
|                              | -0.06                   | 1900.456       | 1317.061                 | 0.44         | 0.17160      | 1953.987       | 1365.144                 | 0.43         | 0.26180      | 2073.34        | 1583.237                 | 0.31         | 0.11275      |
|                              | -0.09                   | 1909.578       | 1331.600                 | 0.43         | 0.18147      |                |                          |              |              |                |                          |              |              |
| 3                            | 0                       | 1849.966       | 1292.221                 | 0.44         | 0.10457      | 1869.335       | 1295.455                 | 0.44         | 0.13649      | 2013.876       | 1527.15                  | 0.32         | 0.10056      |
|                              | -0.03                   | 1877.673       | 1311.317                 | 0.43         | 0.20967      | 1948.347       | 1361.615                 | 0.43         | 0.22298      | 2157.788       | 1640.282                 | 0.32         | 0.17160      |
|                              | -0.06                   | 1950.431       | 1373.518                 | 0.42         | 0.25329      | 2000.93        | 1446.468                 | 0.39         | 0.27913      | 2163.14        | 1648.816                 | 0.31         | 0.21495      |
|                              | -0.09                   | 1952.395       | 1374.867                 | 0.42         | 0.27913      | 2030.372       | 1460.168                 | 0.39         | 0.34909      |                |                          |              |              |
|                              |                         |                |                          |              |              |                |                          |              |              |                |                          |              |              |



Tabel V.9 Kedalaman, massa jenis, massa jenis kering, kadar air, dan tegangan geser kritis erosi pada sedimen 10% lumpur (Ciasem)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an (m) | 10 % lumpur    |                          |              |              |
|------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------|
|                              |                         | Massa<br>jenis | Massa<br>jenis<br>Kering | Kadar<br>air | Teg<br>Geser |
| 1                            | 0                       | 1964.735       | 1452.54                  | 0.35         | 0.01492      |
|                              | -0.03                   | 2120.71        | 1621.85                  | 0.31         | 0.01676      |
|                              | -0.06                   | 2160.417       | 1653.00                  | 0.31         | 0.01676      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
| 2                            | 0                       | 2100.468       | 1587.54                  | 0.32         | 0.02845      |
|                              | -0.03                   | 2125.872       | 1651.59                  | 0.29         | 0.02964      |
|                              | -0.06                   | 2197.605       | 1711.73                  | 0.28         | 0.04695      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
| 3                            | 0                       | 2118.86        | 1655.56                  | 0.28         | 0.03721      |
|                              | -0.03                   | 2182.586       | 1717.71                  | 0.27         | 0.07968      |
|                              | -0.06                   | 2201.965       | 1740.94                  | 0.27         | 0.13205      |
|                              | -0.09                   |                |                          |              |              |
|                              |                         |                |                          |              |              |

### **V.3.3 Sedimen Campuran 60% Lumpur + 40% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Terjadi loncatan pada konsolidasi 2 minggu dengan kedalaman 3 cm dan konsolidasi 3 minggu dengan kedalaman 6 cm.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahannya sama dengan perubahan pada massa jenis.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Perubahan nilainya cenderung konstan untuk setiap kedalaman dan konsolidasi.

Kadar air semakin lama semakin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut cenderung konstan. Nilai kadar airnya sama pada kedalaman 0 cm untuk setiap konsolidasi. Jadi hanya perbedaan laju perubahan terhadap kedalaman.

### **V.3.4 Sedimen Campuran 50% Lumpur + 50% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perubahan terhadap kedalaman dan konsolidasi relatif konstan, kecuali pada kedalaman 6 cm untuk konsolidasi 3 minggu.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahannya sama dengan perubahan pada massa jenis.



Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Perubahan nilainya cenderung konstan untuk kedalaman, hanya pada konsolidasi 3 minggu mulai kedalaman 3 cm terjadi loncatan nilai tegangan.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut dan cenderung konstan. Hanya saja pada kedalaman 0 cm, 3 cm, dan 6 cm pada konsolidasi 2 minggu nilainya sama.

#### **V.3.5 Sedimen Campuran 40% Lumpur + 60% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perubahan terhadap kedalaman dan konsolidasi relatif konstan.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahan terhadap kedalaman dan konsolidasi relatif konstan kecuali pada kedalaman 9 cm dengan konsolidasi 3 minggu dimana perubahannya semakin kecil

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Perubahan nilainya cenderung konstan untuk kedalaman dan konsolidasi. Nilai tegangan geser pada konsolidasi 2 minggu mendekati konsolidasi 3 minggu.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut dan cenderung konstan. Nilai pada kedalaman 0 cm sama untuk konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu.

#### **V.3.6 Sedimen Campuran 20% Lumpur + 80% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perubahan terhadap kedalaman dan konsolidasi relatif konstan, kecuali terjadi loncatan nilai pada kedalaman 3 cm dengan konsolidasi 3 minggu.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahannya cenderung sama dengan perubahan pada massa jenis.

Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Nilai konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu cenderung sama, dimana konsolidasi 1 minggu jauh lebih kecil dari keduanya terutama pada kedalaman 0 cm.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut dan cenderung konstan. Nilai pada kedalaman 0 cm sama untuk konsolidasi 2 minggu dan 3 minggu.

#### **V.3.7 Sedimen Campuran 10% Lumpur + 90% Pasir**

Massa jenis cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenisnya. Perubahan terhadap kedalaman dan konsolidasi relatif konstan, kecuali pada kedalaman 0 cm dengan konsolidasi 1 minggu nilainya jauh lebih kecil.

Massa jenis kering juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Semakin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah massa jenis keringnya. Perubahannya cenderung sama dengan perubahan pada massa jenis.



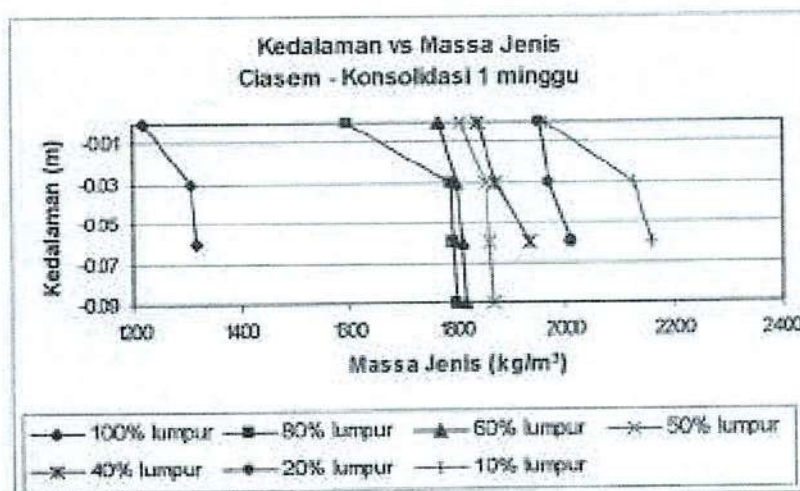
Tegangan geser kritis erosi juga cenderung bertambah besar sesuai dengan kedalaman dari pada sampel tersebut. Makin lama konsolidasi yang terjadi juga akan menambah tegangannya. Tingkat perubahan pada kedalaman semakin besar terhadap konsolidasinya.

Kadar air makin lama makin berkurang, sesuai juga dengan kedalaman pada sampel tersebut cenderung konstan. Nilainya relatif kecil pada kedalaman 0 cm untuk konsolidasi 1 minggu dan 2 minggu.

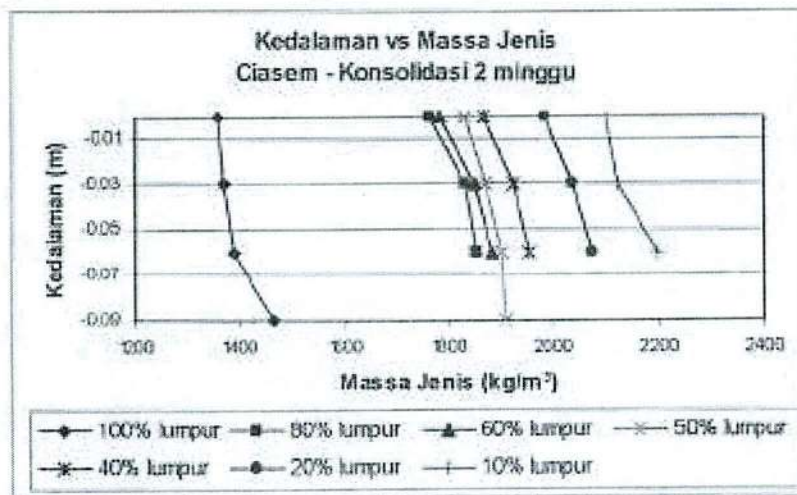
### V.3.8 Hubungan Kedalaman Dengan Massa Jenis, Massa Jenis Kering,

#### Tegangan Geser Kritis Erosi dan Kadar Air

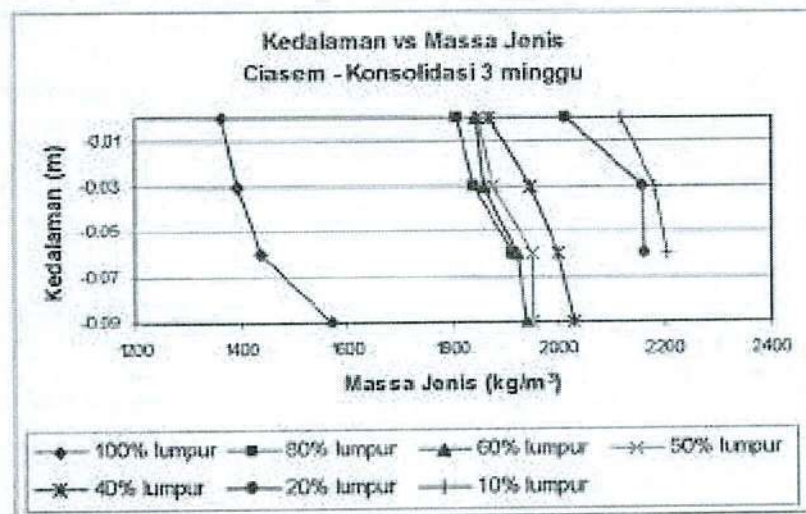
Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara kedalaman dengan massa jenis, massa jenis kering, tegangan geser kritis erosi dan kadar air sebagai berikut:



Gambar V.25 Hubungan kedalaman dengan massa jenis  
(Ciasem - konsolidasi 1 minggu)



Gambar V.26 Hubungan kedalaman dengan massa jenis (Ciasem – konsolidasi 2 minggu)

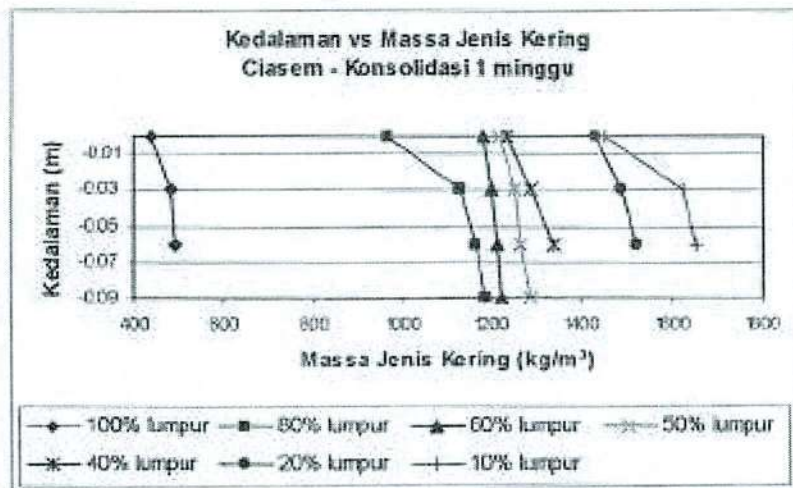


Gambar V.27 Hubungan kedalaman dengan massa jenis (Ciasem – konsolidasi 3 minggu)

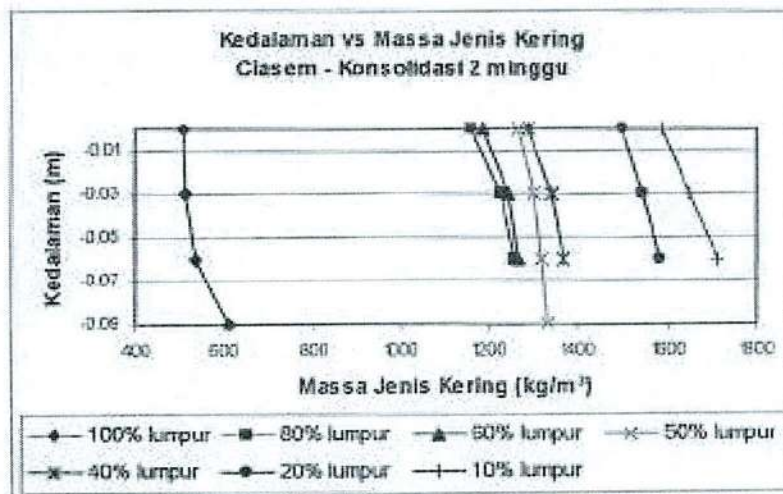
Hubungan kedalaman dengan massa jenis dalam 7 komposisi sedimen campuran baik pada konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu memperlihatkan bertambahnya komposisi pasir meningkatkan massa jenis.

Seperti halnya pada sedimen Citanduy dan Cimanuk, nilai massa jenis bertambah besar dengan meningkatnya kedalaman dan bertambahnya waktu konsolidasi. Nilai massa jenis sedimen Ciasem relatif lebih kecil dari nilai massa jenis Cimanuk dan massa jenis sedimen Citanduy.

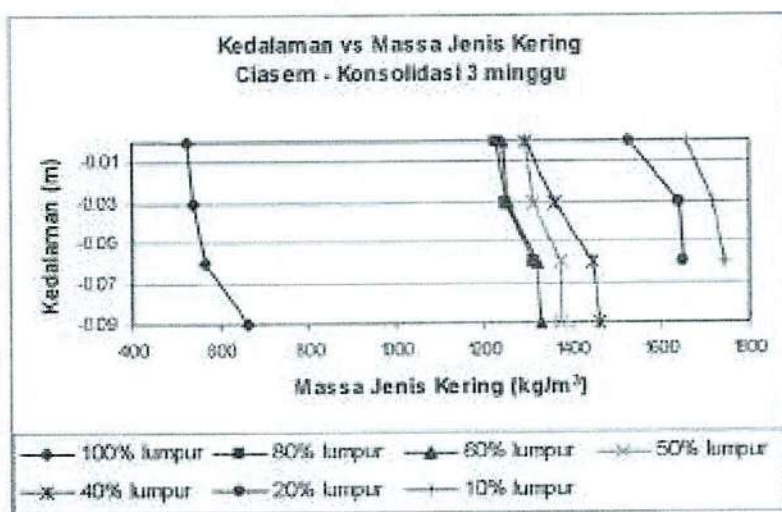




Gambar V.28 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Ciasem – konsolidasi 1 minggu)

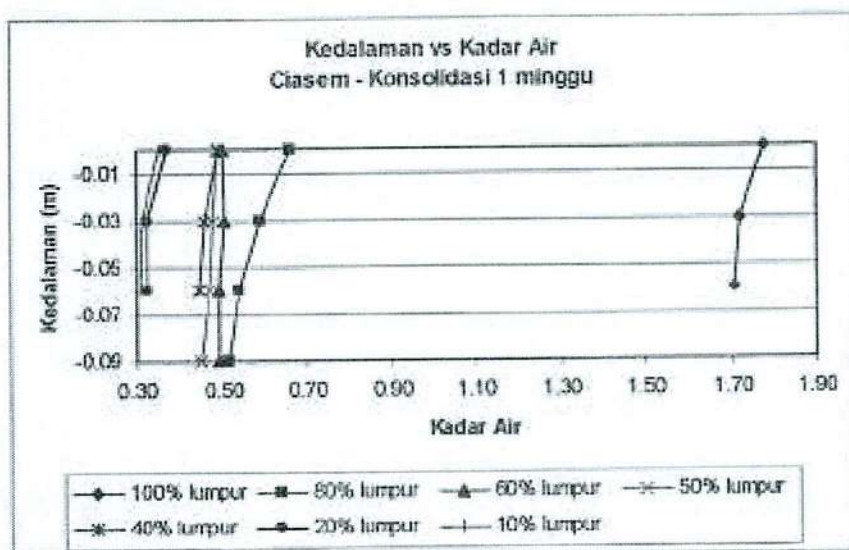


Gambar V.29 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Ciasem – konsolidasi 2 minggu)



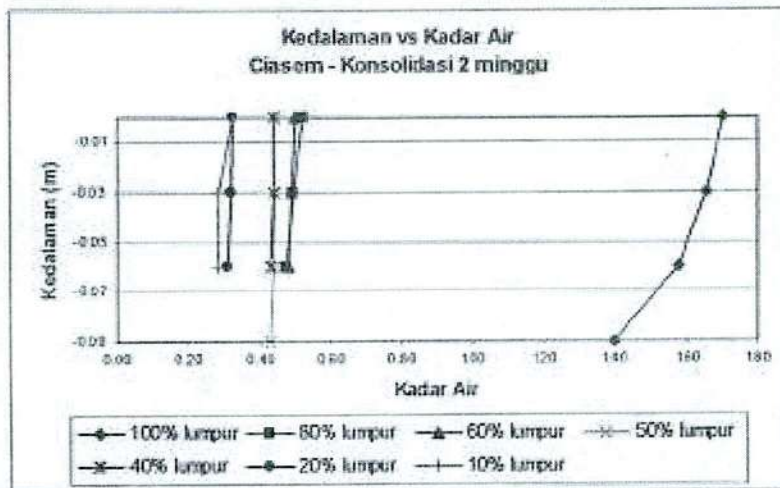
Gambar V.30 Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering (Ciasem – konsolidasi 3 minggu)

Hubungan kedalaman dengan massa jenis kering seperti halnya hubungan kedalaman dengan massa jenis, perbedaan yang ada hanyalah pada nilai, nilai massa jenis tergantung dari kadar air yang terkandung dalam setiap lapisan sedimen pada tiap komposisi sedimen campuran dan pada setiap waktu konsolidasi.

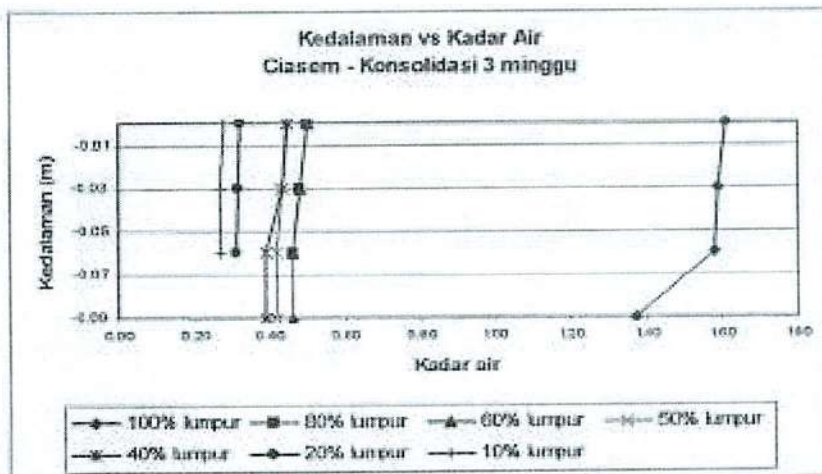


Gambar V.31 Hubungan kedalaman dengan kadar air (Ciasem – konsolidasi 1 minggu)





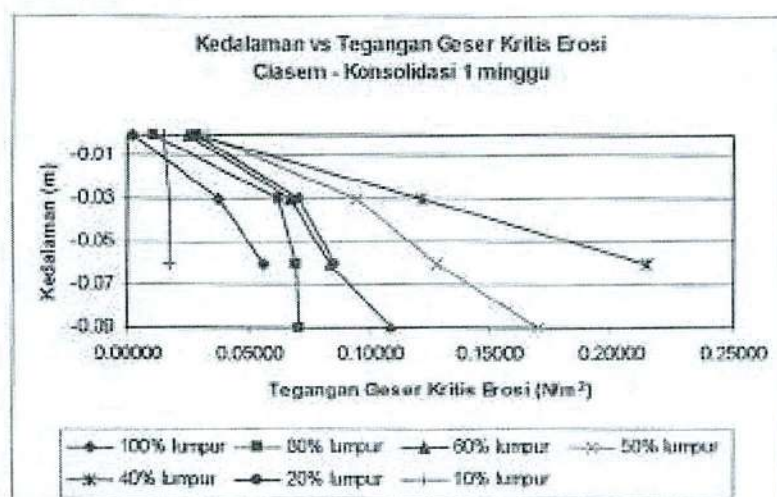
Gambar V.32 Hubungan kedalaman dengan kadar air (Ciasem – konsolidasi 2 minggu)



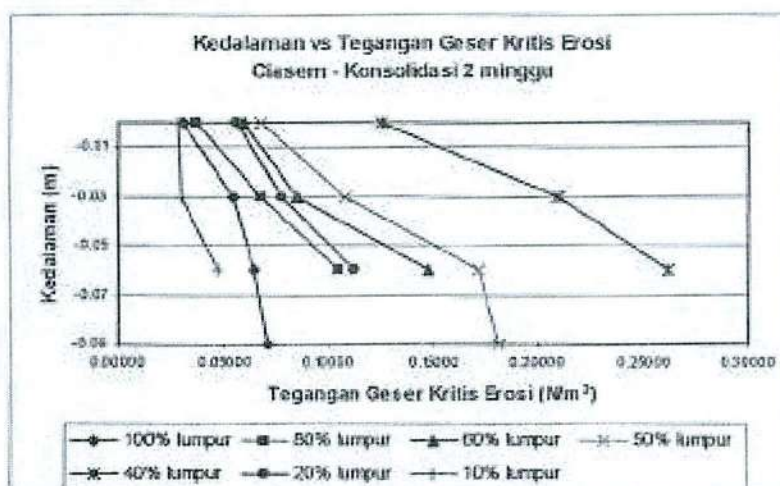
Gambar V.33 Hubungan kedalaman dengan kadar air (Ciasem – konsolidasi 3 minggu)

Seperti halnya pada sedimen campuran Citanduy, hubungan kedalaman dengan kadar air pada tiap komposisi sedimen campuran pada umumnya memperlihatkan kadar air berkurang dengan bertambahnya kedalaman, karena pemadatan yang terjadi menyebabkan air pori keluar, meskipun demikian bisa saja terjadi kadar air yang sama seperti pada komposisi campuran 50% dan 60% karena campuran antara keduanya hanya berbeda sedikit.

Dari Gambar V.31, V.32, V.33, kadar air untuk komposisi sedimen campuran 80%, 60%, 50%, dan 40 % mempunyai kadar air dengan kisaran 35% - 70% sedangkan komposisi campuran 20% dan 10% mempunyai kadar air dengan kisaran 20% - 35%, terlihat seperti adanya 3 kelompok dengan 100% terpisah sendiri. Dengan demikian kadar air dapat juga menjadi menjadi salah satu faktor yang mendukung kuatnya ikatan antara pasir dan lumpur dimana tegangan geser kritis erosi maksimum yang dapat terjadi adalah pada komposisi campuran 60% lumpur + 40% pasir.



Gambar V.34 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Ciasem – konsolidasi 1 minggu)



Gambar V.35 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Ciasem – konsolidasi 2 minggu)





Gambar V.36 Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi (Ciasem – konsolidasi 3 minggu)

Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi pada setiap komposisi sedimen campuran memperlihatkan bertambahnya kedalaman menambah nilai tegangan geser kritis erosi, hal ini sesuai dengan bertambahnya massa jenis dengan semakin padatnya tiap lapisan dibawahnya. Dengan semakin padat maka kekuatan gesernya juga bertambah.

Hubungan kedalaman dengan tegangan geser kritis erosi pada waktu konsolidasi 1, 2 dan 3 minggu memperlihatkan bertambahnya komposisi pasir pada batas tertentu ( 60% pasir) membawa dampak bertambahnya tegangan geser kritis erosi. Setelah itu, kekuatan geser menguat karena bertambahnya ikatan yang diberikan sifat kohesif dari lumpur. Sedimen Ciasem mengandung mineral *montmorillonite* yang mempunyai CEC yang cukup besar dibanding mineral *kaolinite* yang ada pada sedimen Citanduy dan gradasi pasir sedimen Ciasem lebih halus dibanding sedimen Cimanuk yaitu pada ukuran 0,075 – 0,15 mm adalah 59,08% dan ukuran 0,15 – 0,30 mm adalah 39, 12% dengan  $D_{60} = 0,22$  mm sedangkan gradasi pasir sedimen Cimanuk pada ukuran 0,075 – 0,15 mm adalah 15,94% dan ukuran 0,15 – 0,30 mm adalah 58, 57% dengan  $D_{60} = 0,24$  mm. Sedimen pasir dengan gradasi lebih halus dapat menambah ikatan dengan lumpur dibandingkan dengan gradasi yang lebih kasar.

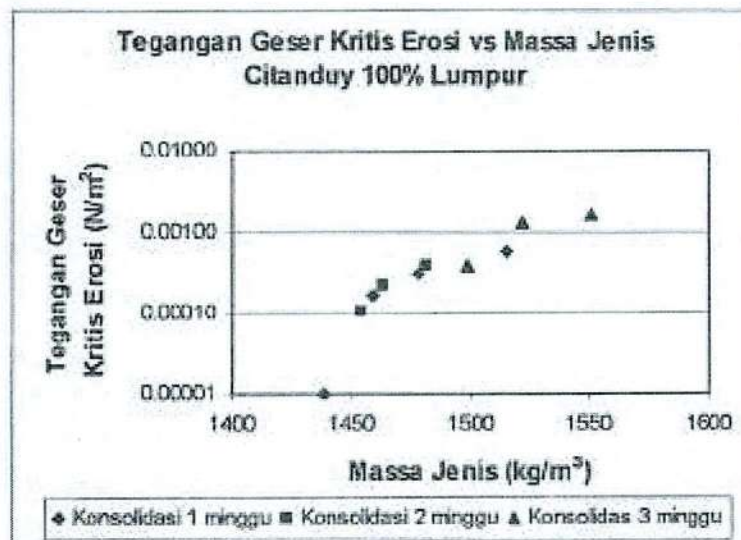
## Bab VI Analisa Tegangan Geser Kritis Erosi

### VI.1 Tegangan Geser Kritis Erosi Dengan Massa Jenis (*Bulk Density*)

#### VI.1.1 Sedimen Sungai Citanduy

##### VI.1.1.1 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 100% Lumpur

Pada konsolidasi 1 minggu sedimen 100%, terjadi penambahan tegangan geser kritis erosi baik pada permukaan kedua maupun permukaan ketiga. Demikian juga massa jenisnya bertambah besar pada lapisan kedua, ketiga dan bertambah dengan signifikan pada lapisan keempat. Untuk konsolidasi 2 minggu, tegangan geser kritis erosi dan massa jenis bertambah pada lapisan kedua dan lapisan ketiga. Pada konsolidasi 3 minggu, tegangan geser kritis erosi terjadi peningkatan disetiap lapisan permukaannya. Hal tersebut juga terjadi pada massa jenis seperti terlihat pada Tabel V.1, V.2, dan V.3.



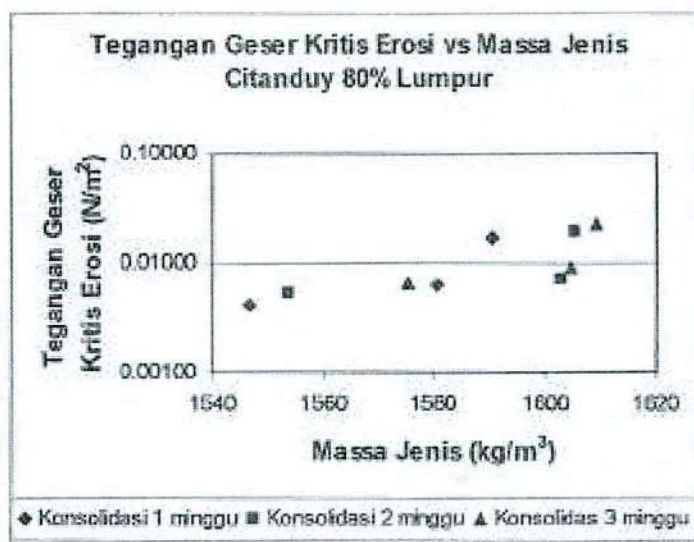
Gambar VI.1 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis pada sedimen 100% lumpur (Citanduy)

##### VI.1.1.2 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 80% Lumpur + 20% Pasir

Pada konsolidasi 1 minggu komposisi campuran ini, terlihat tegangan geser kritis bertambah pada setiap lapisan permukaan. Hal ini juga terjadi pada massa jenisnya. Pada konsolidasi 2 minggu tegangan geser kritis bertambah pada lapisan permukaan kedua dan bertambah dengan signifikan pada lapisan ketiga.



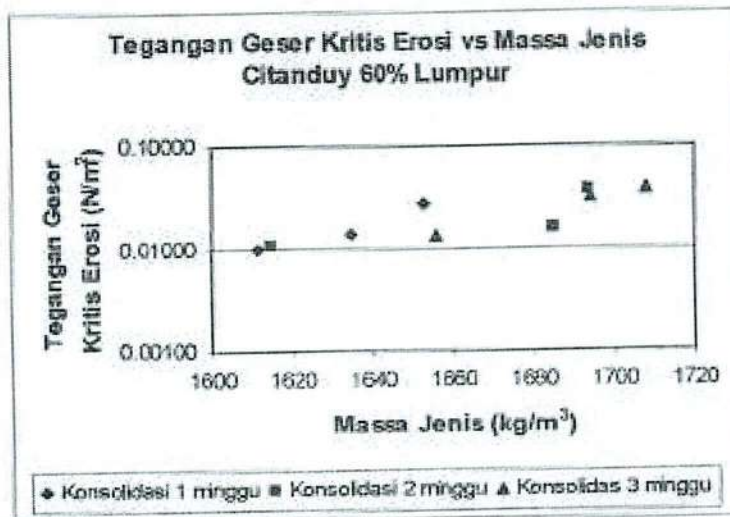
Sedangkan untuk massa jenisnya naik disetiap lapisan permukaannya. Dan pada konsolidasi 3minggu, tegangan geser kritis bertambah dengan signifikan baik di lapisan kedua maupun lapisan ketiga. Massa jenis juga bertambah pada setiap lapisan permukaan.



Gambar VI.2 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis pada sedimen 80% lumpur + 20% pasir (Citanduy)

#### VI.1.1.3 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 60% Lumpur + 40% Pasir

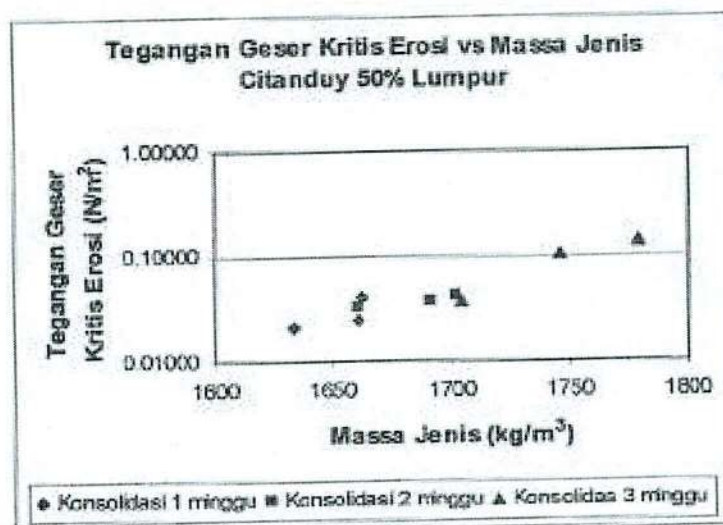
Tegangan geser kritis erosi pada konsolidasi 1 minggu mengalami kenaikan dengan signifikan dikedua lapisan permukaan, terutama pada lapisan kedua. Sedangkan massa jenisnya juga mengalami peningkatan disetiap lapisnya. Pada konsolidasi 2 minggu terjadi peningkatan dikedua lapisan, terutama pada lapisan kedua yang terlihat cukup signifikan. Massa jenisnya pun bertambah pada setiap lapisan permukaan. Untuk konsolidasi 3minggu, terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi pada lapisan kedua (signifikan) dan lapisan ketiga. Demikian juga massa jenisnya meningkat ditiap lapisan permukaannya.



Gambar VI.3 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis pada sedimen campuran 60% lumpur + 40% pasir (Citanduy)

#### VI.1.1.4 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 50% Lumpur + 50% Pasir

Pada komposisi ini, untuk konsolidasi 1 minggu terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi dan massa jenis di tiap lapisan. Untuk konsolidasi 2 minggu terjadi peningkatan di setiap lapisan permukaan baik tegangan geser kritis erosi maupun massa jenisnya. Untuk konsolidasi 3 minggu, terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi pada lapisan kedua (signifikan) dan pada lapisan ketiga. Massa jenisnya bertambah di setiap lapisan.

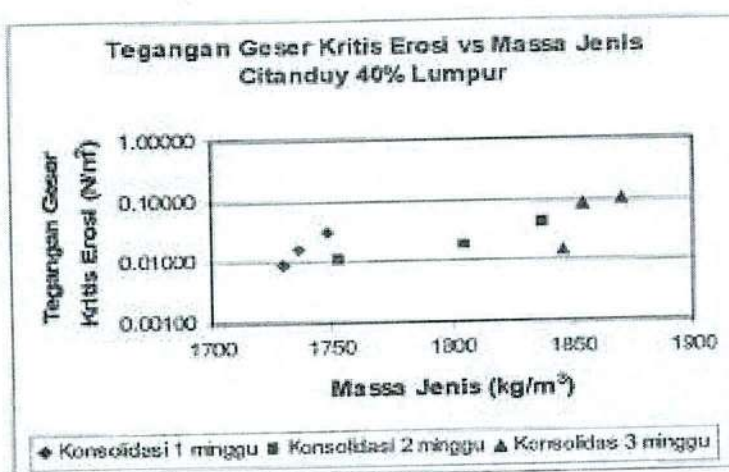


Gambar VI.4 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis pada sedimen campuran 50% lumpur + 50% pasir (Citanduy)



#### VI.1.1.5 Tegangan geser kritis erosi sedimen campuran 40% lumpur + 60 % pasir

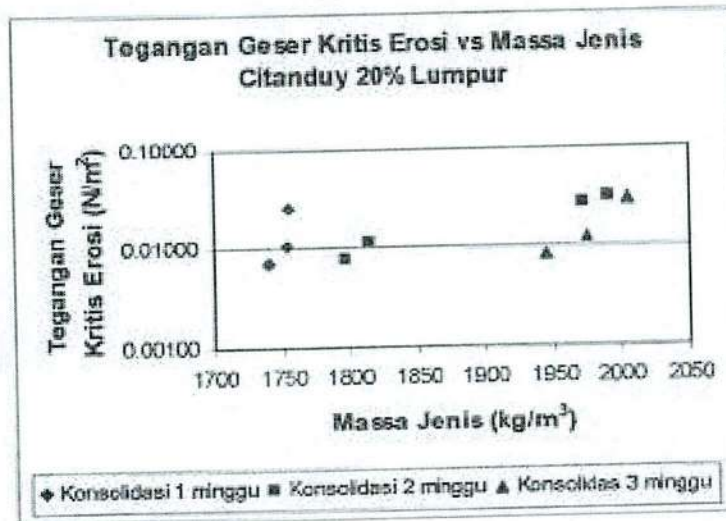
Pada konsolidasi 1 minggu, tegangan geser kritis erosinya meningkat pada setiap lapisnya, terutama pada lapis ketiga yang terlihat cukup signifikan. Massa jenisnya juga bertambah pada setiap lapisan. Pada konsolidasi 2 minggu juga terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi pada setiap lapisan. Sedangkan massa jenisnya juga bertambah besar pada setiap lapisannya. Untuk konsolidasi 3 minggu, terlihat peningkatan yang sangat signifikan pada lapisan kedua. Sedangkan massa jenisnya juga mengalami peningkatan.



Gambar VI.5 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis pada sedimen campuran 40% lumpur + 60% pasir (Citanduy)

#### VI.1.1.6 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 20% Lumpur + 80% Pasir

Tegangan geser kritis erosi pada konsolidasi 1 minggu bertambah pada setiap lapisan terutama pada lapisan ketiga yang terlihat sangat signifikan. Massa jenis juga meningkat pada tiap lapisan. Pada konsolidasi 2 minggu juga terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi dan massa jenis pada setiap lapisan permukaan. Pada lapisan ketiga terjadi peningkatan yang signifikan baik tegangan geser kritis maupun massa jenis. Hal yang sama juga terjadi pada konsolidasi 3 minggu. Terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi dan massa jenis pada setiap lapisan permukaan dan signifikan pada lapisan ketiga peningkatan tegangan geser kritis erosi.



Gambar VI.6 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 20% lumpur + 80% pasir (Citanduy)

#### VI.1.1.7 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 10% Lumpur + 90% Pasir

Terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi disetiap lapisan permukaan konsolidasi 1 minggu. Pada lapisan ketiga terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi yang signifikan. Sedangkan massa jenisnya juga bertambah disetiap lapisan. Pada konsolidasi 2 minggu juga terjadi peningkatan tegangan geser kritis erosi pada setiap lapisan dan pada lapisan permukaan ketiga bertambah hampir dua kali lipat. Massa jenisnya mengalami peningkatan pada lapis kedua dan lapisan ketiga. Pada konsolidasi 3 minggu, terjadi peningkatan pada lapisan kedua dan lapisan ketiga. Massa jenisnya mengalami kenaikan disetiap lapisannya.



### III.2.2 Prosedur Percobaan

Secara umum tahapan percobaan dalam penelitian ini meliputi :

1. Pengambilan sampel
2. Persiapan percobaan
3. Percobaan di laboratorium
4. Pemeriksaan sampel
5. Analisis hasil percobaan

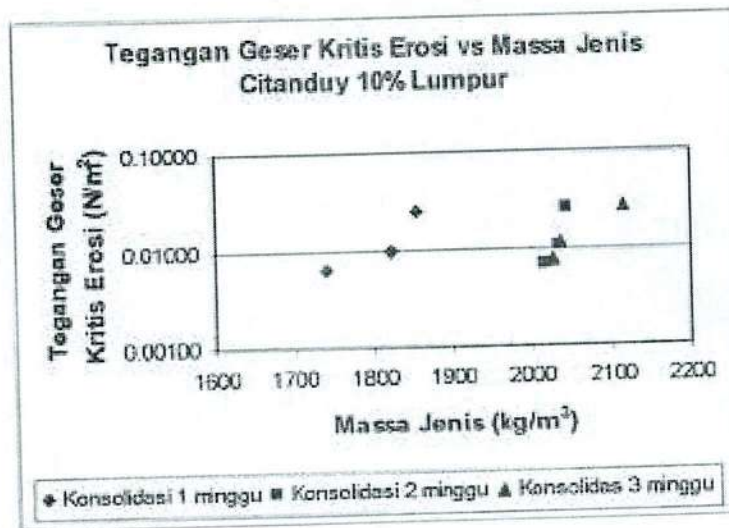
#### 1. Pengambilan sampel sedimen

Pengambilan sampel dilakukan di Jawa Barat dengan mengambil sedimen pasir dan lumpur di sungai Citanduy, sungai Cimanuk dan sungai Ciasem. Sampel adalah sampel *disturb* karena akan dibuat komposisi campuran yang akan diteliti.

#### 2. Persiapan percobaan

Sampel sedimen yang diambil harus dibersihkan dan dilakukan pemisahan antara pasir dan lumpur.

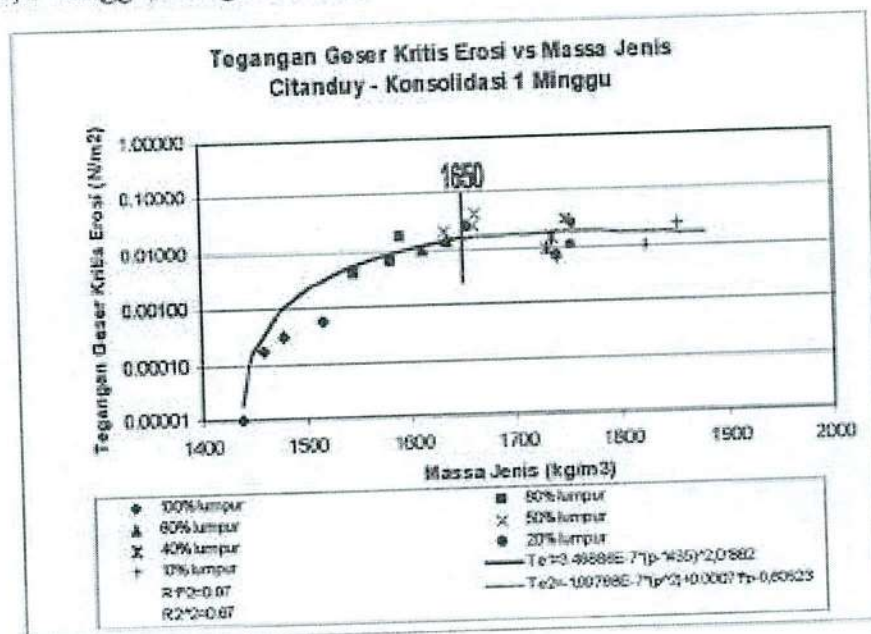
- a. Pasir dan lumpur dipisahkan dengan cara:
  - Pasir : yang tertahan di saringan no.200 dan lolos saringan no. 50 ( $0,076 \text{ mm} < d < 0,30 \text{ mm}$ )
  - Lumpur : yang lolos saringan no. 200 ( $< 0,076 \text{ mm}$ )
  - Komposisi campuran dan penomoran (kode) sampel dapat dilihat pada tabel III.1 (contoh penomoran untuk sampel sedimen sungai Citanduy)
- b. *Current meter* dicoba dan disiapkan posisi *current meter*
- c. Sampel disiapkan, *flume* diisi air lalu dibiarkan selama 7 hari agar terkonsolidasi
- d. Siapkan stopwatch, termometer, jangka sorong, timbangan, oven, gelas untuk mengambil sampel larutan, botol plastik untuk sampel larutan, stiker untuk nama sampel, penggaris.



Gambar VI.7 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 10% lumpur + 90% pasir (Citanduy)

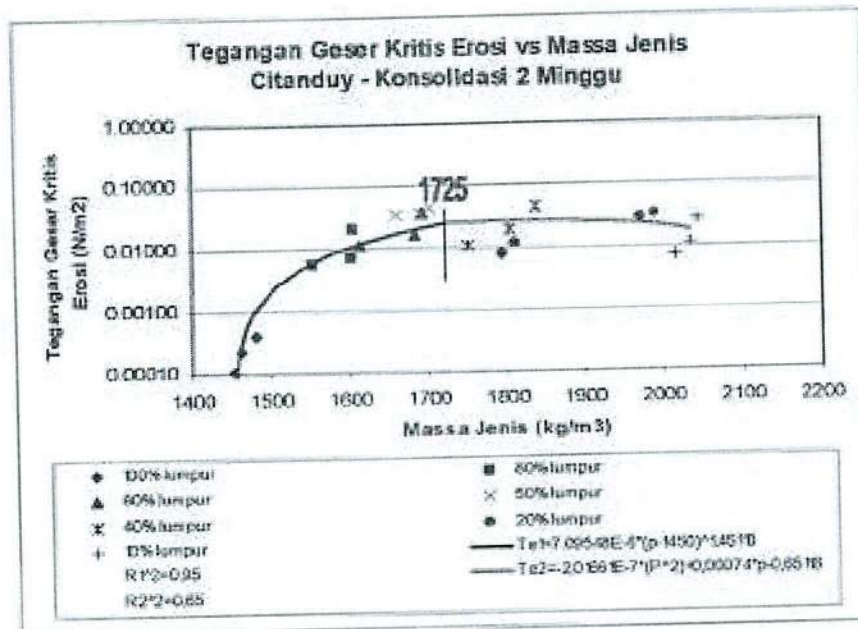
#### VI.1.1.8 Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi terhadap Massa Jenis

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (bulk density) pada konsolidasi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, sebagai berikut :

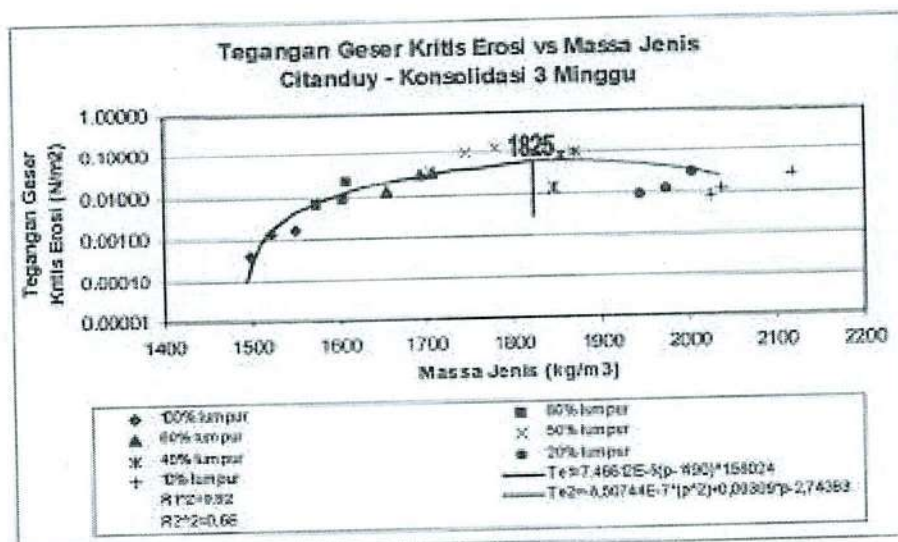


Gambar VI.8 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Citanduy - konsolidasi 1 minggu)

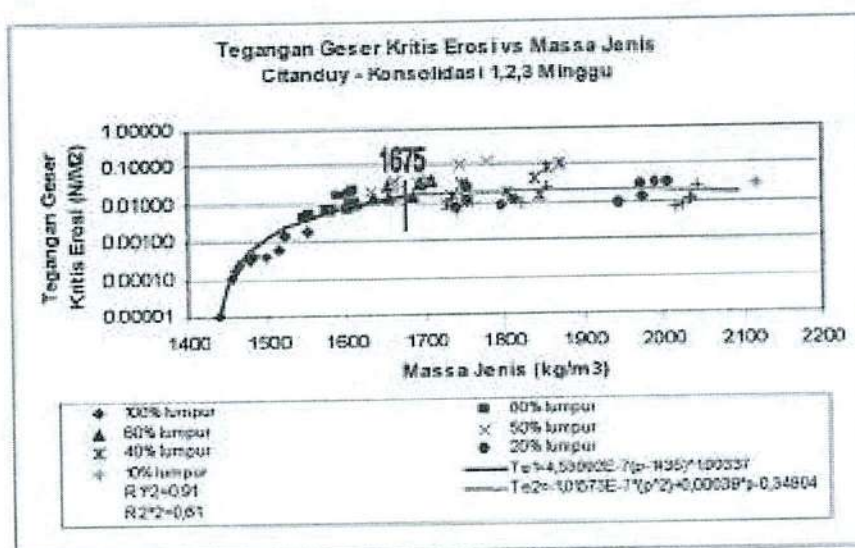




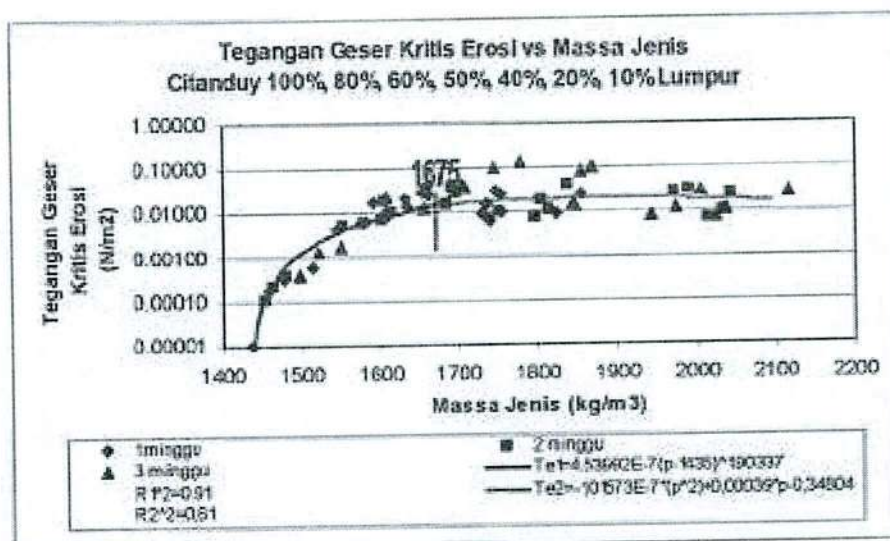
Gambar VI.9 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Citanduy - konsolidasi 2 minggu)



Gambar VI.10 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Citanduy - konsolidasi 3 minggu)



Gambar VI.11 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Citanduy - konsolidasi 1, 2, 3 minggu)



Gambar VI.12 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Citanduy - 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10%)

Gambar VI.8, VI.9 VI.10, VI.11 dan VI.12 menunjukkan tegangan geser kritis erosi yang bertambah besar seiring dengan kenaikan massa jenis sampai batas tertentu kemudian berkurang seiring dengan bertambahnya komposisi pasir lebih dari 50%.



Dari Gambar-Gambar tersebut diperoleh suatu bentuk persamaan yang terdiri dari 2 persamaan yaitu:

- persamaan pertama adalah persamaan dimana sifat kohesif dari lumpur masih ada sehingga ikatan antara lumpur dan pasir relatif masih kuat. Dengan demikian tegangan geser kritis erosi juga masih meningkat karena dengan adanya ikatan tersebut membuat sedimen sukar tererosi.
- persamaan kedua adalah persamaan dimana sifat non kohesif lebih berperan dan sifat kohesif sudah tidak ada. Maka tegangan geser kritis erosi menjadi berkurang karena tidak ada lagi ikatan kohesif dan sifat individu butiran yang lebih dominan.

Persamaan pertama:

$$\tau_{cr1} = E1 (\rho_b - \rho_m)^{E2} \quad (6.1)$$

dimana :

$\tau_{cr1}$  : tegangan geser kritis erosi,  $N/m^2$

$\rho_b$  : massa jenis (bulk density),  $kg/m^3$

$\rho_m$  : massa jenis minimum,  $kg/m^3$

E1 : konstanta

E2 : konstanta

Nilai-nilai E1, E2, dan  $\rho_m$  berubah untuk tiap waktu konsolidasi. Ini menunjukkan bahwa waktu konsolidasi berpengaruh terhadap karakteristik sedimen, khususnya tegangan geser kritis erosi. Perubahan nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel VI.1.

Bertambahnya waktu konsolidasi membuat tanah semakin padat dan menambah nilai tegangan geser kritis erosi yang menandakan bertambahnya ketahanan erosi dengan semakin sukar untuk tererosi (lihat Gambar VI.12)

Persamaan (6.1) yang diperoleh memperlihatkan massa jenis dapat mempresentasikan hubungan tegangan geser kritis sebesar 97%, 95%, 92%, 91% (lihat Tabel VI.1)

Tabel VI.1 Nilai E1, E2,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan Batas Massa Jenis Sedimen Sungai Citanduy

| Konsolidasi<br>(minggu) | E1         | E2      | $\rho_m$<br>kg/m <sup>3</sup> | $R^2$ | Batas Massa<br>Jenis (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|------------|---------|-------------------------------|-------|-------------------------------------------|
| 1                       | 3,46886E-7 | 2,01862 | 1435                          | 0,97  | 1650                                      |
| 2                       | 7,09548E-6 | 1,45110 | 1450                          | 0,95  | 1725                                      |
| 3                       | 7,46612E-6 | 1,56024 | 1490                          | 0,92  | 1825                                      |
| Gabungan                | 4,53992E-7 | 1,90337 | 1435                          | 0,91  | 1675                                      |

Batas massa jenis yang dimaksud adalah batas berlakunya persamaan (6.1) berpindah ke persamaan (6.2). Terlihat makin lama waktu konsolidasi makin besar batas massa jenis yang menandakan waktu konsolidasi berperan terhadap tegangan geser kritis erosi. Sehingga batas daerah berlakunya persamaan (6.1) makin bertambah dimana bertambahnya waktu konsolidasi menambah massa jenis dan tegangan geser kritis erosi.

Persamaan kedua:

$$\tau_{cr2} = a (\rho_b)^2 + b (\rho_b) + c \quad (6.2)$$

dimana :

$\tau_{cr2}$  : tegangan geser kritis erosi, N/m<sup>2</sup>

$\rho_b$  : massa jenis (bulk density), kg/m<sup>3</sup>

a, b, c : konstanta

Tabel VI.2 Nilai a, b, c, dan  $R^2$  Sedimen Sungai Citanduy

| Konsolidasi<br>(minggu) | a           | b       | c        | $R^2$ |
|-------------------------|-------------|---------|----------|-------|
| 1                       | -1,99766E-7 | 0,00071 | -0,60523 | 0,67  |
| 2                       | -2,01662E-7 | 0,00074 | -0,65116 | 0,65  |
| 3                       | -8,50744E-7 | 0,00309 | -2,74363 | 0,66  |
| Gabungan                | -1,01573E-7 | 0,00039 | -0,34804 | 0,61  |



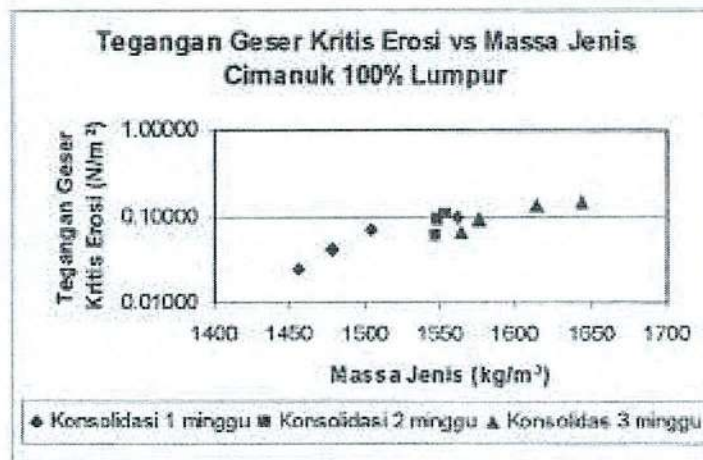
Pada daerah berlakunya persamaan kedua, massa jenis bertambah karena bertambahnya komposisi pasir di sini bukan berarti tegangan geser kritis erosi juga bertambah. Karena lebih menonjol sifat non kohesif maka erosi tergantung dari ukuran butir sedimen sehingga bertambahnya massa jenis tidak menambah tegangan geser kritis erosi (tidak seperti pada persamaan pertama) tetapi makin memperbesar sifat non kohesif dan ikatan kohesif hilang. Ini membuat tegangan geser kritis erosi menjadi berkurang.

Persamaan (6.2) yang diperoleh memperlihatkan bahwa pada daerah massa jenis persamaan kedua ini, massa jenis hanya dapat mempresentasikan hubungan tegangan geser kritis sebesar 67%, 65%, 66%, 61% (lihat Tabel VI.2). Pada bagian ini jelas sekali sifat non kohesif lebih berperan dimana erosi tergantung dari ukuran butiran maka massa jenis hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis dengan nilai seperti tersebut di atas. Dengan demikian waktu konsolidasi tidak membuat tegangan geser kritis bertambah seperti terlihat pada Gambar VI.12.

#### **VI.1.2 Sedimen Sungai Cimanuk**

##### **VI.1.2.1 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 100% Lumpur**

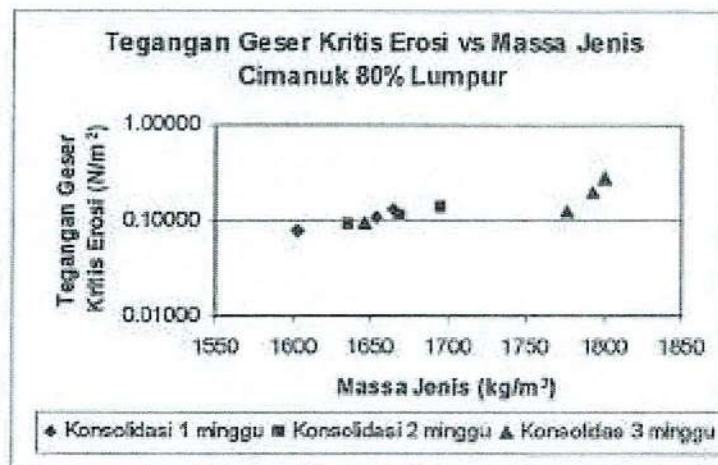
Konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, kecuali pada kedalaman 9 cm. Untuk konsolidasi 1 minggu.



Gambar VI.13 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen 100% lumpur (Cimanuk)

#### VI.1.2.2 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 80% Lumpur + 20% Pasir

Konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, kecuali pada kedalaman 0 cm nilai tegangan geser kritis relatif kecil pada konsolidasi 3 minggu..

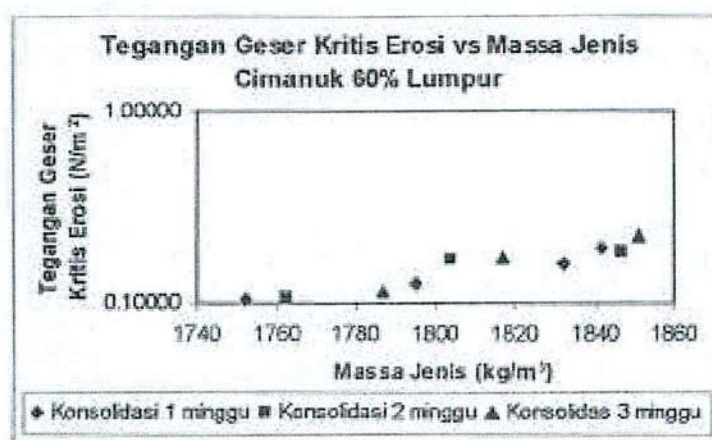


Gambar VI.14 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 80% lumpur + 20% pasir (Cimanuk)



### VI.1.2.3 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 60% Lumpur + 40% Pasir

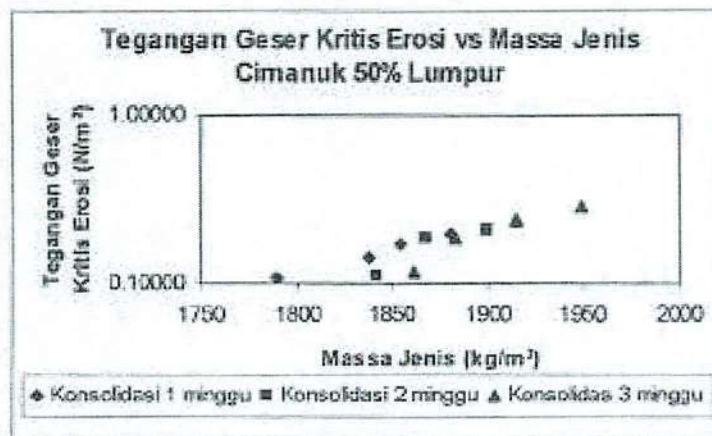
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi, hanya saja pada kedalaman 9 cm kenaikannya mengecil. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi.



Gambar VI.15 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 60% lumpur + 40% pasir (Cimanuk)

### VI.1.2.4 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 50% Lumpur + 50% Pasir

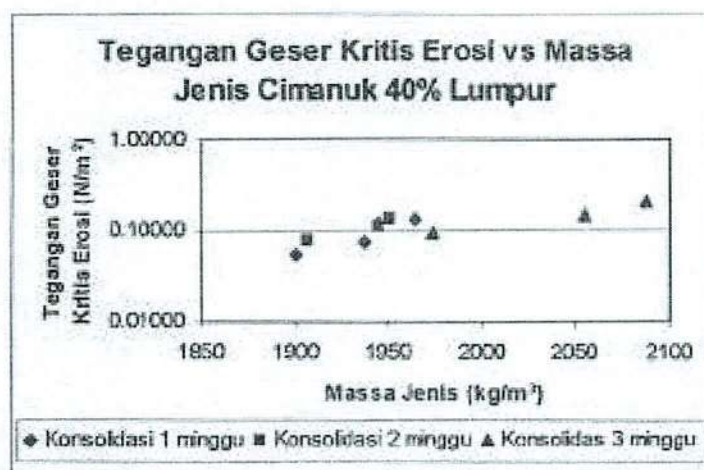
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi, hanya saja pada kedalaman 0 cm nilainya cukup kecil. Konsolidasi 2 dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu mendekati konsolidasi 3 minggu.



Gambar VI.16 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 50% lumpur + 50% pasir (Cimanuk)

#### VI.1.2.5 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 40% Lumpur + 60% Pasir

Konsolidasi 1, 2, 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja perubahan pada kedalaman 0 cm ke 3 cm yang cukup signifikan pada konsolidasi 3 minggu. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu lebih mendekati konsolidasi 1 minggu.

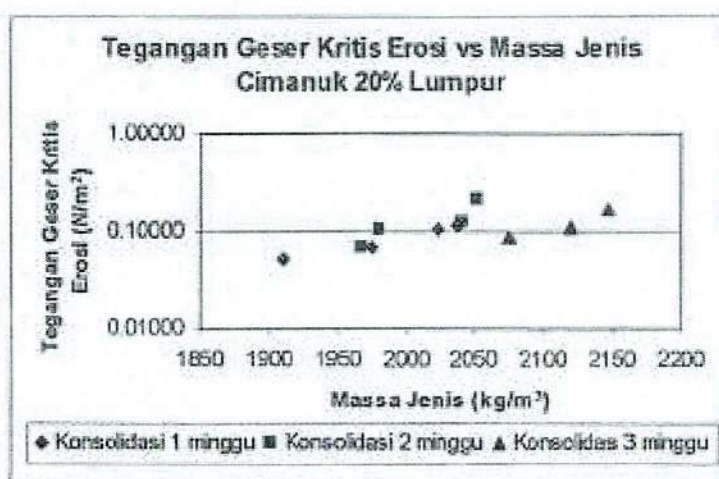


Gambar VI.17 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 40% lumpur + 60% pasir (Cimanuk)



#### VI.1.2.6 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 20% Lumpur + 80% Pasir

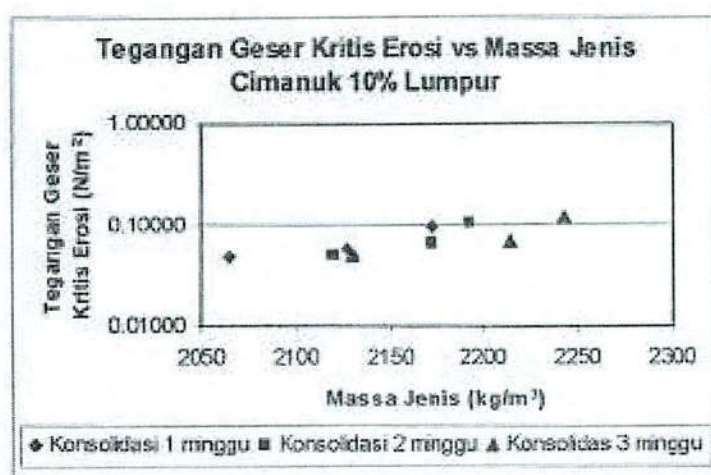
Konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi, hanya saja kenaikannya pada kedalaman 3 cm sedikit mengecil pada konsolidasi 2 minggu. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu lebih mendekati konsolidasi 1 minggu.



Gambar VI.18 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 20% lumpur + 80% pasir (Cimanuk)

#### VI.1.2.7 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 10% Lumpur + 90% Pasir

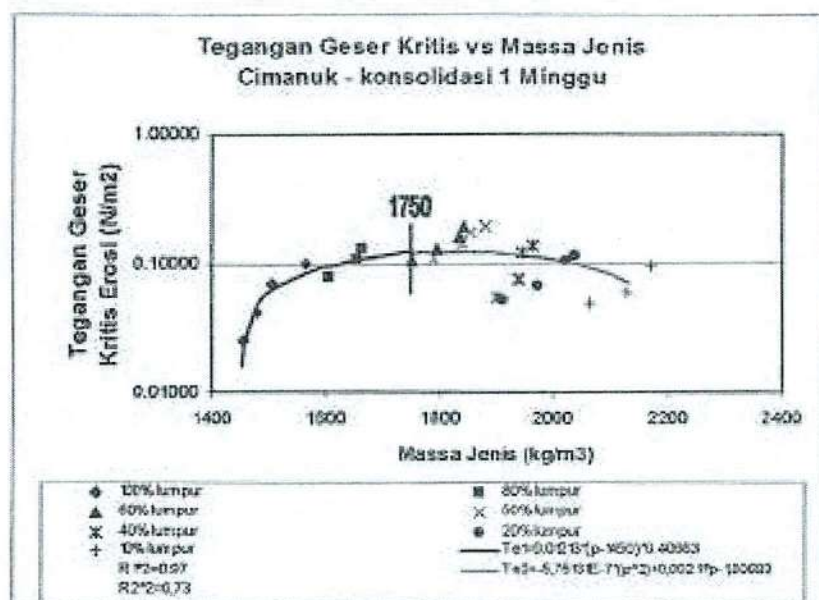
Konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi, hanya saja pada kedalaman 0 cm yang sedikit kecil pada konsolidasi 3 minggu. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi seluruhnya relatif sama.



Gambar VI.19 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 10% lumpur + 90% pasir (Cimanuk)

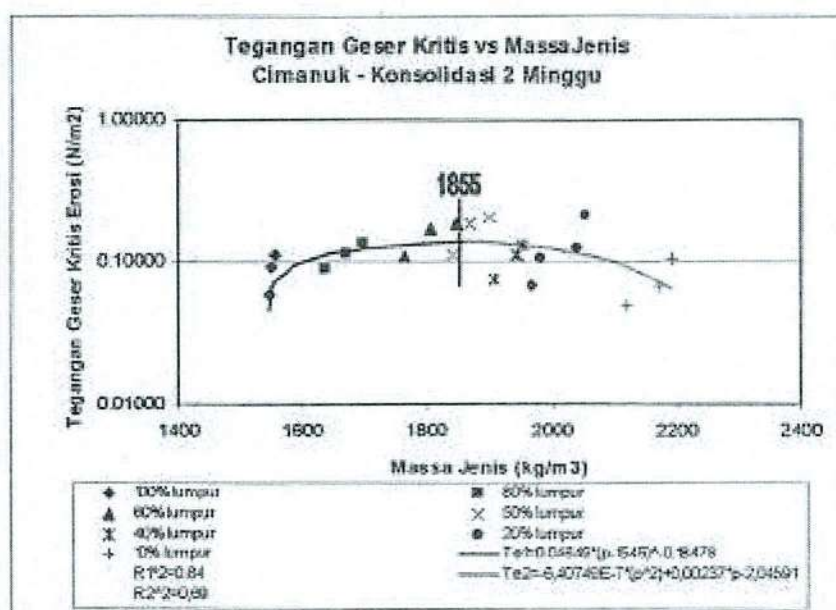
### VI.1.2.8 Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi terhadap Massa Jenis

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (bulk density) pada konsolidasi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, sebagai berikut :

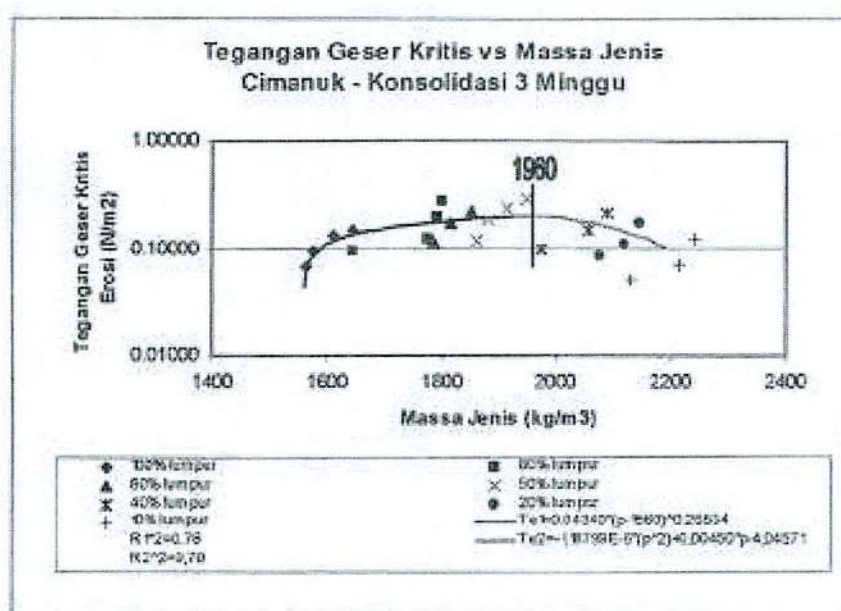


Gambar VI.20 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Cimanuk - konsolidasi 1 minggu)

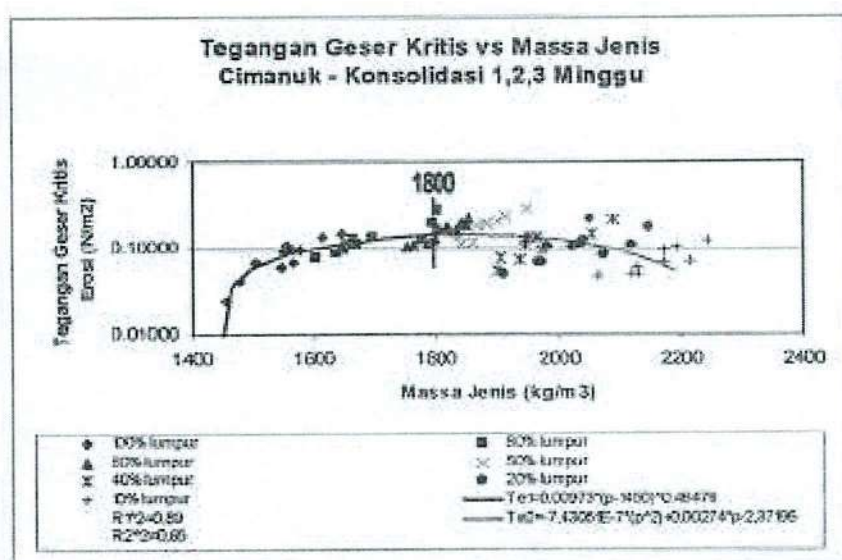




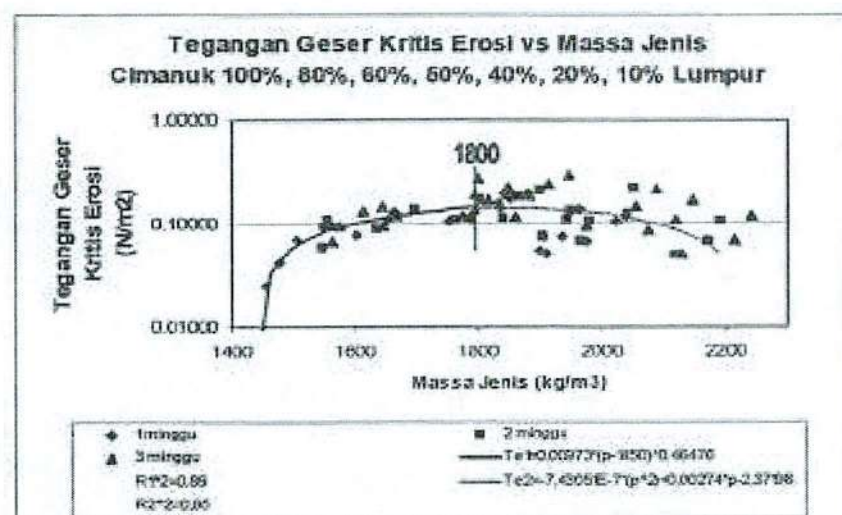
Gambar VI.21 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Cimanuk - konsolidasi 2 minggu)



Gambar VI.22 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Cimanuk - konsolidasi 3 minggu)



Gambar VI.23 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Cimanuk - konsolidasi 1, 2, 3 minggu)



Gambar VI.24 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Cimanuk - konsolidasi 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10% lumpur)

Gambar VI.20, VI.21, VI.22, VI.23 dan VI.24 menunjukkan 2 daerah persamaan seperti pada sedimen sungai Citanduy yaitu persamaan (6.1) untuk daerah tegangan geser kritis erosi yang bertambah besar seiring dengan kenaikan massa jenis sampai batas tertentu dan persamaan (6.2) untuk daerah tegangan geser kritis yang berkurang dengan bertambahnya komposisi pasir lebih dari 50%. Nilai-nilai  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan batas massa jenis seperti terlihat pada Tabel VI.3



Tabel VI.3 Nilai E1, E2,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan Batas Massa Jenis Sedimen Sungai Cimanuk

| Konsolidasi<br>(minggu) | E1      | E2      | $\rho_m$<br>kg/m <sup>3</sup> | $R^2$ | Batas Massa<br>Jenis (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|---------|---------|-------------------------------|-------|-------------------------------------------|
| 1                       | 0,01213 | 0,40663 | 1450                          | 0,97  | 1750                                      |
| 2                       | 0,04849 | 0,18478 | 1545                          | 0,84  | 1855                                      |
| 3                       | 0,04340 | 0,25534 | 1560                          | 0,76  | 1960                                      |
| Gabungan                | 0,00973 | 0,46476 | 1450                          | 0,89  | 1800                                      |

Nilai E1 dari konsolidasi 2 dan 3 minggu lebih besar dari konsolidasi 1 minggu dan E2 lebih kecil dibandingkan dengan konsolidasi 1 minggu. Bila dibandingkan dengan nilai E1 dari sedimen sungai Citanduy, nilai E1 cenderung lebih besar dan nilai E2 cenderung lebih kecil. Ini menandakan karakteristik sedimen untuk masing-masing sungai berbeda.

Nilai determinasi dari masing-masing konsolidasi hanya berkisar 89 – 97 % yang berarti bahwa untuk sedimen sungai Cimanuk, massa jenis hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis sebesar 89 – 97%, nilai ini tidak sebesar nilai determinasi untuk sedimen sungai Citanduy (minimal 91 %).

Batas massa jenis juga bertambah dengan bertambahnya waktu konsolidasi, hal ini sama seperti pada sedimen sungai Citanduy hanya nilai batas lebih besar pada sungai Cimanuk. Ini dapat dijelaskan dengan kehadiran gradasi pasir yang lebih besar pada sedimen sungai Cimanuk dibandingkan sedimen sungai Citanduy.

Tabel VI.4 Nilai a, b, c, dan  $R^2$  Sedimen Sungai Cimanuk

| Konsolidasi<br>(minggu) | a           | b       | c        | $R^2$ |
|-------------------------|-------------|---------|----------|-------|
| 1                       | -5,75131E-7 | 0,00211 | -1,80693 | 0,73  |
| 2                       | -6,40749E-7 | 0,00237 | -2,04591 | 0,69  |
| 3                       | -1,18799E-6 | 0,00450 | -4,04571 | 0,70  |
| Gabungan                | -7,43051E-7 | 0,00274 | -2,37196 | 0,65  |

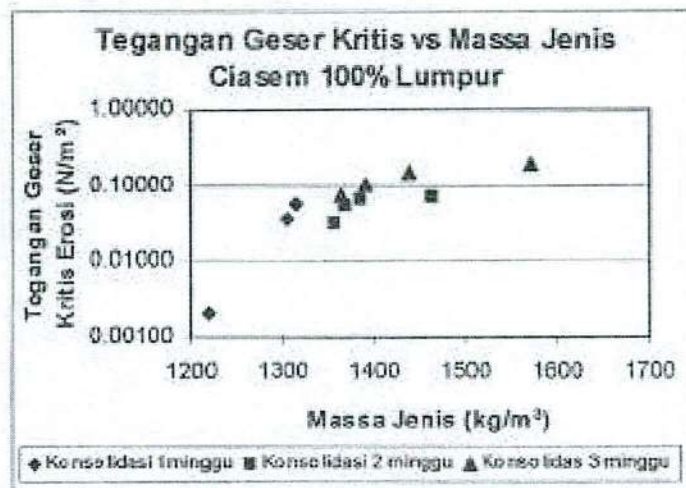
Pada daerah berlakunya persamaan (6.2) memperlihatkan massa jenis hanya dapat mempresentasikan hubungannya dengan tegangan geser kritis erosi sebesar 73%, 69%, 70%, 65% (lihat Tabel VI.4). Sama seperti pada sedimen sungai Citanduy, pada daerah berlakunya persamaan kedua jelas sekali sifat non kohesif lebih berperan sehingga erosi tergantung dari ukuran butiran dan massa jenis hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis dengan nilai seperti tersebut di atas. Dengan demikian waktu konsolidasi tidak membuat tegangan geser kritis bertambah seperti terlihat pada Gambar VI.24.

### **VI.1.3 Sedimen Sungai Ciasem**

#### **VI.1.3.1 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 100% Lumpur**

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja naiknya dari kedalaman 0 cm ke 3 cm sangat signifikan. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja naiknya dari kedalaman 6 cm ke 9 cm sangat signifikan nilai massa jenisnya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya pada kedalaman 9 cm kenaikannya yang relatif kecil. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu lebih mendekati konsolidasi 3 minggu.





Gambar VI.25 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen 100% lumpur (Ciasem)

#### VI.1.3.2 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 80% Lumpur + 20% Pasir

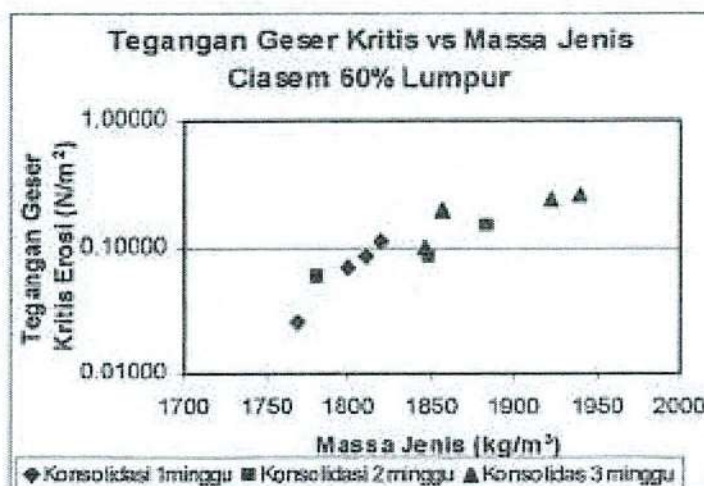
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja naiknya dari kedalaman 0 cm ke 3 cm relatif kecil. Konsolidasi 2 dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu lebih mendekati konsolidasi 3 minggu.



Gambar VI.26 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 80% lumpur + 20% pasir (Ciasem)

### VI.1.3.3 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 60% Lumpur + 40% Pasir

Konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu sedikit lebih mendekati konsolidasi 3 minggu.

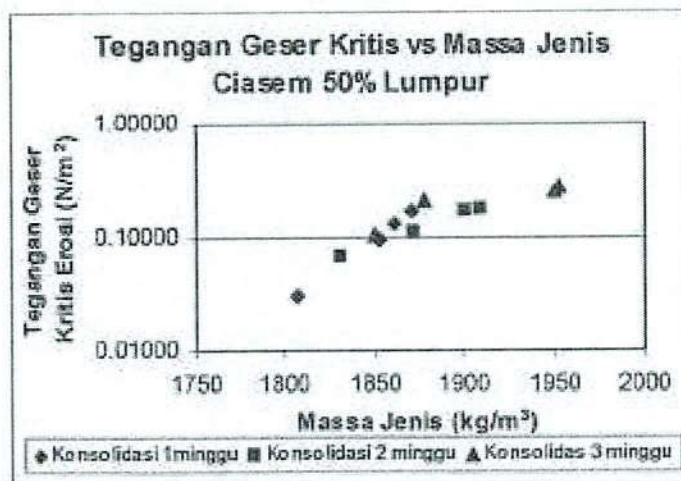


Gambar VI.27 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 60% lumpur + 40% pasir (Ciasem)



#### VI.1.3.4 Tegangan geser kritis erosi sedimen campuran 50% lumpur + 50% pasir

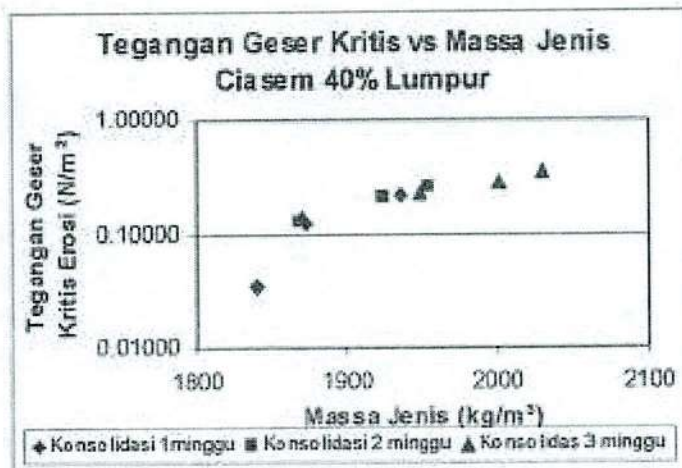
Konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja kenaikannya menurun setelah kedalaman 6 cm pada konsolidasi 3 minggu. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi setiap minggunya relatif sama.



Gambar VI.28 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 50% lumpur + 50% pasir (Ciasem)

#### VI.1.3.5 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 40% Lumpur + 60% Pasir

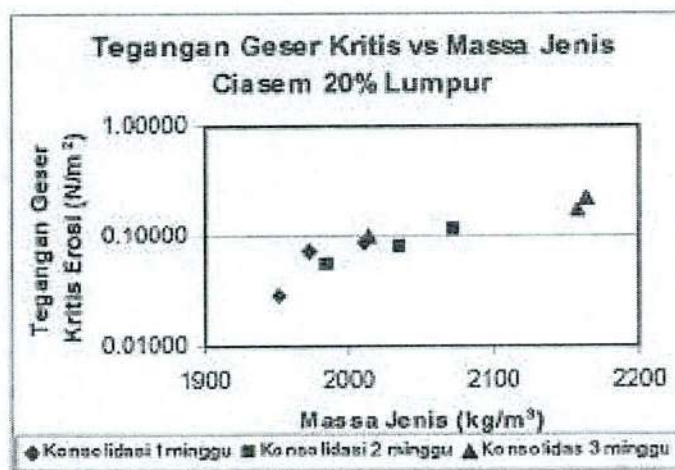
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 0 cm ke 3 cm kenaikannya cukup signifikan. Konsolidasi 2 dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu sedikit lebih mendekati konsolidasi 3 minggu.



Gambar VI.29 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 40% lumpur + 60% pasir (Ciasem)

#### VI.1.3.6 Tegangan geser kritis erosi sedimen campuran 20% lumpur + 80% pasir

Konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 3 cm kenaikan tegangan geser kritis meningkat lebih besar pada konsolidasi 3 minggu. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu sedikit lebih mendekati konsolidasi 1 minggu.

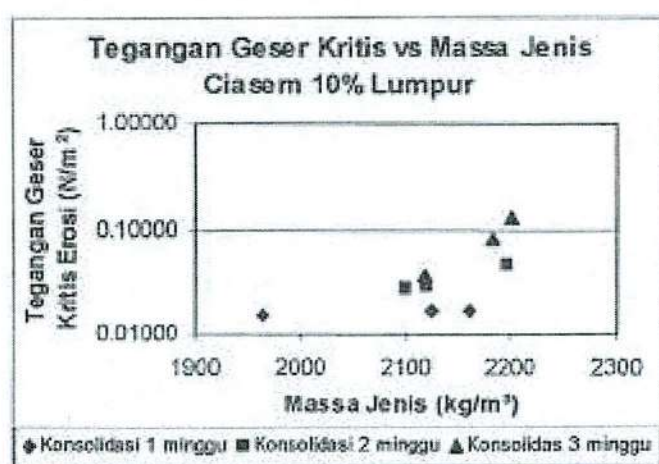


Gambar VI.30 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 20% lumpur + 80% pasir (Ciasem)



### VI.1.3.7 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 10% Lumpur + 90% Pasir

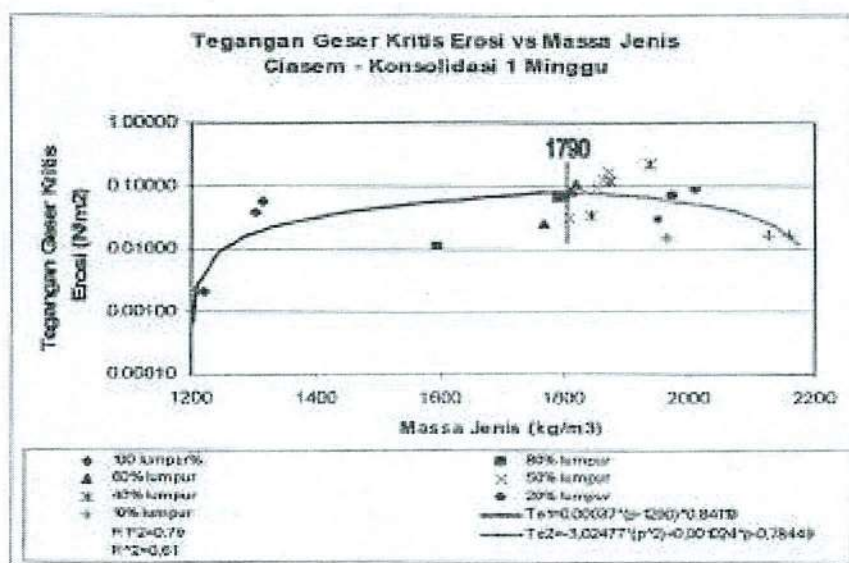
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif konstan sedikit naiknya nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu sedikit lebih mendekati konsolidasi 1 minggu.



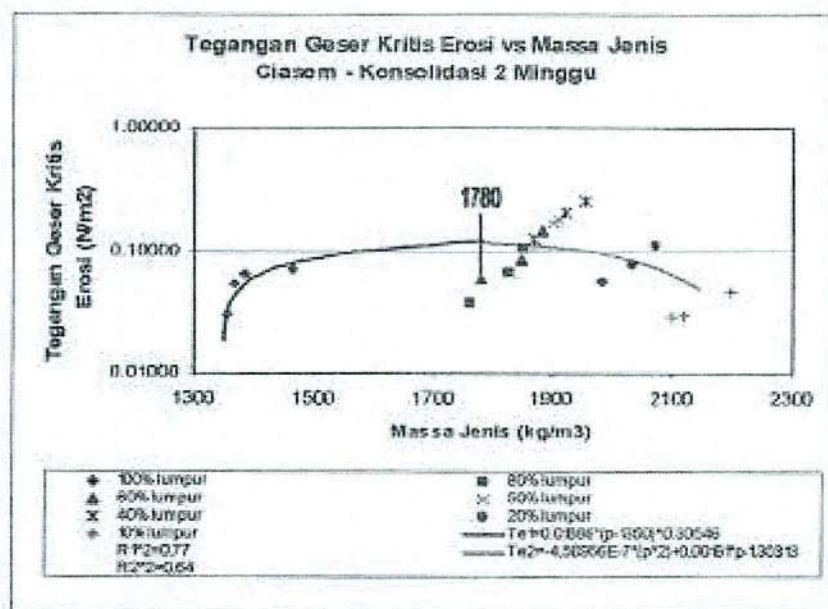
Gambar VI.31 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis sedimen campuran 10% lumpur +90% pasir (Ciasem)

### VI.1.3.8 Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi terhadap Massa Jenis

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (bulk density) pada konsolidasi 1, 2, 3 minggu sebagai berikut :

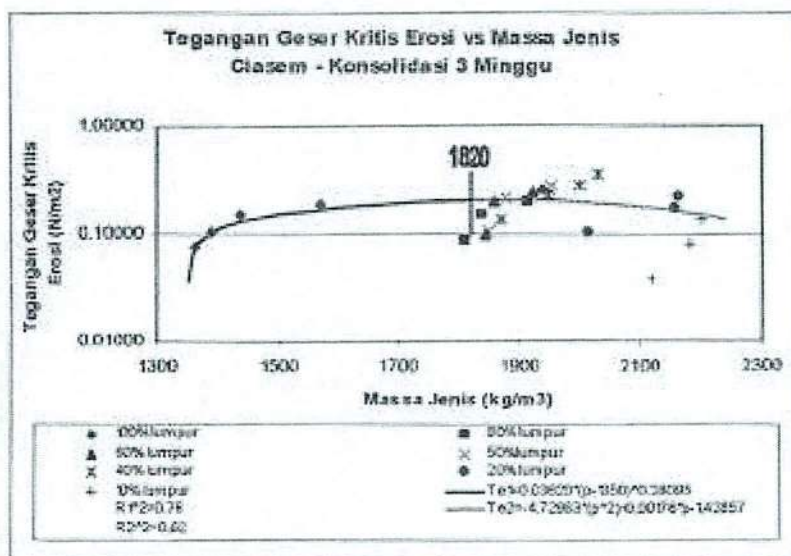


Gambar VI.32 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Ciasem - konsolidasi 1 minggu)

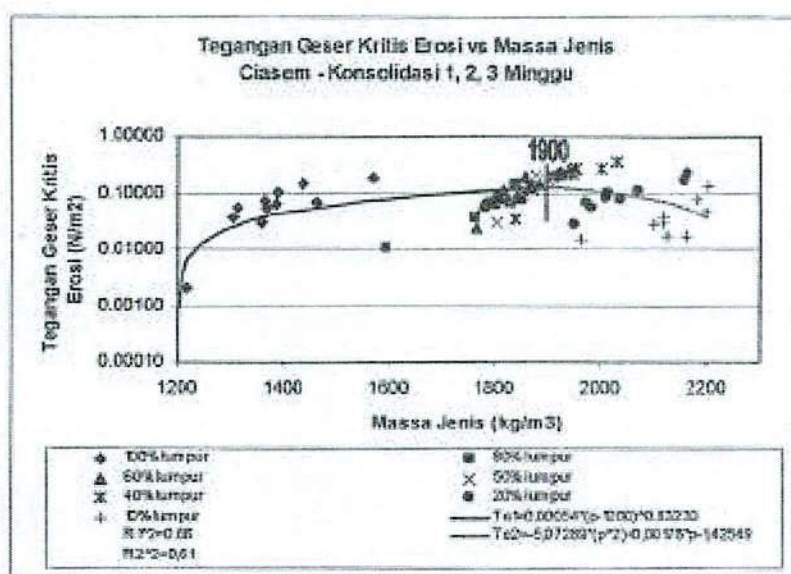


Gambar VI.33 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Ciasem - konsolidasi 2 minggu)

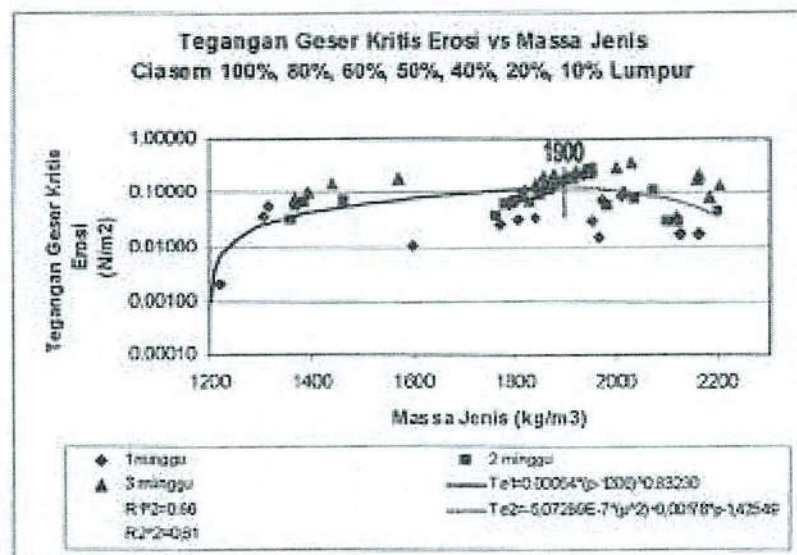




Gambar VI.34 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Ciasem - konsolidasi 3 minggu)



Gambar VI.35 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Ciasem - konsolidasi 1, 2, 3 minggu)



Gambar VI.36 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis (Ciasem – 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10% lumpur)

Gambar VI.32, VI.33, VI.34, VI.35 dan VI.36 menunjukkan 2 daerah persamaan seperti pada sedimen sungai Citanduy dan Cimanuk yaitu persamaan (6.1) untuk daerah tegangan geser kritis erosi yang bertambah besar seiring dengan kenaikan massa jenis sampai batas tertentu dan persamaan (6.2) untuk daerah tegangan geser kritis yang berkurang dengan bertambahnya komposisi pasir lebih dari 60%. Nilai-nilai E1, E2,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan batas massa jenis seperti terlihat pada Tabel VI.5

Tabel VI.5 Nilai E1, E2,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan Batas Massa Jenis Sedimen Sungai Ciasem

| Konsolidasi (minggu) | E1      | E2      | $\rho_m$ kg/m <sup>3</sup> | $R^2$ | Batas Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---------|---------|----------------------------|-------|----------------------------------------|
| 1                    | 0,00037 | 0,84119 | 1200                       | 0,79  | 1790                                   |
| 2                    | 0,01886 | 0,30546 | 1350                       | 0,77  | 1780                                   |
| 3                    | 0,03620 | 0,28095 | 1350                       | 0,76  | 1820                                   |
| Gabungan             | 0,00054 | 0,83230 | 1200                       | 0,66  | 1900                                   |



Bertambahnya waktu konsolidasi, nilai E1 juga bertambah besar tetapi nilai E2 berkurang. Nilai-nilai E1 dan E2 dari sedimen sungai Ciasem berada diantara nilai E1 dan E2 sedimen sungai Citanduy dan Cimanuk.

Nilai deteminasi hanya diperoleh sekitar 66% - 79%, yang berarti massa jenis sedimen sungai Ciasem hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis sebesar 66%.

Batas massa jenis juga relatif bertambah dengan bertambahnya waktu konsolidasi, hal ini sama seperti pada sedimen sungai Citanduy hanya nilai batas relatif lebih besar pada sungai Ciasem. Ini dapat dijelaskan dengan mineral lumpur sungai Ciasem adalah montmorillonite yang mempunyai nilai CEC lebih besar dari mineral kaolin yang terdapat pada sedimen sungai Citanduy. Dan gradasi pasir sungai Ciasem lebih halus dibandingkan sungai Citanduy maka batas massa jenis relatif lebih besar.

Tabel VI.6 Nilai a, b, c, dan R<sup>2</sup> Sedimen Sungai Ciasem

| Konsolidasi<br>(minggu) | a           | b       | c        | R <sup>2</sup> |
|-------------------------|-------------|---------|----------|----------------|
| 1                       | -3,02477E-7 | 0,00102 | -0,78449 | 0,61           |
| 2                       | -4,56956E-7 | 0,00161 | -1,30313 | 0,64           |
| 3                       | -4,72983E-7 | 0,00176 | -1,42857 | 0,62           |
| Gabungan                | -5,07289E-7 | 0,00178 | -1,42549 | 0,61           |

Pada daerah berlakunya persamaan (6.2) memperlihatkan massa jenis hanya dapat mempresentasikan hubungannya dengan tegangan geser kritis erosi sebesar 61%, 64%, 62%, 61% (lihat Tabel VI.4). Sama seperti pada sedimen sungai Citanduy, pada daerah berlakunya persamaan kedua jelas sekali sifat non kohesif lebih berperan sehingga erosi tergantung dari ukuran butiran dan massa jenis hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis dengan nilai seperti tersebut di

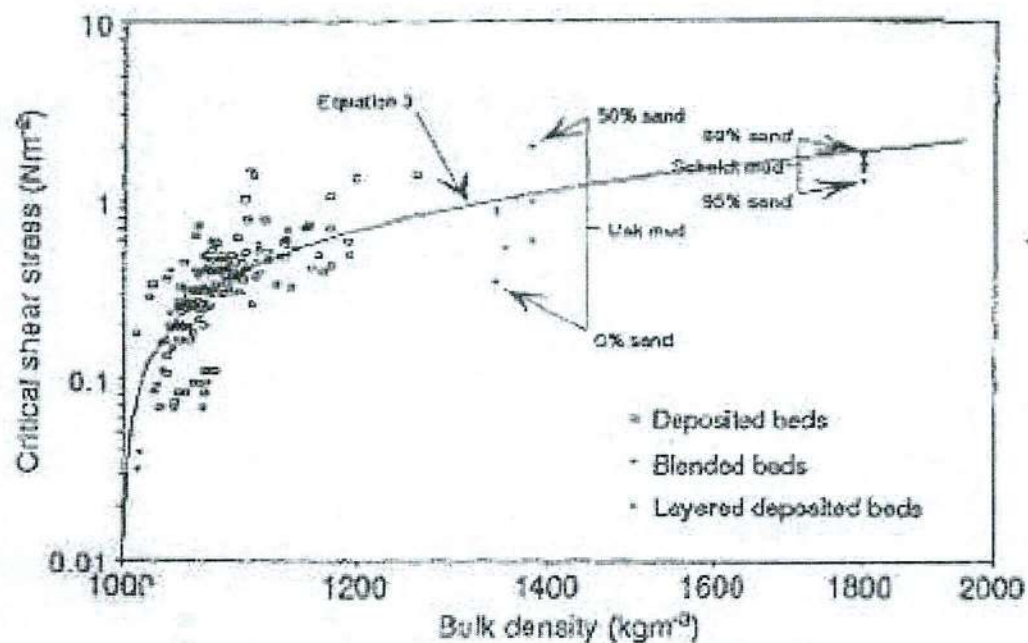
atas. Dengan demikian waktu konsolidasi tidak membuat tegangan geser kritis bertambah seperti terlihat pada Gambar VI.36.

#### VI.1.4 Pembahasan Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi terhadap Massa Jenis

Persamaan (6.1) dapat dibandingkan dengan persamaan yang diperoleh oleh Mitchener dan Torfs (1996) untuk sedimen campuran buatan, dengan  $E1 = 0,015$  dan  $E2 = 0,73$  (lihat Gambar VI.37). Persamaan tersebut diperoleh dari data berbagai hasil penelitian diantaranya;

- campuran buatan dari lumpur Hongkong dengan pasir King's Lynn berdiameter median 0,230 mm dengan komposisi campuran dari 0 sampai 60% pasir;
- campuran buatan dari lumpur muara Scheldt, Belgia dengan pasir  $d_{50} = 0,230$  mm memakai komposisi campuran 70% sampai 100% pasir;
- campuran buatan dari lumpur muara Usk, UK dengan pasir King's Lynn berdiameter median 0,150 mm memakai komposisi campuran 0%, 25%, dan 50% pasir
- campuran buatan dari lumpur Harwich, UK dengan pasir King's Lynn  $d_{50} = 0,150$  mm memakai komposisi campuran 0%, 20%, dan 40% pasir dengan penelitian memakai gelombang.
- Campuran yang diendapkan sehingga tidak *uniform (deposited bed)*
- Campuran yang diperoleh dari dasar yang berlapis-lapis dengan memberi input 2 kali sehari seperti simulasi pasang surut (*layered deposited bed*).





Gambar VI.37 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis untuk campuran buatan (Mitchener and Torfs, 1996)

Begitu juga dengan persamaan yang diperoleh oleh Thorn dan Parsons (1980) yaitu:

$$\tau_{er} = 5,42 \cdot 10^{-6} \rho_b^{2,2} \quad (6.3)$$

Persamaan ini diperoleh dari sedimen lumpur yang ditempatkan dalam sirkular flume lalu dikonsolidasikan selama 3 hari sehingga menghasilkan dasar non-homogen dengan massa jenis 1050 – 1100 kg/m<sup>3</sup>. Bentuk persamaan ini kurang sesuai untuk massa jenis yang tinggi.

Persamaan yang diperoleh Mitchener dan Torfs (1995) mengindikasikan pada densitas yang tinggi (lebih terkonsolidasi), kenaikan tegangan geser kritis erosi menjadi terbatas (kecil) sehingga menghasilkan perilaku *asymptotic* pada nilai densitas besar. Nilai batas tegangan geser kritis erosi pada densitas tinggi dapat dihubungkan dengan 2 faktor. Pertama pada densitas yang cukup tinggi sedimen

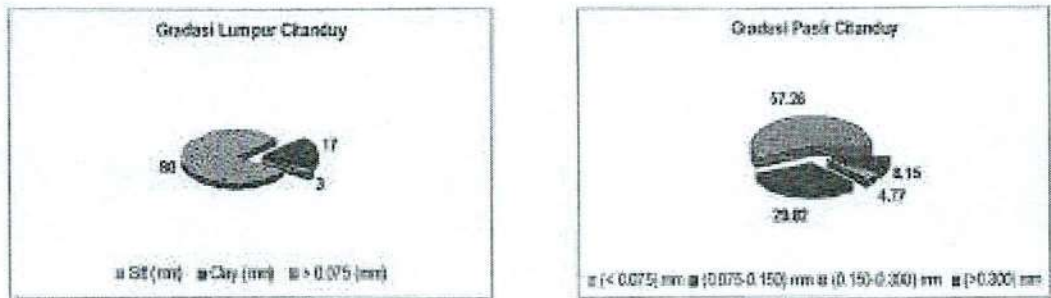
campuran hampir mengalami konsolidasi penuh dan akan mencapai minimum dalam kadar air serta maksimum *strength*.

Dari hasil penelitian ini diperoleh densitas tinggi adalah dari **komposisi pasir yang besar** ( $> 50\%$  pasir) sehingga perilaku erosi bersifat **non kohesif**, tergantung dari gradasi pasir yang digunakan dan juga mineral lumpur yang terkandung. Pada sedimen sungai Citanduy mempunyai gradasi pasir paling halus ( $D_{60} = 0,21$  mm) dibandingkan sedimen sungai Cimanuk ( $D_{60} = 0,24$  mm) dan sungai Ciasem ( $D_{60} = 0,22$  mm) dapat dilihat pada Gambar VI.38, VI.39, VI.40. Perilaku pasir dan mineral lumpur sungai Citanduy (*kaolinite*) memberikan hasil komposisi campuran 50% lumpur + 50% pasir adalah komposisi optimum untuk mendapatkan kekuatan geser (tegangan geser kritis tertinggi) karena setelah komposisi campuran itu akan terdapat kadar pasir lebih banyak dari lumpur dan memberikan nilai tegangan geser kritis erosi menjadi berkurang. Berkurangnya tegangan geser kritis dengan bertambahnya pasir lebih besar dari 50% ini selain karena **faktor gradasi pasir** juga karena **faktor mineral kaolinite** yang mempunyai nilai CEC paling kecil dibanding mineral lain (*illite* dan *montmorillonite*) lihat Tabel II.2.

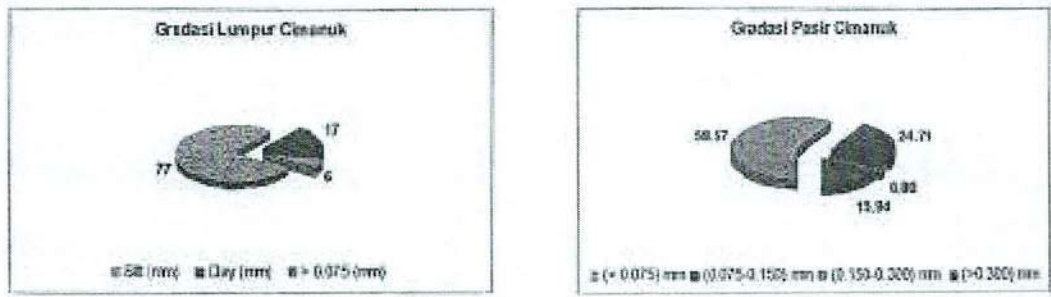
Perilaku pasir dan lumpur sungai Cimanuk juga memberikan hasil komposisi campuran 50% lumpur + 50% pasir untuk mendapatkan tegangan geser kritis tertinggi, setelah pasir bertambah menjadi 60% diperoleh tegangan geser kritis yang lebih rendah. Bertambahnya pasir melebihi 50% membuat ketahanan erosi berkurang. Walaupun mineral lumpur yang terkandung adalah **montmorillonite** tetapi gradasi pasir dari sedimen sungai Cimanuk  $D_{60} = 0,24$  mm lebih kasar dari pasir sedimen sungai Citanduy dan Ciasem sehingga komposisi campuran 50% lumpur + 50% pasir adalah komposisi optimum untuk memperoleh tegangan geser kritis tertinggi. *Montmorillonite* mempunyai nilai CEC yang lebih besar dari *kaolinite* (mineral sungai Citanduy) sehingga mempunyai daya lekat yang lebih kuat dibanding lumpur sungai Citanduy.



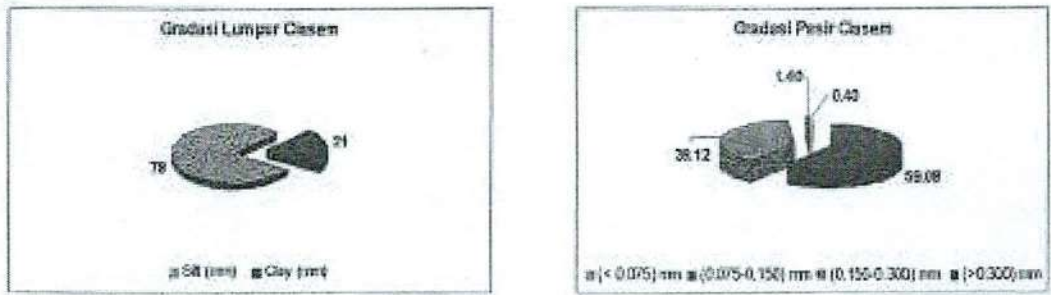
Gradasi pasir ( $D_{60}=0,22\text{ mm}$ ) dari sungai Ciasem adalah cukup halus dibanding 2 sedimen sungai lain karena lebih halus dari sedimen sungai Cimanuk tetapi lebih kasar sedikit dari sedimen sungai Citanduy. Mineral yang dikandung lumpur sungai Ciasem adalah **montmorillonite** sehingga menghasilkan ikatan cukup kuat dibanding mineral lain (*illite* dan *kaolinite*). Hal ini membuat kekuatan geser bertambah sampai komposisi campuran 40% lumpur + 60% pasir.



Gambar VI.38 Gradasi lumpur dan pasir Citanduy



Gambar VI.39 Gradasi lumpur dan pasir Cimanuk



Gambar VI.40 Gradasi lumpur dan pasir Ciasem

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan, ketahanan erosi atau tegangan geser kritis erosi dipengaruhi oleh komposisi campuran sedimen dan lebih spesifik dari komposisi campuran ini adalah gradasi pasir dan mineral lumpur sedimen.

#### Persamaan umum tegangan geser kritis erosi vs massa jenis

Berdasarkan mineral yang terkandung dalam lumpur, maka persamaan umum dapat dibedakan menjadi 2 yaitu untuk mineral *kaolinite* (Citanduy) dan *montmorillonite* (Cimanuk dan Ciasem). dapat dilihat pada Gambar IV.41

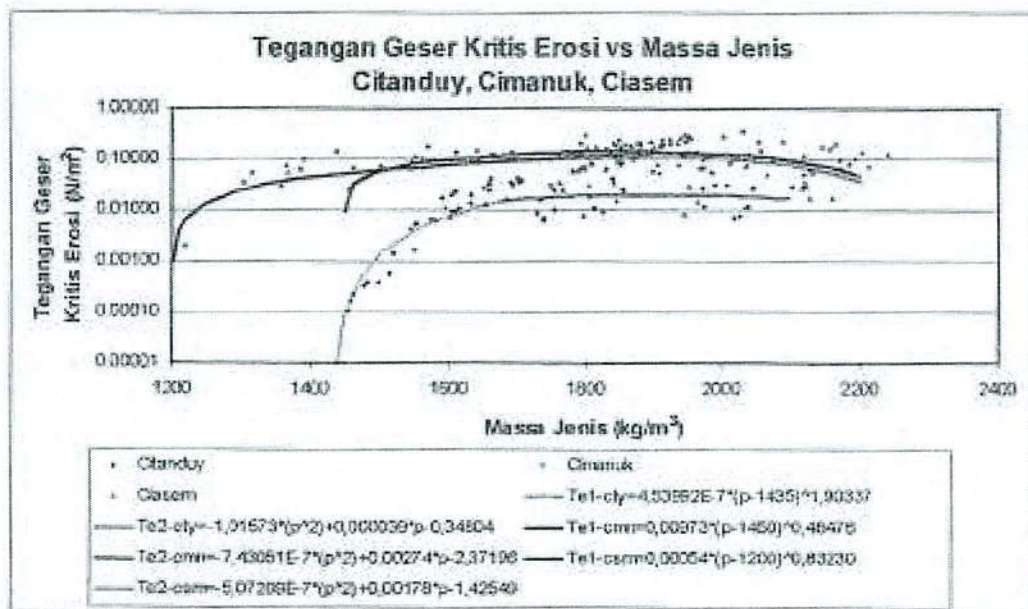
Persamaan untuk mineral *kaolinite*:

- Persamaan pertama : persamaan (6.1)  $\tau_{cr1} = E1 (\rho_b - \rho_m)^{E2}$   
 dengan  $E1 = 4,5 \text{ E-}7$   
 $E2 = 1,90$   
 Nilai  $\rho_m$  tergantung dari gradasi lumpur sungai,  
 $\rho_m = 1150 - 1450 \text{ kg/m}^3$  untuk lempung lunak.
- Persamaan kedua: persamaan (6.2)  $\tau_{cr2} = a (\rho_b)^2 + b (\rho_b) + c$   
 dengan  $a = -1,01573 \text{ E-}7$   
 $b = 0,00039$   
 $c = -0,34804$

Persamaan untuk mineral *montmorillonite*:

- Persamaan pertama : persamaan (6.1)  $\tau_{cr1} = E1 (\rho_b - \rho_m)^{E2}$   
 dengan  $E1 = 0,0005 - 0,0097$   
 $E2 = 0,4648 - 0,8323$   
 Nilai  $\rho_m$  tergantung dari gradasi lumpur sungai,  
 $\rho_m = 1150 - 1450 \text{ kg/m}^3$  untuk lempung lunak.
- Persamaan kedua: persamaan (6.2)  $\tau_{cr2} = a (\rho_b)^2 + b (\rho_b) + c$   
 dengan  $a = -5,0 \text{ E-}7 - -7,4 \text{ E-}7$   
 $b = 0,0017 - 0,0027$   
 $c = -1,42 - -2,37$





Gambar VI.41 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis Citanduy, Cimanuk, Ciasem

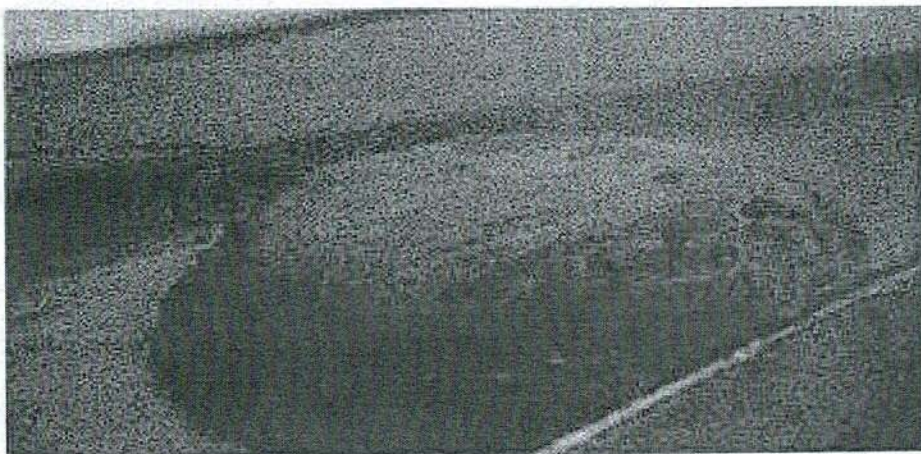
### Mode erosi

Mode erosi pada sedimen campuran lumpur dan pasir terbagi 2. Apakah tererosi seperti pasir (non kohesif) atau seperti lumpur (kohesif)? Mode erosi kohesif ada 2 tipe (Bab II). Dalam penelitian ini (3 sedimen sungai) yang terjadi adalah tipe 1 yaitu ada suatu puncak *erotion rate* yang cepat menurun dan dikenal sebagai "*benign*" *erotion* (Amos dkk, 1992). Dalam hal ini laju erosi dapat berubah dengan cepat dan menjadi tidak konstan.

Pada lempung laponite yang dicampur dengan pasir mengalami transisi mode non kohesif ke mode kohesif pada 5 – 15 % kadar lempung (Alvarez-Hernandez, 1990). Percobaan yang sama dengan *montmorilonite* menunjukkan zona transisi mode pada 7 – 13 % kadar *montmorilonite* (Mitchener dan Torfs, 1996). Percobaan dengan material *kaolinite* mengalami transisi mode pada 3 % kadar kaolin (Torfs, 1995) sedangkan dari seluruh percobaan yang telah dilakukan dengan 7 komposisi campuran sedimen sungai Citanduy memperlihatkan mode erosi kohesif dan tidak terlihat transisi mode. Diperkirakan transisi mode pada 3 – 10 % kadar lumpur, karena komposisi campuran terkecil yang diteliti adalah 10 % lumpur. Ini sesuai dengan mineral material kohesif yaitu sebagian besar

*kaolinite* dan juga hasil penelitian yang pernah dilakukan. Tetapi pada sedimen sungai Cimanuk, mode erosi yang terjadi pada lapisan permukaan atas dari 10% lumpur adalah mode non kohesif, tetapi pada lapisan permukaan kedua dan ketiga terjadi mode kohesif, atau bergantian bila dilihat secara keseluruhan dapat dikatakan 10% lumpur merupakan zona transisi mode, begitu juga pada sedimen sungai Ciasem. Mineral lumpur dari sedimen Cimanuk dan Ciasem adalah *montmorillonite*.

Mode erosi yang terjadi untuk 7 komposisi campuran sedimen sungai Citanduy (kaolin) adalah mode kohesif, tidak terlihat transisi mode, transisi mode diperkirakan terjadi dibawah komposisi 10 % lumpur. Untuk sedimen sungai Cimanuk dan Ciasem (*montmorillonite*) transisi mode terjadi pada 10% lumpur setelah kadar lumpur lebih besar dari 10% terjadi mode kohesif. Dari pembahasan diatas, transisi mode dipengaruhi oleh mineral yang terkandung dari lumpur.



Gambar VI.42 Permukaan sebelum erosi pada 60 % lumpur



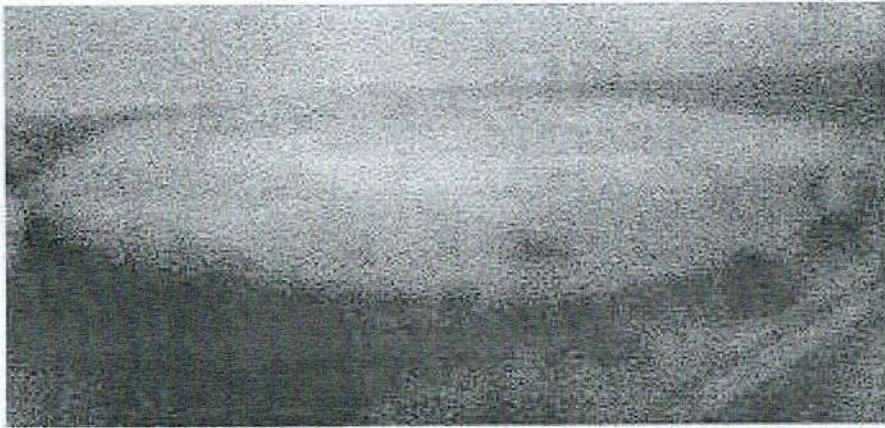


Gambar VI.43 Mode erosi kohesif pada 60% lumpur



Gambar VI.44 Permukaan setelah erosi pada 60 % lumpur





Gambar VI.45 Permukaan sebelum erosi pada 20 % lumpur



Gambar VI.46 Mode erosi kohesif pada 20 % lumpur

### Struktur Sedimen

Pada komposisi campuran sedimen 10% lumpur sudah memperlihatkan mode erosi kohesif, ini dapat dijelaskan dengan struktur sedimen. Pendekatan struktur oleh Dade dan Nowell (1991) bahwa fraksi padat dari mineral lempung membentuk sebuah struktur jaringan yang terdiri dari lumpur. Pengisian awal ruang dengan fraksi padat sekitar 0,01 sampai 0,05 yang berhubungan dengan konsentrasi sedimen  $20 - 200 \text{ kg/m}^3$  membuat sedimen bekerja sebagai lumpur dan butiran pasir akan terperangkap di antara matrik kohesif. Jika dikonversikan pada % fraksi massa lumpur, ini akan menjadi 3 – 15 % lumpur dalam campuran sedimen sudah membuat sedimen berkelakuan kohesif (Bab 2.3.3.3).



Partikel lempung mengalami kondisi pelekatan awal dan membentuk struktur jaringan yang disebut dengan perilaku "*space filling*". Dapat dilihat pada *scanning electron microscope plates* dari campuran kaolin/pasir, dengan 5 % dan 19,3 % kaolin menunjukkan efek ikatan dari struktur jaringan lempung. Pada 5 % kaolin terlihat flok lempung berhubungan dengan pasir di beberapa tempat tetapi jaringan lempung belum berkembang di sekitar pasir. Pada 19,3 % kaolin menunjukkan ikatan kohesif sudah mendominasi dimana lempung sudah berada di sekitar pasir dan "*space filling*" sudah terbentuk sebelumnya.

### *Erosion resistance*

Nilai tegangan geser kritis erosi mengindikasikan *erosion resistance* meningkat sebanding dengan meningkatnya kadar pasir. Dasar dengan pasir 0% tererosi pada tegangan geser antara 0,00001 – 0,00057 N/m<sup>2</sup>, sedangkan dengan dasar yang berpasir 50 % membutuhkan tegangan geser yang lebih tinggi yaitu 0,0207 – 0,04127 N/m<sup>2</sup>. Tetapi bertambahnya pasir melebihi 50% pada sedimen sungai Citanduy membuat *erosion resistance* berkurang sampai menjadi 0.00636 – 0,02459 N/m<sup>2</sup>. Ini juga terjadi pada sedimen sungai Cimanuk tetapi dengan nilai berbeda. Untuk sungai Ciasem *erosion resistance* meningkat sampai kadar pasir 60% dengan nilai awal pada 0% pasir 0.00204 – 0,05602 N/m<sup>2</sup> kemudian meningkat pada 60% pasir menjadi 0,03461 - 0.21495 N/m<sup>2</sup> dan berkurang sampai 0.01492 - 0.01676 N/m<sup>2</sup>.

### CEC

Seperti diketahui bahwa komposisi mineral terbesar pada sedimen sungai Citanduy adalah *kaolinite* dimana luas permukaan dan nilai CEC dari *kaolinite* adalah terendah dibandingkan dengan luas permukaan dan nilai CEC untuk *illite* dan *montmorillonite* (Tabel II.2). CEC adalah kapasitas penyerapan dan penyimpanan kation anion dalam keadaan dapat ditukar. Ini mengakibatkan ikatan antar partikel lemah sehingga *erosion resistance* juga rendah yang berarti mudah tererosi dan tegangan geser kritis erosi lebih rendah dibanding mineral lain. Ini menjelaskan nilai-nilai tegangan geser kritis yang diperoleh relatif lebih rendah dari penelitian-penelitian lain yang mengandung mineral yang berbeda

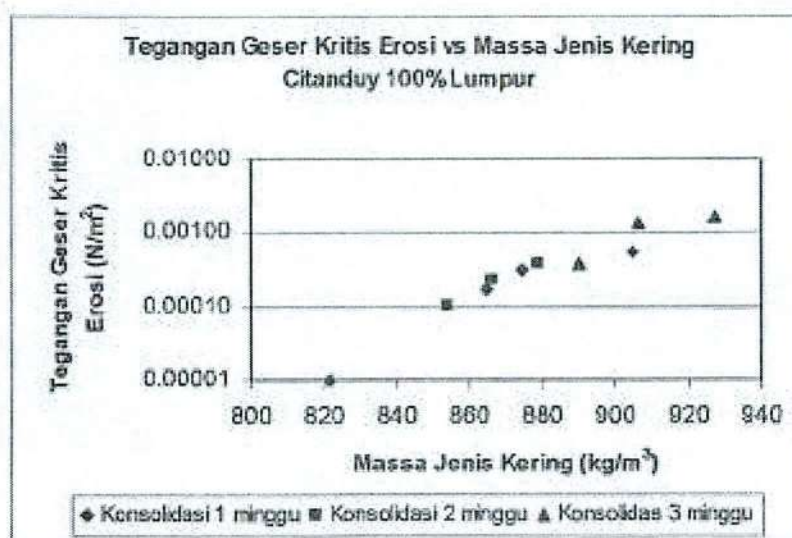
seperti sedimen sungai Cimanuk dan Ciasem. Kedua sedimen sungai itu mempunyai mineral *montmorillonite* yang memiliki nilai CEC paling tinggi (lihat Tabel II.2) sehingga tegangan geser yang diperoleh relatif lebih besar dibanding tegangan geser kritis erosi sedimen sungai Citanduy.

## VI.2 Tegangan Geser Kritis Erosi Dengan Massa Jenis Kering (*Dry Density*)

### VI.2.1 Sedimen Sungai Citanduy

#### VI.2.1.1 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 100% Lumpur

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis kering cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis kering cenderung naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis kering cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikannya setiap minggu relatif sama.

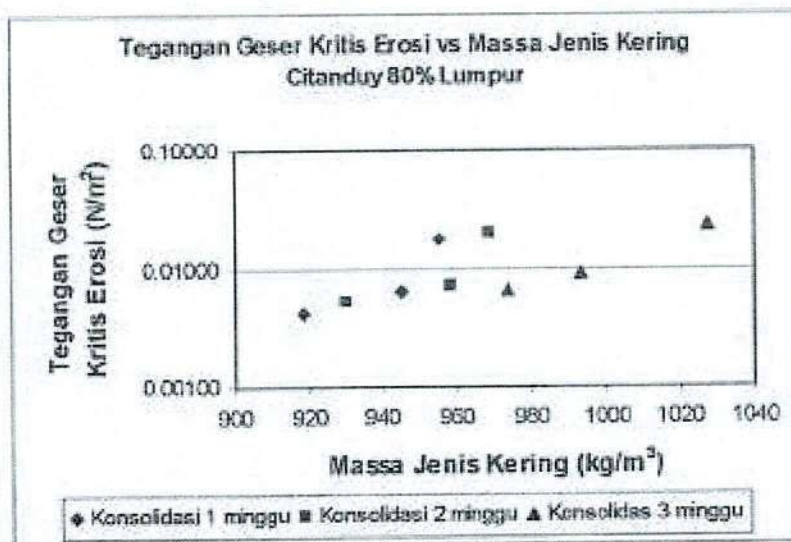


Gambar VI.47 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen 100% lumpur (Citanduy)



#### VI.2.1.2 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 80% Lumpur + 20% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 6 cm kenaikannya meningkat. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 6 cm kenaikannya meningkat. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu sedikit lebih mendekati konsolidasi 1 minggu.

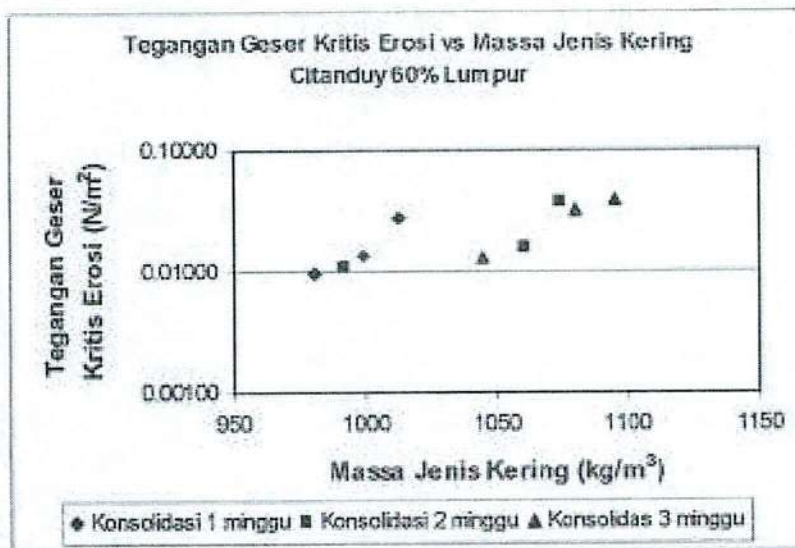


Gambar VI.48 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 80% lumpur + 20% pasir (Citanduy)

#### VI.2.1.3 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 60% Lumpur + 40% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 6 cm kenaikannya meningkat. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 3 cm kenaikannya

sedikit menurun. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu sedikit lebih mendekati konsolidasi 1 minggu.

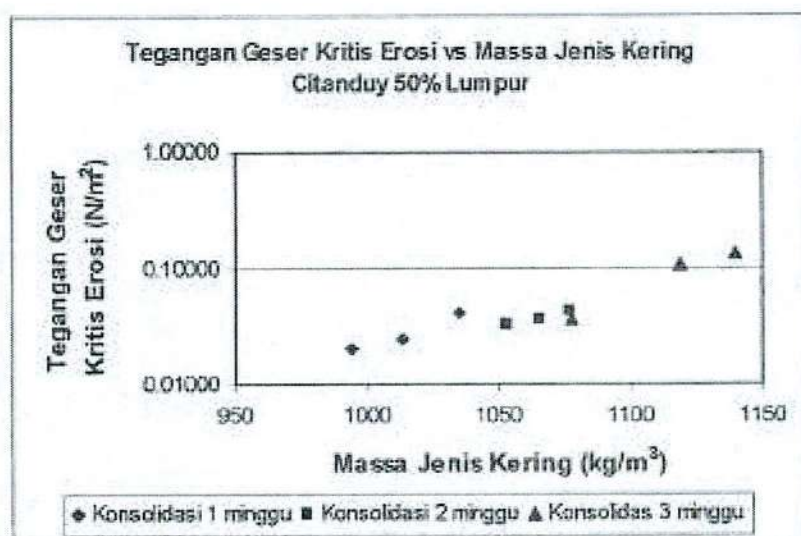


Gambar VI.49 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 60% lumpur + 40% pasir (Citanduy)

#### VI.2.1.4 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 50% Lumpur + 50% Pasir

Konsolidasi 1 dan 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikannya relatif sama.

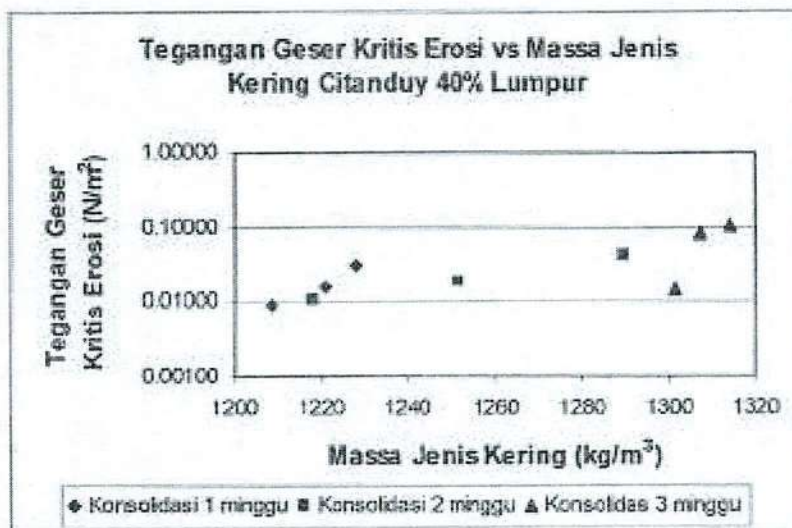




Gambar VI.50 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 50% lumpur + 50% pasir (Citanduy)

#### VI.2.1.5 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 40% Lumpur + 60% Pasir

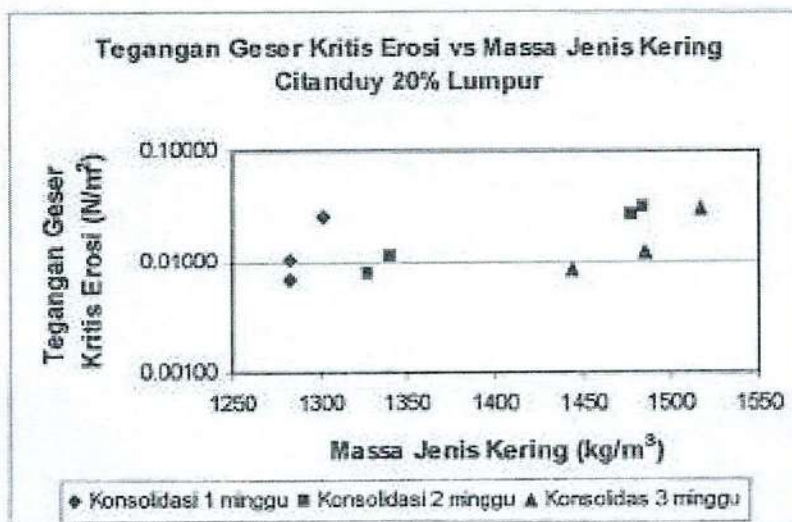
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 6 cm kenaikannya menjadi menurun. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu paling kecil, dibandingkan dgn konsolidasi 1 minggu dan 3 minggu.



Gambar VI.51 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 40% lumpur + 60% pasir (Citanduy)

#### VI.2.1.6 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 20% Lumpur + 80% Pasir

Konsolidasi 1, 2, 3 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 0 cm ke 3 cm kenaikannya kecil pada konsolidasi 3 minggu.

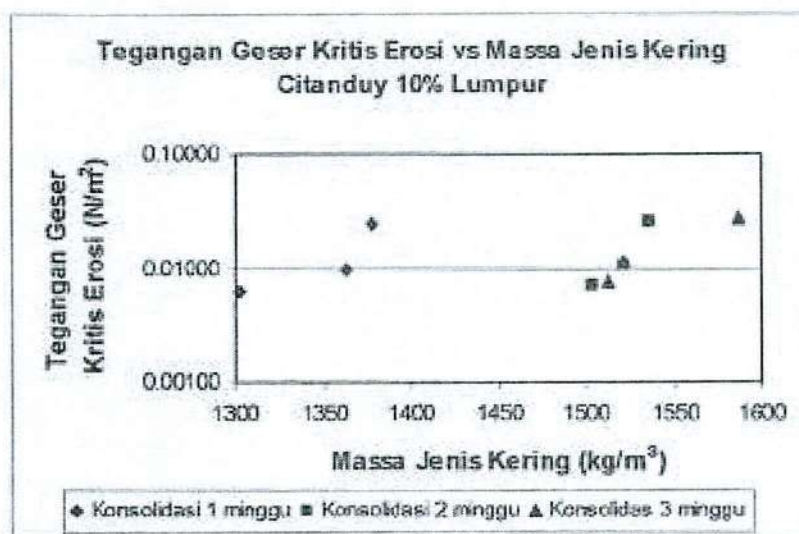


Gambar VI.52 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering sedimen campuran 20% lumpur + 80% pasir (Citanduy)



#### VI.2.1.7 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 10% Lumpur + 90% Pasir

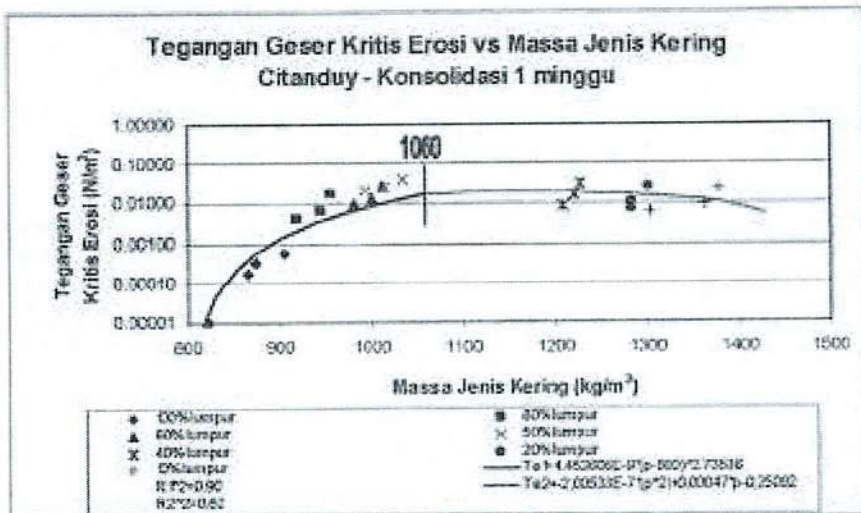
Konsolidasi 1, 2, 3 minggu sejalan naiknya massa jenis relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu paling besar, dibandingkan dgn konsolidasi 1 minggu dan 3 minggu.



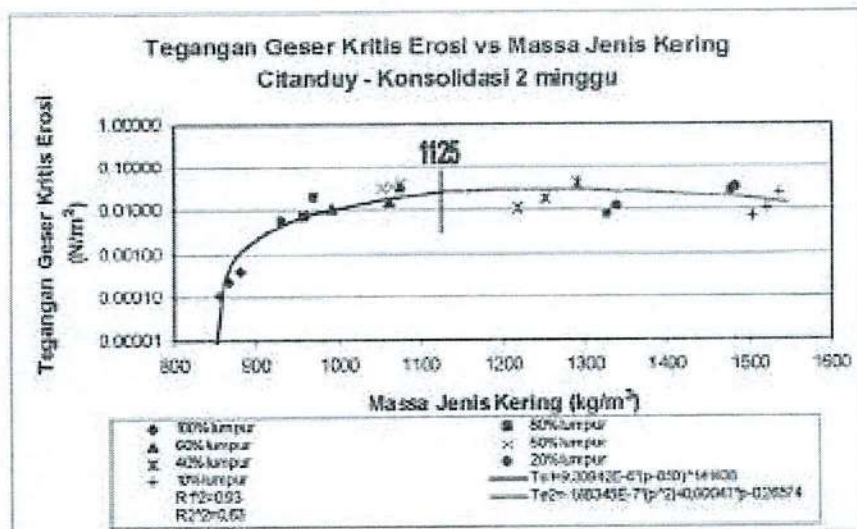
Gambar VI.53 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 10% lumpur + 90% pasir (Citanduy)

#### VI.2.1.8 Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi terhadap Massa Jenis Kering (*Dry Density*)

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (*dry density*) pada konsolidasi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, sebagai berikut :

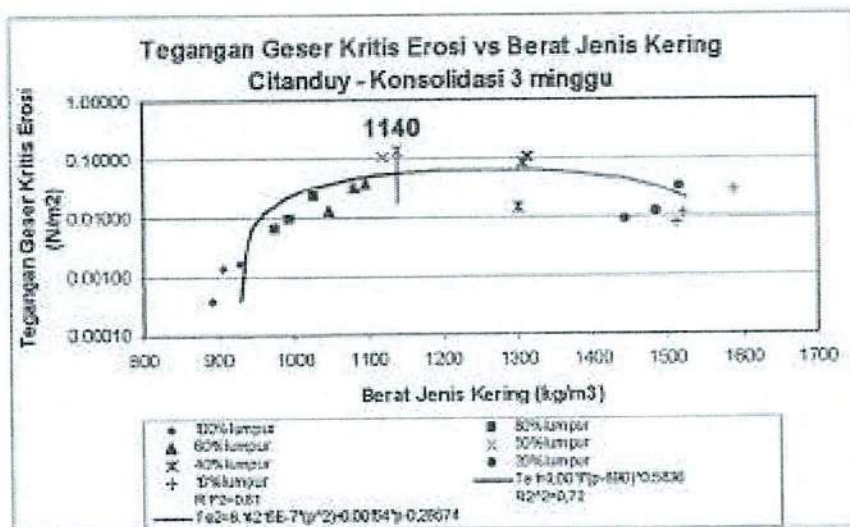


Gambar VI.54 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Citanduy - konsolidasi 1 minggu)

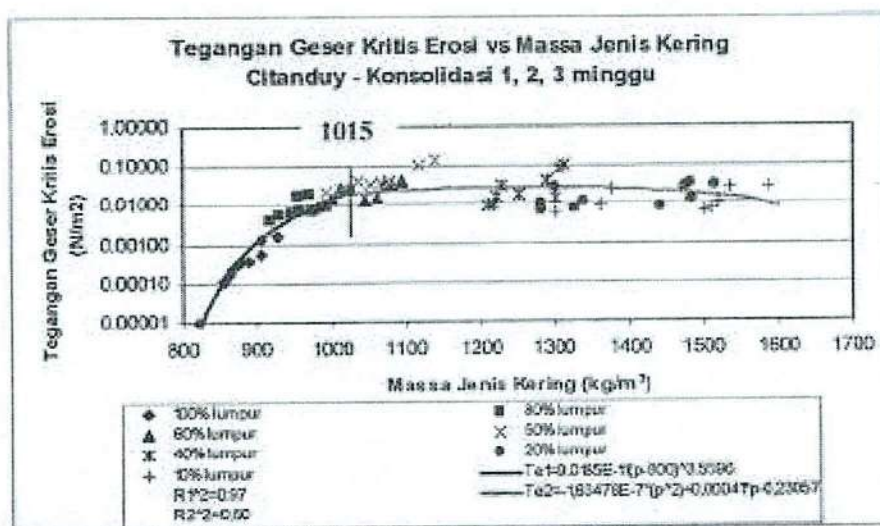


Gambar VI.55 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Citanduy - konsolidasi 2 minggu)

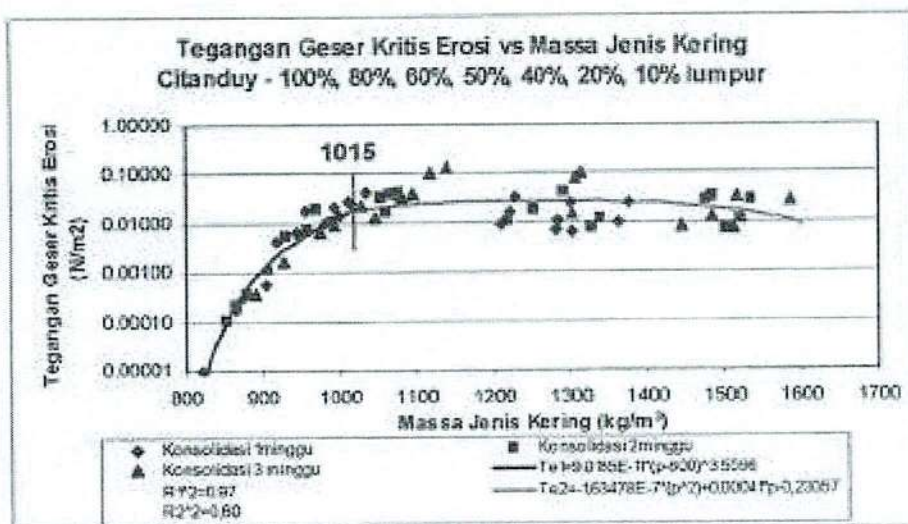




Gambar VI.56 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Citanduy - konsolidasi 3 minggu)



Gambar VI.57 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Citanduy - konsolidasi 1, 2, 3 minggu)



Gambar VI.58 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Citanduy)

Gambar VI.53, VI.54, VI.55, VI.56 dan VI.57 menunjukkan tegangan geser kritis erosi yang bertambah besar seiring dengan kenaikan massa jenis kering sampai batas tertentu dan dapat dinyatakan dengan persamaan (6.4). Setelah batas tersebut tegangan geser kritis erosi berkurang seiring dengan bertambahnya komposisi pasir lebih dari 50%. dan dinyatakan dengan persamaan (6.5). Sama seperti hubungan tegangan geser kritis terhadap massa jenis (*bulk density*) mempunyai 2 daerah persamaan.

$$\tau_{cr1} = E1 (\rho_d - \rho_m)^{E2} \quad (6.4)$$

dimana :

- $\tau_{cr1}$  : tegangan geser kritis erosi,  $N/m^2$
- $\rho_d$  : massa jenis kering (*dry density*),  $kg/m^3$
- $\rho_m$  : massa jenis minimum,  $kg/m^3$
- E1 : konstanta
- E2 : konstanta



Nilai-nilai  $E_1$ ,  $E_2$ , dan  $\rho_m$  berubah untuk tiap waktu konsolidasi. Ini menunjukkan bahwa waktu konsolidasi berpengaruh terhadap karakteristik sedimen, khususnya tegangan geser kritis erosi. Perubahan nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel VI.7.

Bertambahnya waktu konsolidasi membuat tanah semakin padat dan menambah nilai tegangan geser kritis erosi yang menandakan bertambahnya ketahanan erosi dengan semakin sukar untuk tererosi (lihat Gambar VI.57)

Persamaan (6.4) yang diperoleh memperlihatkan massa jenis dapat mempresentasikan hubungan tegangan geser kritis sebesar 90%, 93%, 81%, 67% (lihat Tabel VI.7)

Tabel VI.7 Nilai  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan Batas Massa Jenis Sedimen Sungai Citanduy (massa jenis kering)

| Konsolidasi<br>(minggu) | $E_1$      | $E_2$   | $\rho_m$<br>$\text{kg/m}^3$ | $R^2$ | Batas Massa<br>Jenis Kering<br>( $\text{kg/m}^3$ ) |
|-------------------------|------------|---------|-----------------------------|-------|----------------------------------------------------|
| 1                       | 4,45360E-7 | 2,73536 | 800                         | 0,90  | 1060                                               |
| 2                       | 9,30942E-6 | 1,41438 | 850                         | 0,93  | 1125                                               |
| 3                       | 0,00111    | 0,60059 | 890                         | 0,81  | 1425                                               |
| Gabungan                | 0,00013    | 0,86957 | 800                         | 0,67  | 1275                                               |

Batas massa jenis kering yang dimaksud adalah batas berlakunya persamaan (6.4) berpindah ke persamaan (6.5). Terlihat makin lama waktu konsolidasi makin besar batas massa jenis yang menandakan waktu konsolidasi berperan terhadap tegangan geser kritis erosi. Sehingga batas daerah berlakunya persamaan (6.4) makin bertambah dimana bertambahnya waktu konsolidasi menambah massa jenis dan tegangan geser kritis erosi.

Persamaan kedua:

$$\tau_{cr2} = a (\rho_d)^2 + b (\rho_d) + c \quad (6.5)$$

dimana :

$\tau_{cr2}$  : tegangan geser kritis erosi,  $N/m^2$

$\rho_d$  : massa jenis (bulk density),  $kg/m^3$

a, b, c : konstanta

Tabel VI.8 Nilai a, b, c, dan  $R^2$  Sedimen Sungai Citanduy (massa jenis kering)

| Konsolidasi<br>(minggu) | a           | b       | c        | $R^2$ |
|-------------------------|-------------|---------|----------|-------|
| 1                       | -2,00533E-7 | 0,00047 | -0,25092 | 0,62  |
| 2                       | -1,88345E-7 | 0,00047 | -0,26574 | 0,63  |
| 3                       | -6,14215E-7 | 0,00154 | -0,90148 | 0,72  |
| Gabungan                | -1,63478E-7 | 0,00041 | -0,23057 | 0,60  |

Pada daerah berlakunya persamaan kedua, massa jenis kering bertambah karena bertambahnya komposisi pasir, di sini bukan berarti tegangan geser kritis erosi juga bertambah. Karena lebih menonjol sifat non kohesif maka erosi tergantung dari ukuran butir sedimen sehingga bertambahnya massa jenis tidak menambah tegangan geser kritis erosi (tidak seperti pada persamaan pertama) tetapi makin memperbesar sifat non kohesif dan ikatan kohesif hilang. Ini membuat tegangan geser kritis erosi menjadi berkurang. Sama seperti pada tegangan geser kritis erosi terhadap massa jenis.

Persamaan (6.5) yang diperoleh memperlihatkan bahwa pada daerah massa jenis persamaan kedua ini, massa jenis hanya dapat mempresentasikan hubungan tegangan geser kritis sebesar 62%, 63%, 72%, 60% (lihat Tabel VI.8). Pada bagian ini jelas sekali sifat non kohesif lebih berperan dimana erosi tergantung dari ukuran butiran maka massa jenis hanya dapat mempresentasikan tegangan

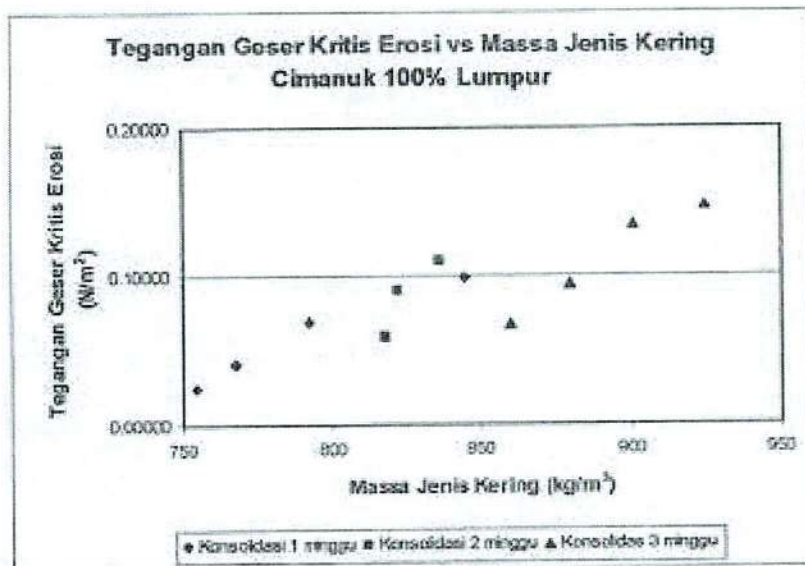


geser kritis dengan nilai seperti tersebut di atas. Dengan demikian waktu konsolidasi tidak membuat tegangan geser kritis bertambah seperti terlihat pada Gambar VI.57.

## VI.2.2. Sungai Cimanuk

### VI.2.2.1 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 100% Lumpur

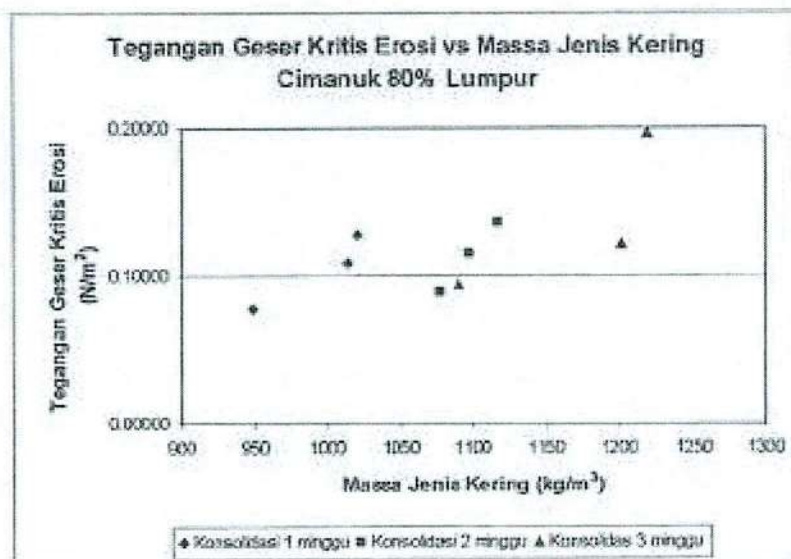
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi, hanya saja pada kedalaman 6 cm kenaikannya menjadi menurun. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 1 minggu mendekati konsolidasi 3 minggu.



Gambar VI.59 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen 100% lumpur (Cimanuk)

#### VI.2.2.2 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 80% Lumpur + 20% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi, hanya pada kedalaman 0 cm ke 3 cm kenaikannya mengecil. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu mendekati konsolidasi 1 minggu.



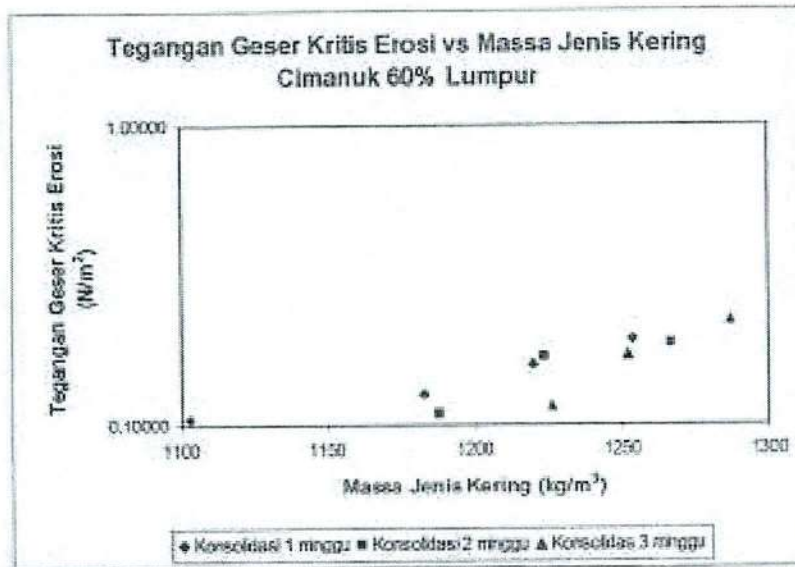
Gambar VI.60 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 80% lumpur+20% pasir (Cimanuk)

#### VI.2.2.3 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 60% Lumpur + 40% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi, hanya saja pada kedalaman 30 ke 6 cm kenaikannya meningkat. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser



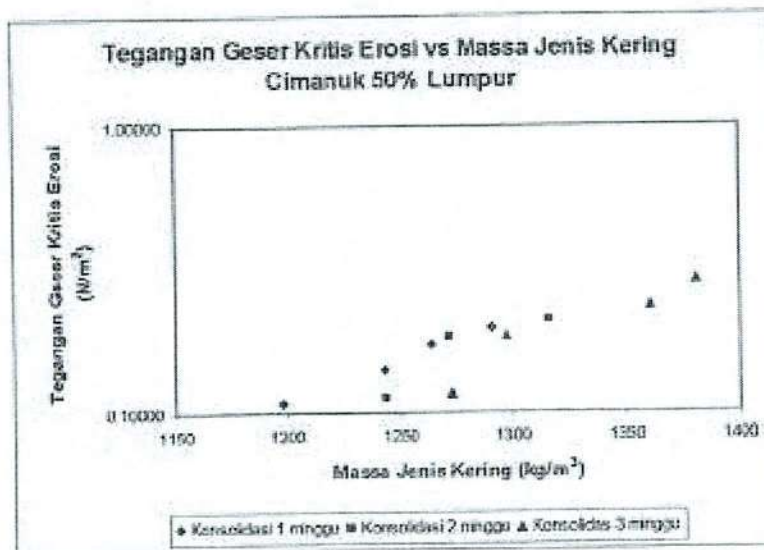
kritis erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 1 minggu mendekati konsolidasi 2 minggu.



Gambar VI.61 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 60% lumpur + 40% pasir (Cimanuk)

#### VI.2.2.4 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 50% Lumpur + 50% Pasir

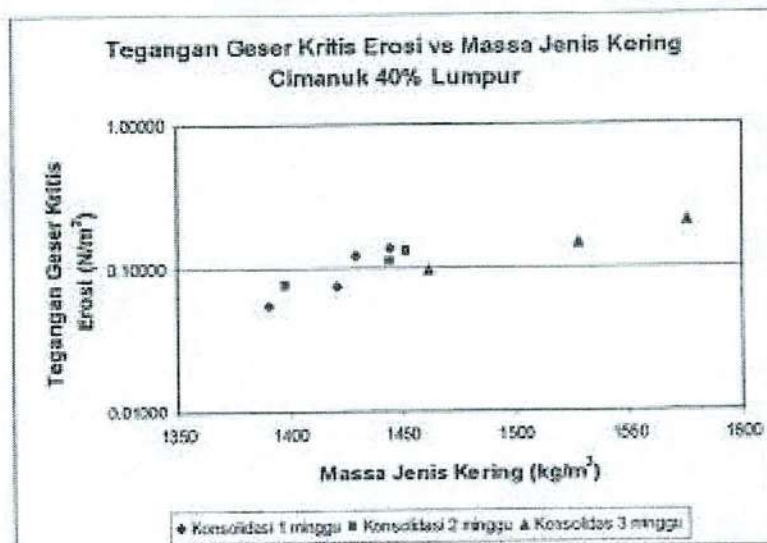
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi ketiganya relatif sama.



Gambar VI.62 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 50% lumpur + 50% pasir (Cimanuk)

#### VI.2.2.5 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 40% Lumpur + 60% Pasir

Konsolidasi 1, 2, 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 3 cm ke 6 cm kenaikannya mengecil. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu mendekati konsolidasi 3 minggu.

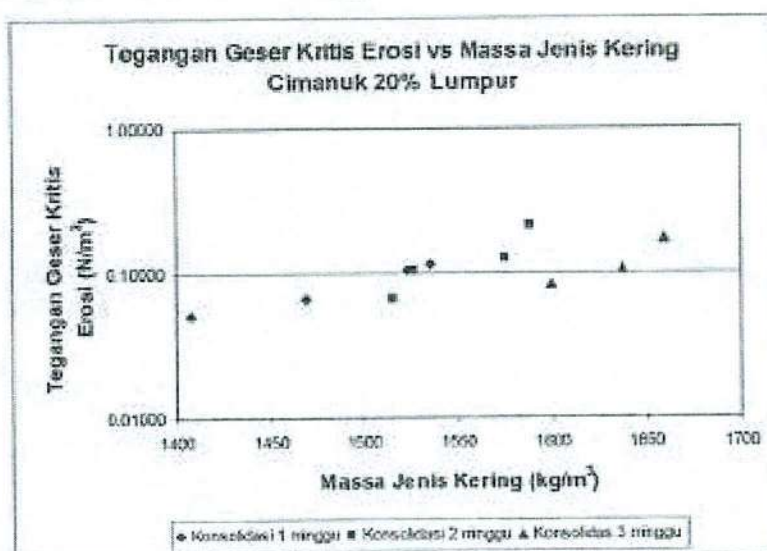


Gambar VI.63 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 40% lumpur + 60% pasir (Cimanuk)



#### VI.2.2.6 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 20% Lumpur + 80% Pasir

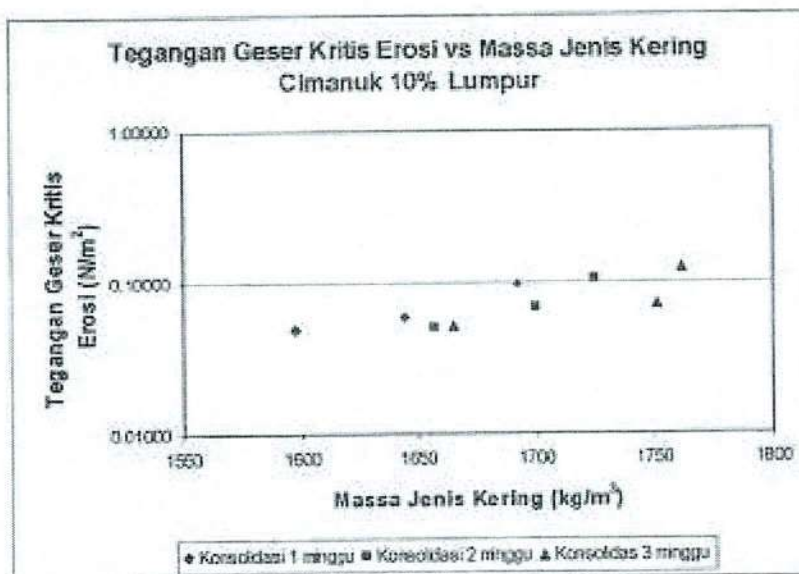
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi, hanya saja pada kedalaman 0 cm ke 3 cm kenaikannya meningkat. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu mendekati konsolidasi 3 minggu.



Gambar VI.64 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering sedimen campuran 20% lumpur + 80% pasir (Cimanuk)

#### VI.2.2.7 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 10% Lumpur + 90% Pasir

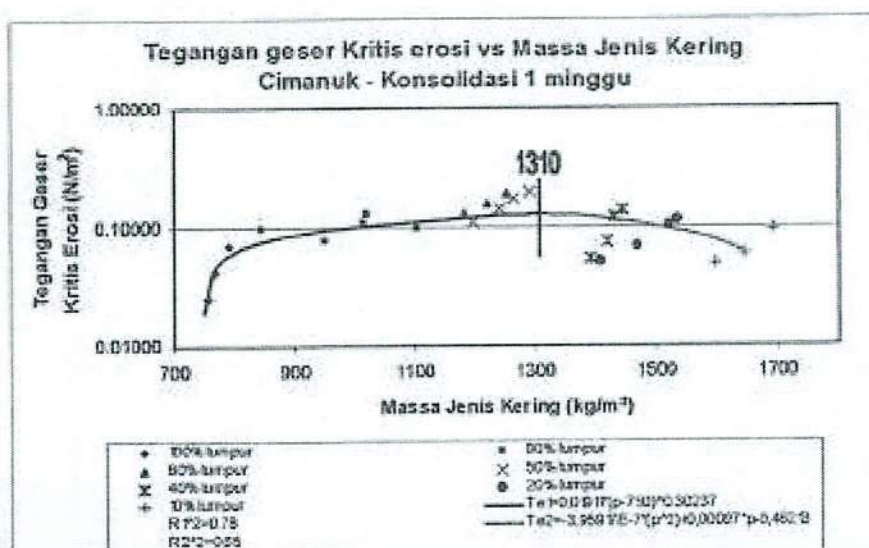
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi, hanya saja pada kedalaman 3 cm ke 6 cm kenaikannya meningkat. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 1 minggu mendekati konsolidasi 2 minggu.



Gambar VI.65 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 10% lumpur + 90% pasir (Cimanuk)

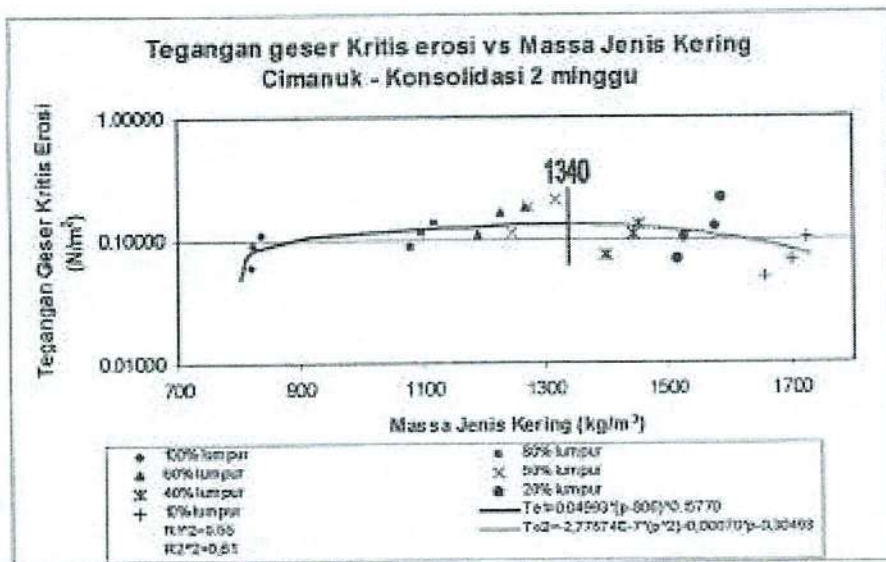
#### VI.2.2.8 Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi terhadap Massa Jenis Kering (*Dry Density*)

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (dry density) pada konsolidasi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, sebagai berikut :

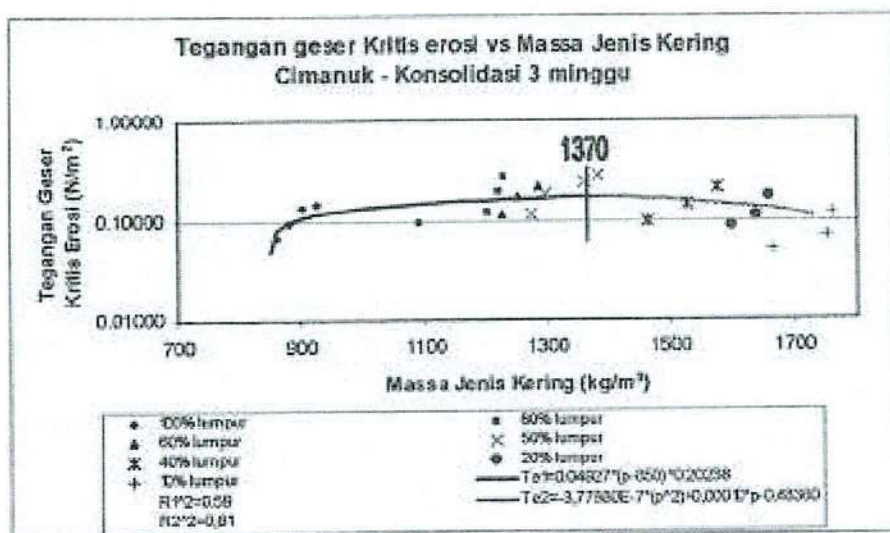


Gambar VI.66 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Cimanuk - konsolidasi 1 minggu)

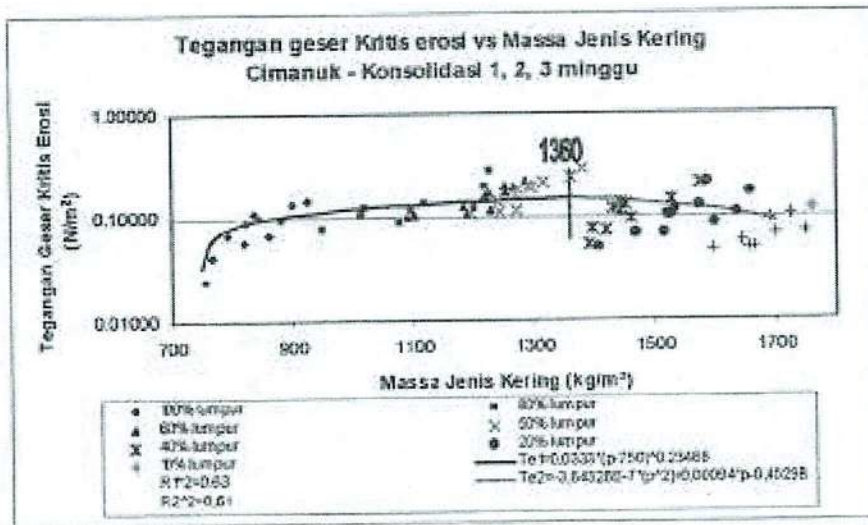




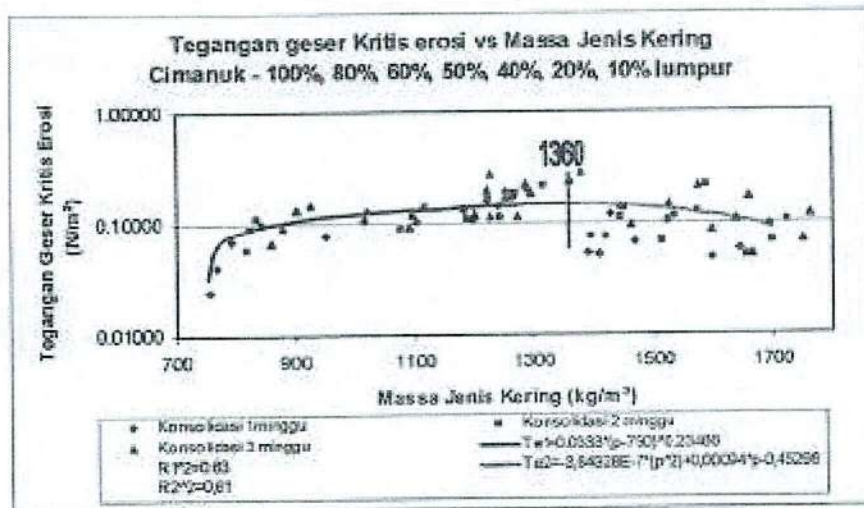
Gambar VI.67 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Cimanuk - konsolidasi 2 minggu)



Gambar VI.68 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Cimanuk - konsolidasi 3 minggu)



Gambar VI.69 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Cimanuk - konsolidasi 1, 2, 3 minggu)



Gambar VI.70 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Cimanuk)

Gambar VI.65, VI.66, VI.67, VI.68 dan VI.69 menunjukkan 2 daerah persamaan seperti pada sedimen sungai Citanduy yaitu persamaan (6.4) untuk daerah tegangan geser kritis erosi yang bertambah besar seiring dengan kenaikan massa jenis kering sampai batas tertentu dan persamaan (6.5) untuk daerah tegangan



geser kritis yang berkurang dengan bertambahnya komposisi pasir lebih dari 50%. Nilai-nilai  $E1$ ,  $E2$ ,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan batas massa jenis seperti terlihat pada Tabel VI.9

Tabel VI.9 Nilai  $E1$ ,  $E2$ ,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan Batas Massa Jenis Sedimen Sungai Cimanuk (massa jenis kering)

| Konsolidasi<br>(minggu) | $E1$    | $E2$    | $\rho_m$<br>kg/m <sup>3</sup> | $R^2$ | Batas Massa<br>Jenis Kering<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|---------|---------|-------------------------------|-------|-----------------------------------------------------|
| 1                       | 0,01911 | 0,30237 | 750                           | 0,78  | 1310                                                |
| 2                       | 0,04993 | 0,15770 | 800                           | 0,55  | 1340                                                |
| 3                       | 0,04927 | 0,20238 | 850                           | 0,59  | 1370                                                |
| Gabungan                | 0,03330 | 0,23466 | 750                           | 0,63  | 1360                                                |

Nilai  $E1$  dari konsolidasi 2 dan 3 minggu lebih besar dari konsolidasi 1 minggu dan  $E2$  lebih kecil dibandingkan dengan konsolidasi 1 minggu. Bila dibandingkan dengan nilai  $E1$  dari sedimen sungai Citanduy, nilai  $E1$  cenderung lebih besar dan nilai  $E2$  cenderung lebih kecil. Ini menandakan karakteristik sedimen untuk masing-masing sungai berbeda.

Nilai determinasi dari masing-masing konsolidasi hanya berkisar 55 – 78 % yang berarti bahwa untuk sedimen sungai Cimanuk, massa jenis hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis sebesar 89 – 97%, nilai ini tidak sebesar nilai determinasi untuk sedimen sungai Citanduy (minimal 67 %).

Batas massa jenis kering juga bertambah dengan bertambahnya waktu konsolidasi, hal ini sama seperti pada sedimen sungai Citanduy hanya nilai batas lebih besar pada sungai Cimanuk. Ini dapat dijelaskan dengan kehadiran gradasi pasir yang lebih besar pada sedimen sungai Cimanuk dibandingkan sedimen sungai Citanduy.

Tabel VI.10 Nilai a, b, c, dan  $R^2$  Sedimen Sungai Cimanuk (massa jenis kering)

| Konsolidasi<br>(minggu) | A           | b       | c        | $R^2$ |
|-------------------------|-------------|---------|----------|-------|
| 1                       | -3,95917E-7 | 0,00097 | -0,46213 | 0,65  |
| 2                       | -2,77574E-7 | 0,00070 | -0,30493 | 0,61  |
| 3                       | -3,77879E-7 | 0,00100 | -0,48360 | 0,60  |
| Gabungan                | -3,64328E-7 | 0,00094 | -0,45298 | 0,61  |

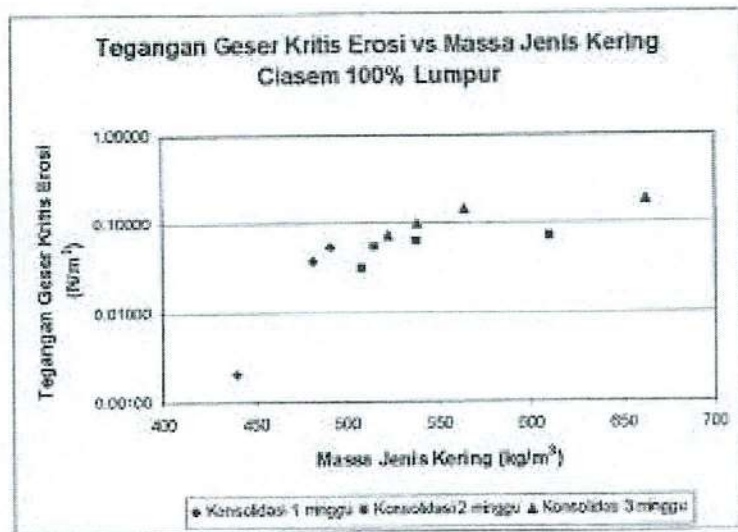
Pada daerah berlakunya persamaan (6.5) memperlihatkan massa jenis hanya dapat mempresentasikan hubungannya dengan tegangan geser kritis erosi sebesar 73%, 69%, 70%, 65% (lihat Tabel VI.4). Sama seperti pada sedimen sungai Citanduy, pada daerah berlakunya persamaan kedua jelas sekali sifat non kohesif lebih berperan sehingga erosi tergantung dari ukuran butiran dan massa jenis hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis dengan nilai seperti tersebut di atas. Dengan demikian waktu konsolidasi tidak membuat tegangan geser kritis bertambah seperti terlihat pada Gambar VI.69.

### VI.2.3 Sungai Ciasem

#### VI.2.3.1 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen 100% Lumpur

Konsolidasi 1, 2, 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 6 cm ke 9 cm kenaikannya menurun. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu mendekati konsolidasi 3 minggu.

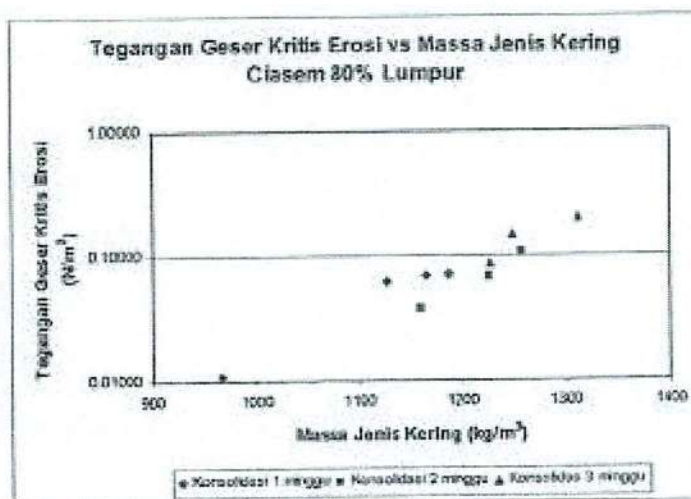




Gambar VI.71 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen 100% lumpur (Ciasem)

### VI.2.3.2 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 80% Lumpur + 20% Pasir

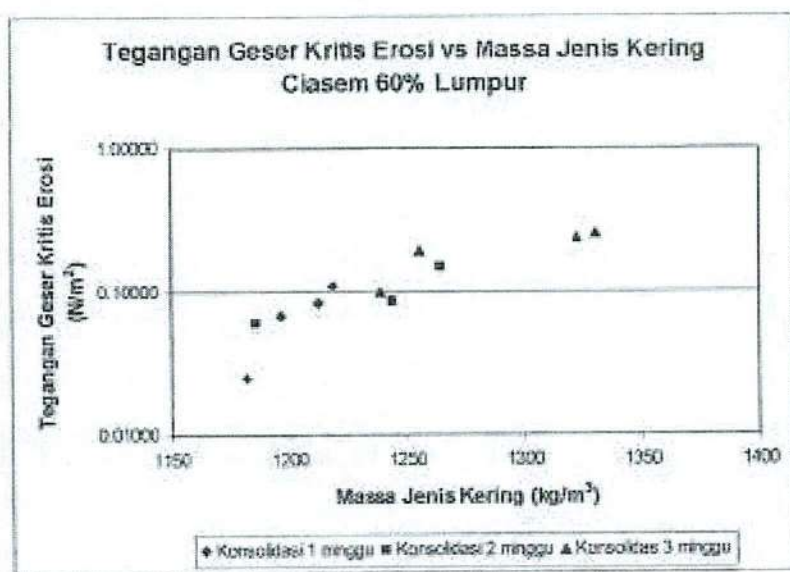
Konsolidasi 1, 2, 3 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 3 cm ke 6 cm kenaikannya menurun. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 1 minggu mendekati konsolidasi 2 minggu.



Gambar VI.72 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 80% lumpur+ 20% pasir (Ciasem)

### VI.2.3.3 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 60% Lumpur + 40% Pasir

Konsolidasi 1, 2, 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi setiap minggunya relatif sama.

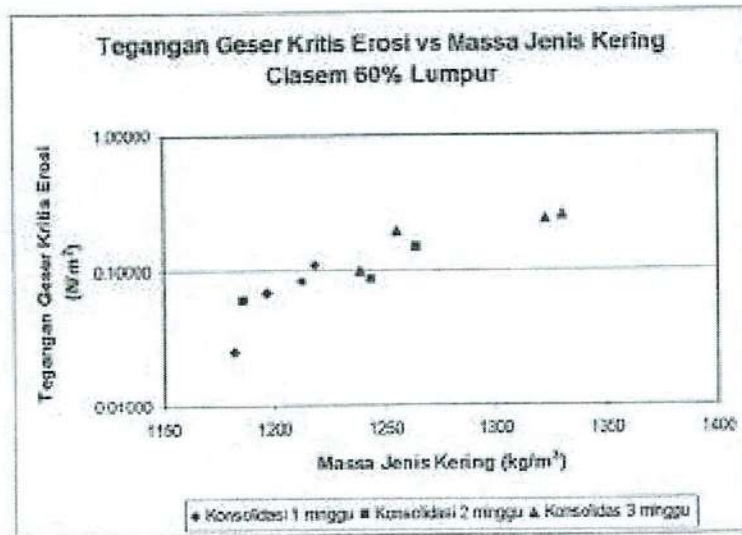


Gambar VI. 73 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 60% lumpur + 40% pasir (Ciasem)

### VI.2.3.4 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 50% Lumpur + 50% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosi. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 1 minggu mendekati konsolidasi 3 minggu.

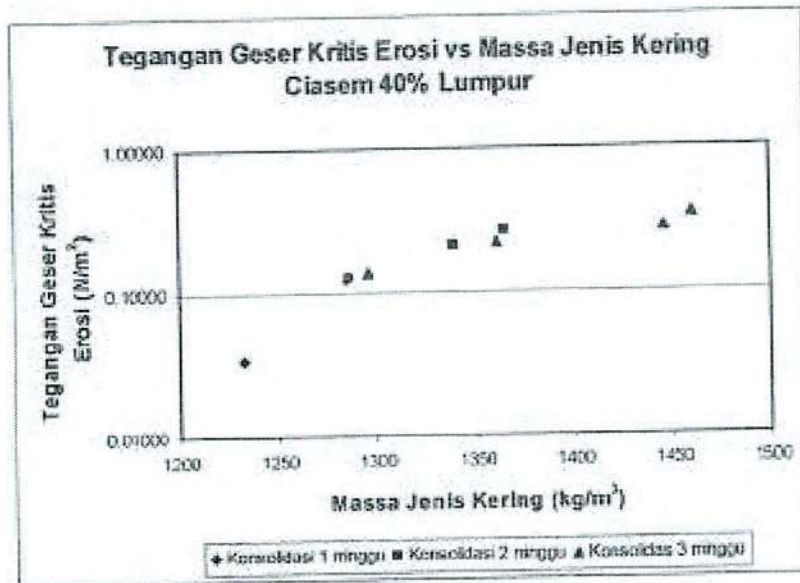




Gambar VI.74 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 50% lumpur + 50% pasir (Clasem)

#### VI.2.3.5 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 40% Lumpur + 60% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 0 cm ke 3 cm kenaikannya relatif meningkat. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 2 minggu mendekati konsolidasi 3 minggu.

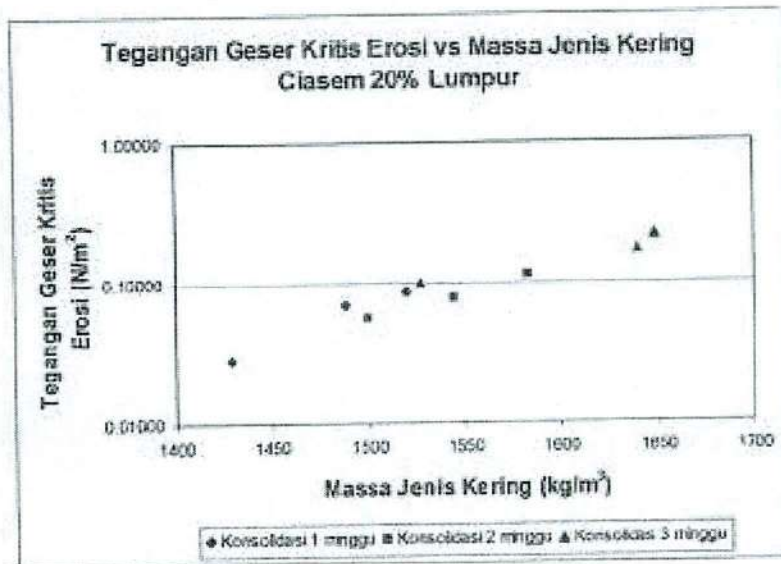


Gambar VI.75 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 40% lumpur + 60% pasir (Ciasem)

#### VI.2.3.6 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 20% Lumpur + 80% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 0 cm ke 3 cm kenaikannya relatif meningkat. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif naik konstan nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 3 cm ke 6 cm kenaikannya relatif menurun. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 1 minggu mendekati konsolidasi 2 minggu.

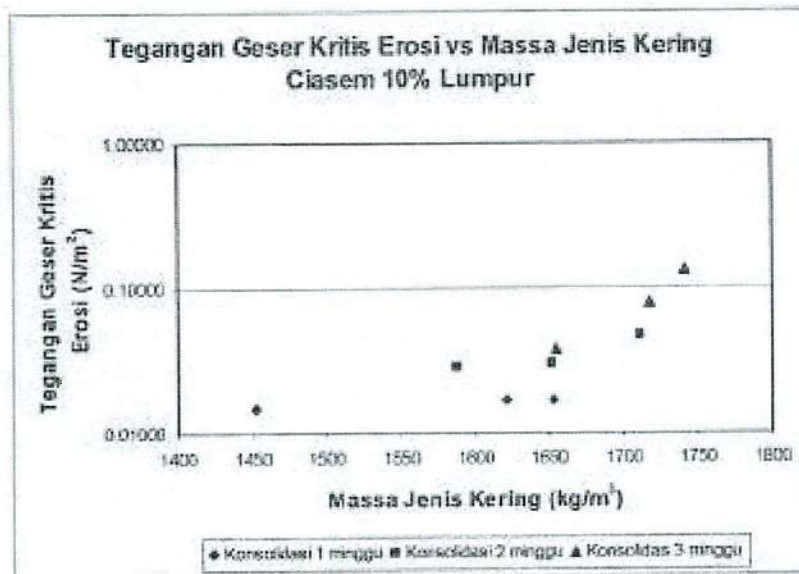




Gambar VI.76 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering sedimen campuran 20% lumpur + 80% pasir (Ciasem)

#### VI.2.3.7 Tegangan Geser Kritis Erosi Sedimen Campuran 10% Lumpur + 90% Pasir

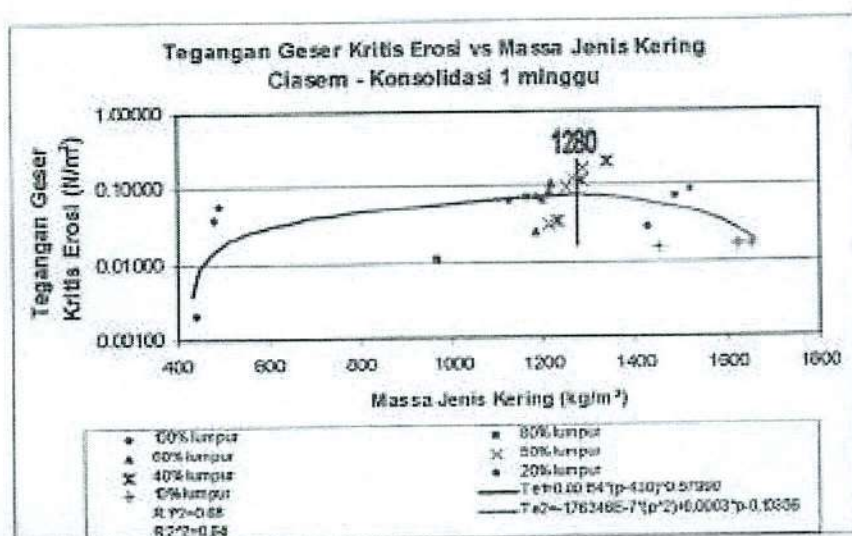
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung relatif datar nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 0 cm ke 3 cm kenaikannya relatif meningkat. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya massa jenis cenderung konstan nilai tegangan geser kritis erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya massa jenis menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai tegangan geser kritis erosinya, hanya saja pada kedalaman 3 cm ke 6 cm kenaikannya relatif menurun. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikan konsolidasi 3 minggu adalah paling besar dibanding yang lainnya.



Gambar VI.77 Tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering pada sedimen campuran 10% lumpur + 90% pasir (Ciasem)

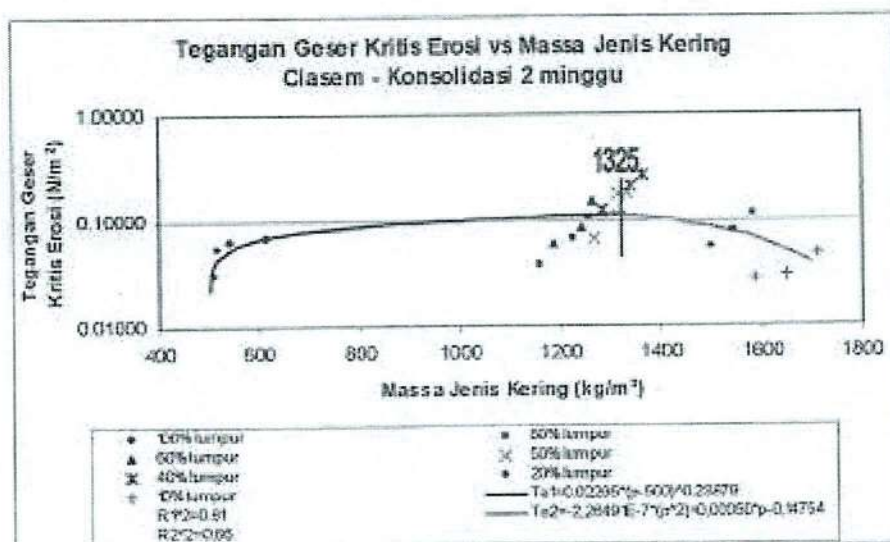
#### VI.2.3.8 Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi terhadap massa jenis kering (Dry Densiy)

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (*dry density*) pada konsolidasi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, sebagai berikut :

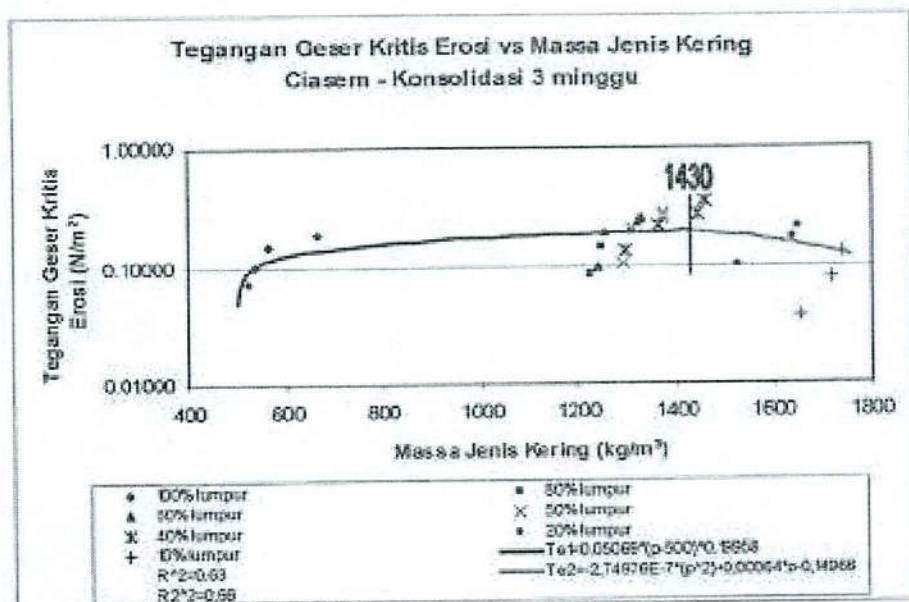


Gambar VI.78 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Ciasem – konsolidasi 1 minggu)

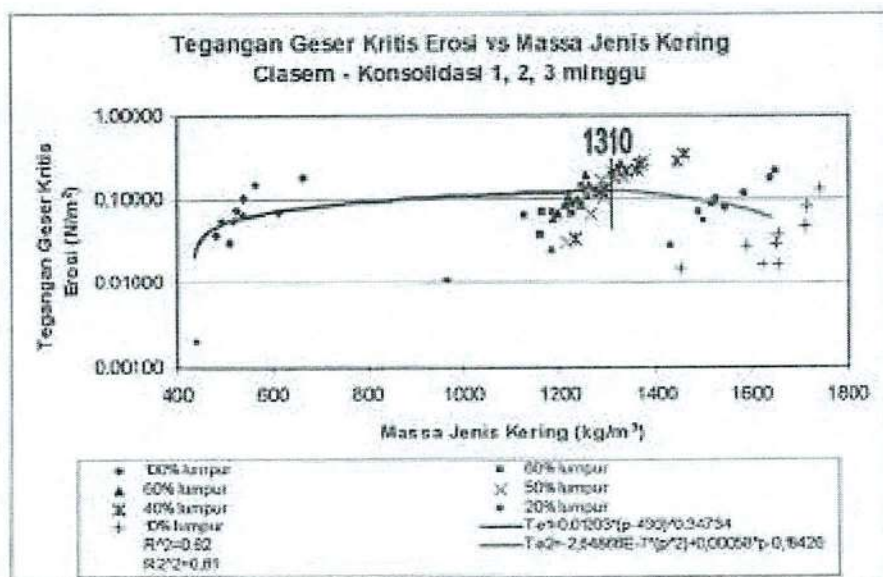




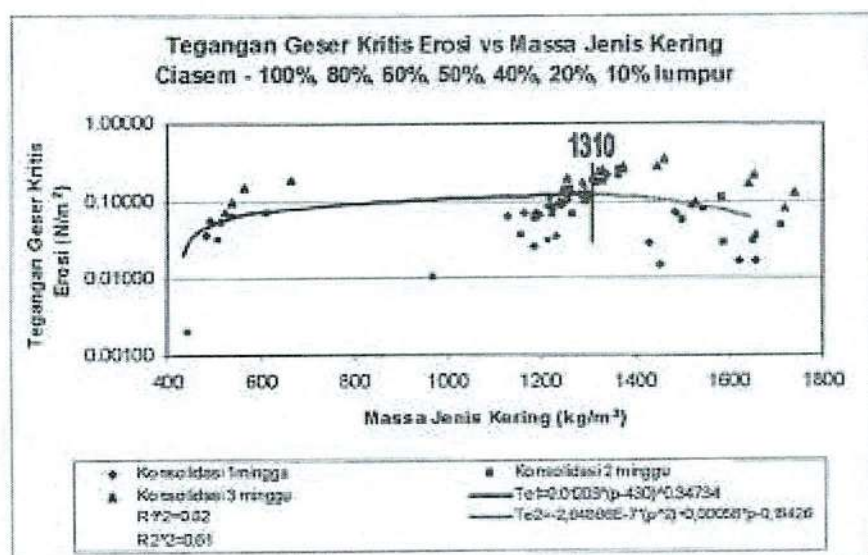
Gambar VI.79 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Clasem – konsolidasi 2 minggu)



Gambar VI.80 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Clasem – konsolidasi 3 minggu)



Gambar VI.81 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Ciasem - konsolidasi 1, 2, 3 minggu)



Gambar VI.82 Hubungan tegangan geser kritis erosi dengan massa jenis kering (Ciasem – 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10% lumpur)

Gambar VI.78, VI.79, VI.80, VI.81, dan VI.82 menunjukkan 2 daerah persamaan seperti pada sedimen sungai Citanduy dan Cimanuk yaitu persamaan (6.4) untuk daerah tegangan geser kritis erosi yang bertambah besar seiring dengan kenaikan massa jenis sampai batas tertentu dan persamaan (6.5) untuk daerah tegangan



geser kritis yang berkurang dengan bertambahnya komposisi pasir lebih dari 60%. Nilai-nilai  $E1$ ,  $E2$ ,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan batas massa jenis seperti terlihat pada Tabel VI.11.

Tabel VI.11 Nilai  $E1$ ,  $E2$ ,  $\rho_m$ ,  $R^2$  dan Batas Massa Jenis Sedimen Sungai Ciasem (massa jenis kering)

| Konsolidasi<br>(minggu) | $E1$    | $E2$    | $\rho_m$<br>$\text{kg/m}^3$ | $R^2$ | Batas Massa<br>Jenis Kering<br>( $\text{kg/m}^3$ ) |
|-------------------------|---------|---------|-----------------------------|-------|----------------------------------------------------|
| 1                       | 0,00154 | 0,57990 | 430                         | 0,68  | 1280                                               |
| 2                       | 0,02265 | 0,23879 | 500                         | 0,61  | 1325                                               |
| 3                       | 0,05069 | 0,19958 | 500                         | 0,63  | 1430                                               |
| Gabungan                | 0,01203 | 0,34734 | 430                         | 0,62  | 1310                                               |

Nilai deteminasi hanya diperoleh sekitar 61% - 68%, yang berarti massa jenis sedimen sungai Ciasem hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis sebesar 61%.

Batas massa jenis kering juga relatif bertambah dengan bertambahnya waktu konsolidasi, hal ini sama seperti pada sedimen sungai Citanduy hanya nilai batas relatif lebih besar pada sungai Ciasem. Ini dapat dijelaskan dengan mineral lumpur sungai Ciasem adalah montmorillonite yang mempunyai nilai CEC lebih besar dari mineral kaolin yang terdapat pada sedimen sungai Citanduy. Dan gradasi pasir sungai Ciasem lebih halus (lebih menyatu) dibandingkan sungai Citanduy maka batas massa jenis relatif lebih besar.

Pada daerah berlakunya persamaan (6.5) memperlihatkan massa jenis hanya dapat mempresentasikan hubungannya dengan tegangan geser kritis erosi sebesar 61%, 64%, 62%, 61% (lihat Tabel VI.12). Sama seperti pada sedimen sungai Citanduy, pada daerah berlakunya persamaan kedua jelas sekali sifat non kohesif lebih berperan sehingga erosi tergantung dari ukuran butiran dan massa jenis hanya dapat mempresentasikan tegangan geser kritis dengan nilai seperti tersebut di

atas. Dengan demikian waktu konsolidasi tidak membuat tegangan geser kritis bertambah seperti terlihat pada Gambar VI.81.

Tabel VI.12 Nilai a, b, c, dan  $R^2$  Sedimen Sungai Ciasem (massa jenis kering)

| Konsolidasi<br>(minggu) | a           | b       | c        | $R^2$ |
|-------------------------|-------------|---------|----------|-------|
| 1                       | -3,02477E-7 | 0,00102 | -0,78449 | 0,61  |
| 2                       | -4,56956E-7 | 0,00161 | -1,30313 | 0,64  |
| 3                       | -4,72983E-7 | 0,00176 | -1,42857 | 0,62  |
| Gabungan                | -5,07289E-7 | 0,00178 | -1,42549 | 0,61  |

#### VI.2.4 Pembahasan Tegangan Geser Kritis Erosi Terhadap Massa Jenis Kering

Ockenden dan Delo (1988) menurunkan persamaan untuk endapan pasir saja dengan massa jenis kering dari  $50 - 300 \text{ kg/m}^3$  yang dinyatakan dengan:

$$\tau_{cr} = 0.0012 \rho_d^{1,2} \quad (6.6)$$

Nilai yang diprediksi oleh persamaan (6.6) adalah lebih besar dibandingkan dengan prediksi dari persamaan (6.4) untuk massa jenis kering yang besar. Ini dapat diterima karena persamaan (6.6) berlaku hanya untuk massa jenis kering terbatas yaitu  $50 - 300 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan persamaan (6.4) berlaku untuk massa jenis kering sampai  $1800 \text{ kg/m}^3$ .

Dari penelitian tegangan geser kritis terhadap massa jenis kering diperoleh 2 daerah persamaan seperti hasil dari penelitian tegangan geser kritis erosi terhadap massa jenis.



### Persamaan umum tegangan geser kritis erosi vs massa jenis kering

Berdasarkan mineral yang terkandung dalam lumpur, maka persamaan umum dapat dibedakan menjadi 2 yaitu untuk mineral kaolin (Citanduy) dan montmorillonite (Cimanuk dan Ciasem). dapat dilihat pada Gambar IV.82

#### Persamaan untuk mineral *kaolinite*:

- Persamaan pertama : persamaan (6.4)  $\tau_{cr1} = E1 (\rho_d - \rho_m)^{E2}$

dengan  $E1 = 0,00013$

$$E2 = 0,87$$

Nilai  $\rho_m$  tergantung dari gradasi lumpur sungai,

$\rho_m = 1150 - 1450 \text{ kg/m}^3$  untuk lempung lunak.

- Persamaan kedua: persamaan (6.5)  $\tau_{cr2} = a (\rho_d)^2 + b (\rho_d) + c$

dengan  $a = -1,63478 \text{ E-}7$

$$b = 0,0004$$

$$c = -0,2306$$

#### Persamaan untuk mineral *montmorillonite*:

- Persamaan pertama : persamaan (6.4)  $\tau_{cr1} = E1 (\rho_d - \rho_m)^{E2}$

dengan  $E1 = 0,0120 - 0,0333$

$$E2 = 0,23 - 0,35$$

Nilai  $\rho_m$  tergantung dari gradasi lumpur sungai,

$\rho_m = 1150 - 1450 \text{ kg/m}^3$  untuk lempung lunak.

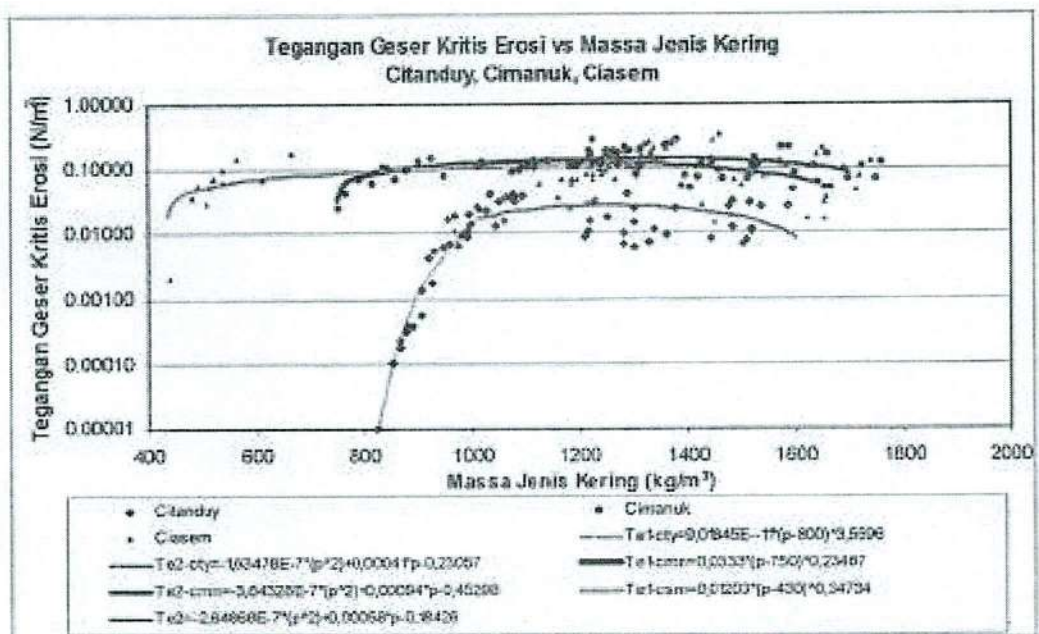
- Persamaan kedua: persamaan (6.5)  $\tau_{cr2} = a (\rho_d)^2 + b (\rho_d) + c$

dengan  $a = -2,65 \text{ E-}7 - -3,64 \text{ E-}7$

$$b = 0,00058 - 0,00094$$

$$c = -0,18 - -0,45$$

*Erosion resistance*, gradasi butir tanah, mineral lumpur, mode erosi dan struktur sedimen juga sudah dibahas pada bagian VI.1.4.



Gambar VI.83 Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi vs Massa Jenis Kering  
Citanduy, Cimanuk, Ciasem

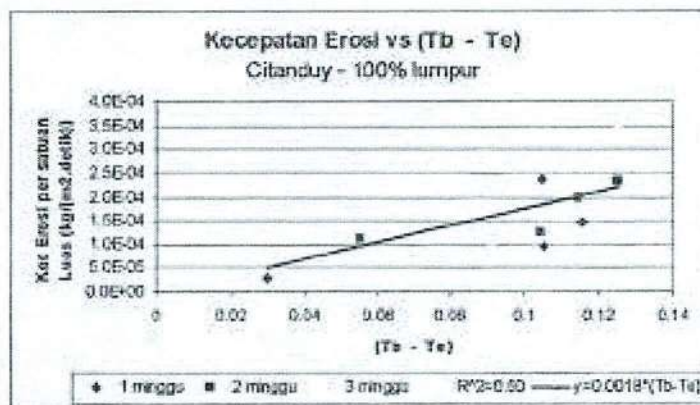


## Bab VII Analisa Kecepatan Erosi

### VII.1 Kecepatan Erosi Dengan $(\tau_b - \tau_c)$ pada Sedimen Sungai Citanduy

#### VII.1.1 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 100% Lumpur

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya, hanya saja pada kedalaman 3 cm dan 6 cm dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  yang sama ditemukan nilai kecepatan yang berbeda. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya, hanya kenaikannya untuk kedalaman 0 cm ke 3 cm menurun. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya.



Gambar VII.1 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Citanduy - 100% lumpur)

#### VII.1.2 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 80% Lumpur + 20% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya, pada kedalaman 3 dan 6 cm untuk nilai  $(\tau_b - \tau_c)$  yang sama didapat kecepatan erosi relatif sama. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif menaik konstan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya.

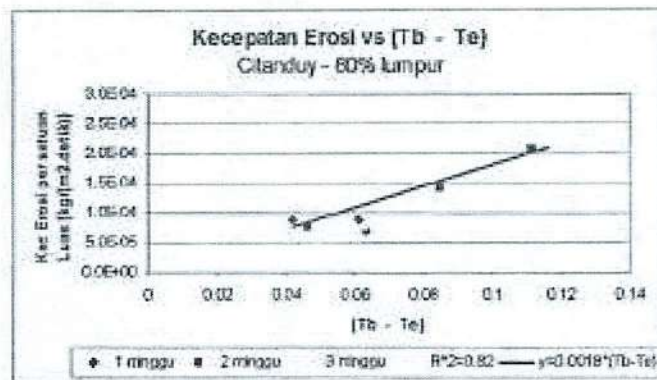
Tabel VII.1 Kecepatan erosi dan ( $\tau_b - \tau_c$ ) sedimen 100%, 80%, 60%, 50% lumpur (Citanduy)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an<br>(m) | 100% lumpur                                                             |                                              | 80% lumpur                                                              |                                              | 60% lumpur                                                              |                                              | 50% lumpur                                                              |                                              |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                              |                            | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) |
| 1                            | 0                          | 1.46E-04                                                                | 0.11581                                      | 7.01E-05                                                                | 0.06329                                      | 5.95E-05                                                                | 0.03333                                      | 3.35E-05                                                                | 0.20746                                      |
|                              | -0.03                      | 9.45E-05                                                                | 0.10513                                      | 8.84E-05                                                                | 0.06107                                      | 4.73E-05                                                                | 0.07440                                      | 2.44E-05                                                                | 0.08026                                      |
|                              | -0.06                      | 2.38E-04                                                                | 0.10495                                      | 8.84E-05                                                                | 0.04184                                      | 4.57E-05                                                                | 0.16623                                      | 3.20E-05                                                                | 0.08552                                      |
|                              | -0.09                      | 2.74E-05                                                                | 0.02986                                      |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |
| 2                            | 0                          | 1.25E-04                                                                | 0.10446                                      | 7.62E-05                                                                | 0.04605                                      | 2.87E-04                                                                | 0.30778                                      | 8.23E-05                                                                | 0.15651                                      |
|                              | -0.03                      | 1.98E-04                                                                | 0.11461                                      | 2.07E-04                                                                | 0.11187                                      | 1.25E-04                                                                | 0.15873                                      | 1.77E-04                                                                | 0.20466                                      |
|                              | -0.06                      | 2.35E-04                                                                | 0.12510                                      | 1.40E-04                                                                | 0.08488                                      | 1.52E-04                                                                | 0.22021                                      | 2.35E-04                                                                | 0.27035                                      |
|                              | -0.09                      | 1.13E-04                                                                | 0.05543                                      |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |
| 3                            | 0                          | 3.57E-04                                                                | 0.12510                                      | 1.56E-04                                                                | 0.07864                                      | 4.42E-04                                                                | 0.23730                                      | 3.78E-04                                                                | 0.30244                                      |
|                              | -0.03                      | 1.01E-04                                                                | 0.09139                                      | 2.59E-04                                                                | 0.11624                                      | 9.15E-06                                                                | 0.12748                                      | 3.54E-04                                                                | 0.26689                                      |
|                              | -0.06                      | 2.13E-04                                                                | 0.10289                                      | 7.93E-05                                                                | 0.06238                                      | 7.29E-04                                                                | 0.36568                                      | 3.35E-04                                                                | 0.25123                                      |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |



Tabel VII.2 Kecepatan erosi dan  $(\tau_b - \tau_c)$  sedimen 40%, 20%, 10% lumpur (Citanduy)

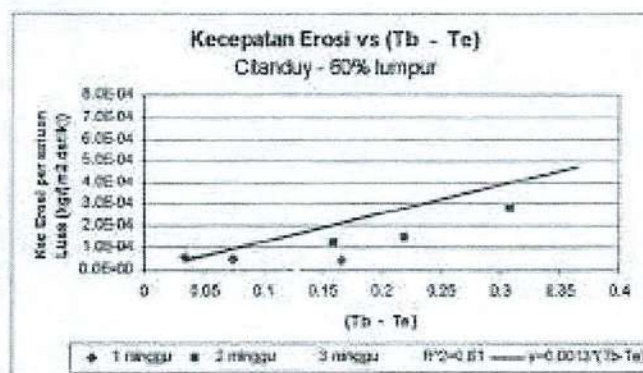
| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an<br>(m) | 40% lumpur                                                              |                                            | 20% lumpur                                                              |                                            | 10% lumpur                                                              |                                            |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                              |                            | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) |
| 1                            | 0                          | 2.10E-04                                                                | 0.16260                                    | 4.60E-04                                                                | 0.14087                                    | 4.27E-05                                                                | 0.06096                                    |
|                              | -0.03                      | 3.35E-04                                                                | 0.18083                                    | 8.23E-05                                                                | 0.05684                                    | 4.88E-05                                                                | 0.07192                                    |
|                              | -0.06                      | 3.96E-05                                                                | 0.09463                                    | 7.62E-05                                                                | 0.09656                                    | 1.19E-04                                                                | 0.07454                                    |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |
| 2                            | 0                          | 3.78E-04                                                                | 0.18836                                    | 2.04E-04                                                                | 0.11910                                    | 1.07E-04                                                                | 0.09809                                    |
|                              | -0.03                      | 4.57E-05                                                                | 0.04912                                    | 2.84E-04                                                                | 0.11990                                    | 6.71E-05                                                                | 0.12741                                    |
|                              | -0.06                      | 1.13E-04                                                                | 0.10476                                    | 1.89E-04                                                                | 0.14728                                    | 1.31E-04                                                                | 0.16920                                    |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                            | 2.29E-04                                                                | 0.09494                                    |                                                                         |                                            |
| 3                            | 0                          | 7.93E-05                                                                | 0.03608                                    | 6.10E-05                                                                | 0.13932                                    | 4.57E-05                                                                | 0.11764                                    |
|                              | -0.03                      | 3.66E-05                                                                | 0.26279                                    | 7.01E-05                                                                | 0.12415                                    | 6.10E-05                                                                | 0.14803                                    |
|                              | -0.06                      | 8.54E-05                                                                | 0.00000                                    | 1.04E-04                                                                | 0.14075                                    | 1.83E-05                                                                | 0.10921                                    |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |



Gambar VII.2 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy - 80% lumpur)

### VII.1.3 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 60% Lumpur + 40% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya, pada kedalaman 3 dan 6 cm untuk nilai ( $\tau_b - \tau_c$ ) yang sama didapat kecepatan erosi relatif sama. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif menaik konstan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya.



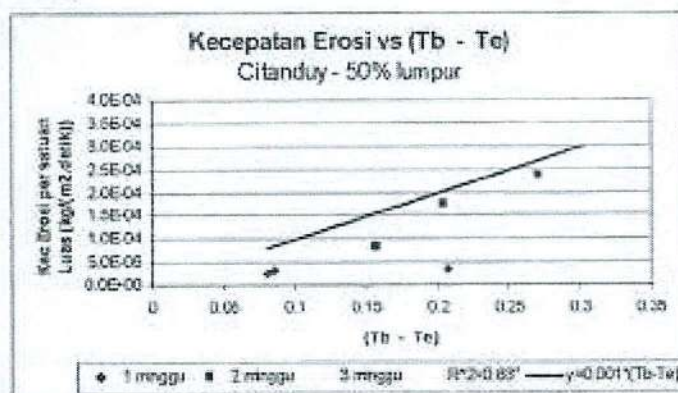
Gambar VII.3 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy - 60% lumpur)

### VII.1.4 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 50% Lumpur + 50% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya, hanya pada kedalaman 3 cm dan 6 cm untuk nilai ( $\tau_b - \tau_c$ ) yang sama didapat kecepatan erosi relatif sama. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan



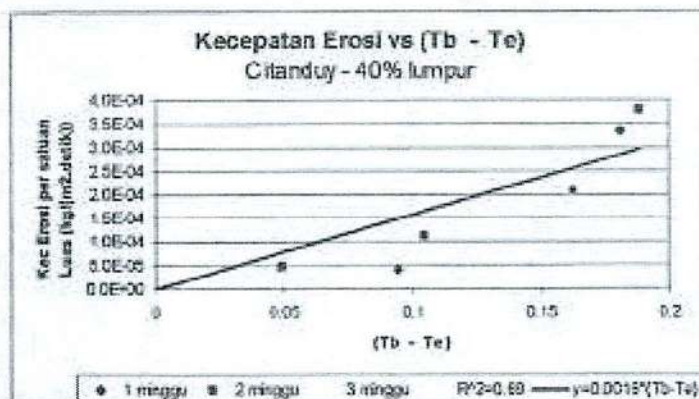
erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikannya untuk konsolidasi 2 minggu relatif sama dengan konsolidasi 3 minggu.



Gambar VII.4 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy – 50% lumpur)

#### VII.1.5 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 40% Lumpur + 60% Pasir

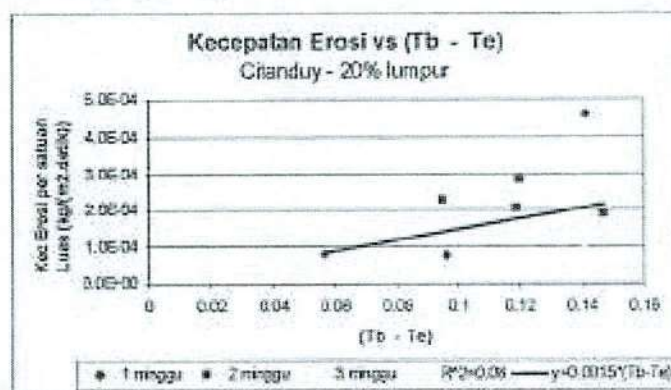
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya, hanya pada kedalaman 3 cm dan 6 cm untuk nilai ( $\tau_b - \tau_c$ ) yang sama didapat kecepatan erosi relatif sama. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menurun secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikannya untuk konsolidasi 1 minggu relatif sama dengan konsolidasi 2 minggu.



Gambar VII.5 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy – 40% lumpur)

### VII.1.6 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 20% Lumpur + 80% Pasir

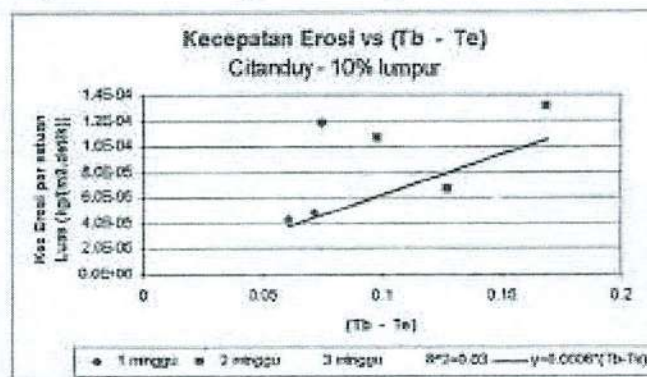
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi, pada kedalaman 3 dan 6 cm dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) yang beda ditemukan nilai kecepatan yang sama. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif datar terhadap nilai kecepatan erosi. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif menurun.



Gambar VII.6 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy – 20% lumpur)

### VII.1.7 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 10% Lumpur + 90% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi, hanya saja pada kedalaman 3 cm terjadi penurunan nilai. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif menaik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosi, hanya pada kedalaman 3 cm terjadi penurunan nilai. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi.



Gambar VII.7 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Citanduy – 10% lumpur)



#### VII.1.8 Pembahasan Kecepatan Erosi dengan $(\tau_b - \tau_c)$

Gambar VII.1 sampai dengan Gambar VII.5 menggambarkan hubungan kecepatan erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  sebagai hubungan linier,  $(\tau_b - \tau_c)$  dapat mempresentasikan kecepatan erosi minimal sebesar 52 %. Gambar VII.6 dan VII.7 tidak dapat menggambarkan hubungan linier antara  $(\tau_b - \tau_c)$  dengan kecepatan erosi karena mempunyai nilai determinasi ( $R^2$ ) hanya 8% dan 3%.

Hubungan ini diekspresikan sebagai hubungan linier seperti persamaan (2.10). Dengan hubungan ini menandakan bahwa kecepatan erosi bertambah seiring dengan bertambahnya perbedaan nilai  $\tau_b$  dengan  $\tau_c$ , kecuali pada komposisi 20% dan 10% lumpur. Semakin besar tegangan geser yang terjadi dibandingkan tegangan geser kritis erosinya maka semakin cepat erosi yang terjadi. Dari hubungan ini diperoleh nilai atau konstanta kecepatan erosi atau ada juga yang menyebut sebagai konstanta erosi.

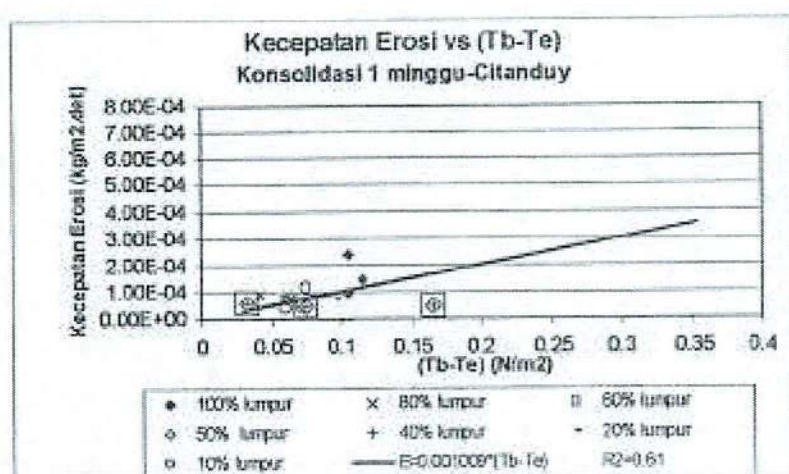
Konstanta erosi untuk komposisi 100% dan 80% lumpur mempunyai nilai yang sama yaitu 0,0018 kg/N.det, 60% lumpur adalah 0,0013 kg/N.det, 50% lumpur adalah 0,001 kg/N.det, 40% lumpur adalah 0,0016 kg/N.det, 20% lumpur adalah 0,0015 kg/N.det, dan 10% lumpur adalah 0,00006 kg/N.det.

Kecepatan erosi relatif menurun dengan bertambahnya kadar pasir dalam campuran sampai kadar pasir 50% dan tegangan geser kritis cenderung berkurang pada batas setelah kadar pasir lebih dari 50%.

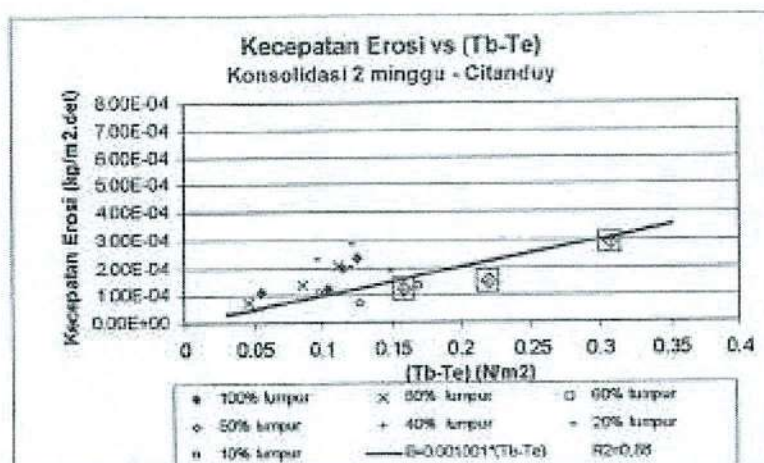
Kecepatan erosi untuk dasar yang mengandung banyak pasir ditemukan lebih rendah daripada dasar yang lumpur saja. Hal ini terjadi karena kenyataannya kecepatan erosi dihitung dari massa lumpur dalam suspensi saja (karena pasir tidak terukur dalam percobaan) disamping itu kecepatan erosi signifikan lebih rendah untuk dasar yang berpasir yang mengindikasikan bahwa kehadiran pasir meningkatkan ketahanan erosi dasar (Mitchener dan Torfs, 1995). Dalam penelitian ini kehadiran pasir sampai batas tertentu meningkatkan ketahanan erosi tergantung dari gradasi pasir dari campuran sedimen dan mineral dari lumpur.

Sampai dengan komposisi 50% lumpur, konstanta erosi berkurang, tetapi pasir lebih dari 50% yaitu 60% pasir atau 40% lumpur, konstanta erosi meningkat kembali tetapi tidak sebesar konstanta erosi 100% lumpur.

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara kecepatan erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  atau konstanta tegangan geser pada konsolidasi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, sebagai berikut :

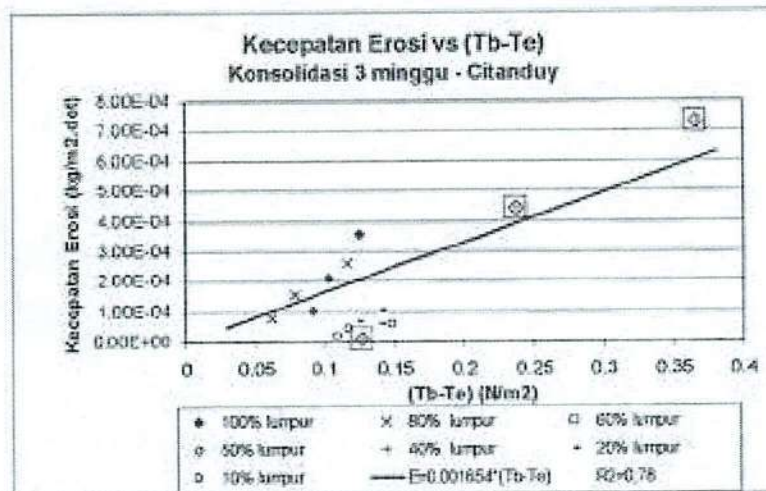


Gambar VII.8 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Konsolidasi 1 minggu-Citanduy)

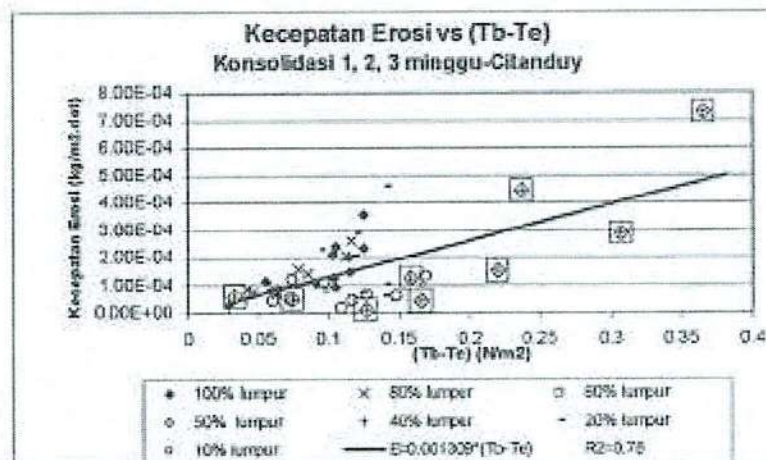


Gambar VII.9 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Konsolidasi 2 minggu-Citanduy)





Gambar VII.10 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi 3 minggu-Citanduy)



Gambar VII.11 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi 1, 2, 3 minggu-Citanduy)

Nilai konstanta erosi yang diperoleh untuk konsolidasi 1 minggu adalah 0,001009 kg/N.det, untuk konsolidasi 2 minggu adalah 0,001001 kg/N.det, untuk konsolidasi 3 minggu adalah 0,001654 kg/N.det, dan untuk konsolidasi 1, 2, 3 minggu adalah 0,001309 kg/N.det. Nilai-nilai tersebut diperoleh dengan determinasi paling rendah 61%.

Dengan demikian konstanta erosi untuk lumpur sedimen sungai Citanduy bervariasi dari 0,001 sampai 0,002 kg/N.det. Pada lumpur Hongkong diperoleh  $m_s$  dengan variasi 0,0004 – 0,0006 kg/N.det untuk kadar pasir 0% dan nilai  $m_s$

diperoleh 0,0002 kg/m<sup>2</sup> det dengan 50, 20, 11 % pasir (Mitchener dan Torfs, 1995).

Waktu konsolidasi 2 minggu mempunyai konstanta erosi lebih kecil dari waktu konsolidasi 1 minggu tetapi untuk konsolidasi 3 minggu diperoleh konstanta erosi yang lebih besar. Dengan demikian lama konsolidasi kurang berpengaruh terhadap kecepatan erosi dalam grafik yang diperoleh di atas. Hal ini bisa terjadi karena data yang dipakai dalam memperoleh konstanta erosi untuk konsolidasi 1, 2, 3 minggu adalah data dari seluruh komposisi campuran sedimen. Sedangkan komposisi campuran sedimen sangat berpengaruh terhadap ketahanan erosi, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.

Partheniades, 1963) memperoleh kecepatan erosi untuk dasar dengan berat jenis kontasn sebagai :

$$E = M \frac{(\tau_b - \tau_c)}{\tau_c} \quad (7.1)$$

dimana: M : konstanta erosi (kg/m<sup>2</sup> det)

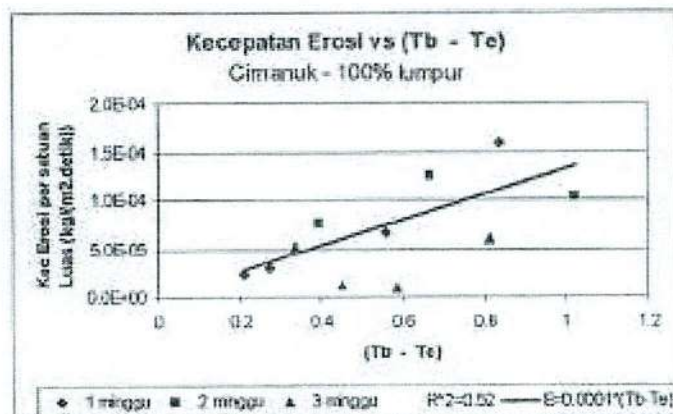
Nilai M bervariasi dari 0,00001 sampai 0,0005 kg/m<sup>2</sup> det untuk lumpur halus dan Umar (2000 memperoleh nilai  $M = 3.10^{-7}$  kg/m<sup>2</sup> det untuk lumpur Segara Anakan.

## VII.2 Kecepatan Erosi Dengan $(\tau_b - \tau_c)$ pada Sedimen Sungai Cimanuk

### VII.2.1 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 100% Lumpur

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif naik secara terhadap nilai kecepatan erosinya, hanya pada kedalaman 3 cm dan 6 cm untuk nilai  $(\tau_b - \tau_c)$  yang sama didapat kecepatan erosi relatif sama. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif menurun secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya, tetapi menaik lagi pada kedalaman 9 cm.

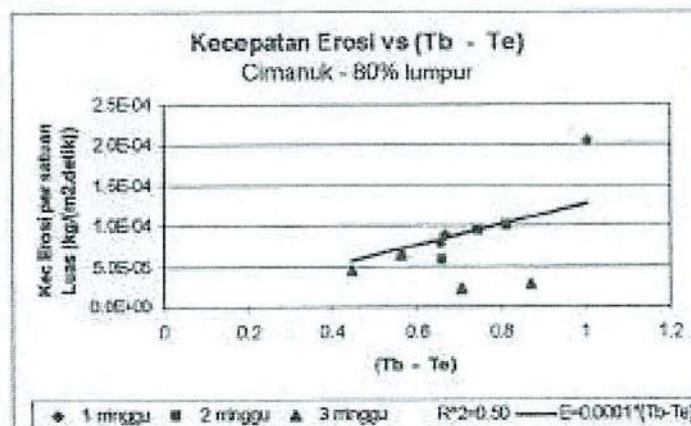




Gambar VII.12 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk - 100% lumpur)

### VII.2.2 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 80% Lumpur + 20% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif menurun secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya, dan sedikit naik lagi pada kedalaman 9 cm. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikannya untuk konsolidasi 1 minggu relatif sama dengan konsolidasi 2 minggu.



Gambar VII.13 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk - 80% lumpur)

Tabel VII.3 Kecepatan erosi dan ( $\tau_b - \tau_c$ ) sedimen 100%, 80%, 60%, 50% lumpur (Cimanuk)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an<br>(m) | 100% lumpur                                                             |                                              | 80% lumpur                                                              |                                              | 60% lumpur                                                              |                                              | 50% lumpur                                                              |                                              |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                              |                            | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) |
| 1                            | 0                          | 1.5855E-04                                                              | 0.83764                                      | 7.9275E-05                                                              | 0.65991                                      | 9.1471E-06                                                              | 0.33336                                      | 5.3968E-04                                                              | 0.60897                                      |
|                              | -0.03                      | 6.7079E-05                                                              | 0.55907                                      | 8.8422E-05                                                              | 0.67008                                      | 1.0062E-04                                                              | 0.69268                                      | 2.5612E-04                                                              | 0.36701                                      |
|                              | -0.06                      | 3.049E-05                                                               | 0.27053                                      | 2.0429E-04                                                              | 1.00265                                      | 5.7932E-05                                                              | 0.63987                                      | 1.4635E-04                                                              | 0.40742                                      |
|                              | -0.09                      | 2.4392E-05                                                              | 0.21028                                      |                                                                         |                                              | 3.6589E-05                                                              | 0.38737                                      | 3.5674E-04                                                              | 0.50092                                      |
| 2                            | 0                          | 7.6226E-05                                                              | 0.39592                                      | 1.0062E-04                                                              | 0.81670                                      | 4.5736E-05                                                              | 0.43570                                      | 3.049E-05                                                               | 0.39525                                      |
|                              | -0.03                      | 1.2501E-04                                                              | 0.66733                                      | 9.452E-05                                                               | 0.74781                                      | 5.7932E-05                                                              | 0.56862                                      | 1.1586E-04                                                              | 0.28855                                      |
|                              | -0.06                      | 1.0367E-04                                                              | 1.01963                                      | 5.7932E-05                                                              | 0.66294                                      | 5.4883E-05                                                              | 0.67616                                      | 1.2196E-05                                                              | 0.19455                                      |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |
| 3                            | 0                          | 5.1834E-05                                                              | 0.33679                                      | 6.403E-05                                                               | 0.56344                                      | 2.1343E-05                                                              | 0.66387                                      | 1.494E-04                                                               | 0.62085                                      |
|                              | -0.03                      | 6.0981E-05                                                              | 0.81095                                      | 2.7441E-05                                                              | 0.87240                                      | 3.049E-06                                                               | 1.14964                                      | 5.1834E-05                                                              | 0.51908                                      |
|                              | -0.06                      | 9.1471E-06                                                              | 0.58334                                      | 2.1343E-05                                                              | 0.70897                                      | 3.9638E-05                                                              | 0.55573                                      | 1.3721E-04                                                              | 0.50121                                      |
|                              | -0.09                      | 1.2196E-05                                                              | 0.45249                                      | 4.5736E-05                                                              | 0.44944                                      |                                                                         |                                              | 2.1343E-05                                                              | 0.11628                                      |

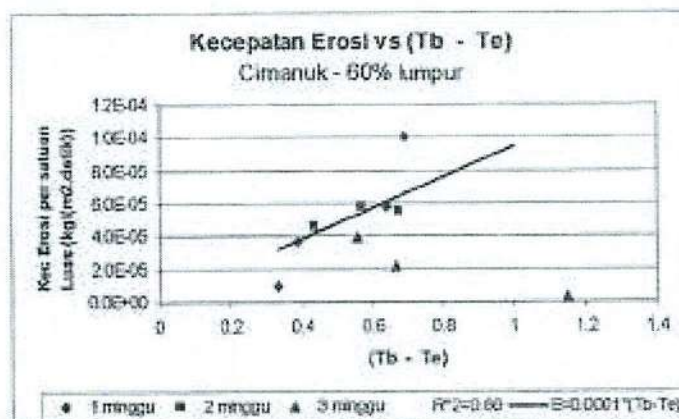


Tabel VII.4 Kecepatan erosi dan ( $\tau_b - \tau_c$ ) sedimen 40%, 20%, 10% lumpur (Cimanuk)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an<br>(m) | 40% lumpur                                                              |                                              | 20% lumpur                                                              |                                              | 10% lumpur                                                              |                                              |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                              |                            | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | ( $\tau_b - \tau_c$ )<br>N/(m <sup>2</sup> ) |
| 1                            | 0                          | 6.403E-05                                                               | 0.30097                                      | 9.7569E-05                                                              | 0.14526                                      | 9.45E-05                                                                | 0.4959173                                    |
|                              | -0.03                      | 8.5373E-05                                                              | 0.47000                                      | 1.8294E-04                                                              | 0.67036                                      | 1.01E-04                                                                | 0.4133359                                    |
|                              | -0.06                      | 1.2196E-04                                                              | 0.60851                                      | 1.0062E-04                                                              | 0.61303                                      | 1.80E-04                                                                | 0.6411646                                    |
|                              | -0.09                      | 7.9275E-05                                                              | 0.20316                                      | 1.0977E-04                                                              | 0.19403                                      |                                                                         |                                              |
| 2                            | 0                          | 1.0367E-04                                                              | 0.44997                                      | 1.2806E-04                                                              | 0.59069                                      | 8.23E-05                                                                | 0.7915066                                    |
|                              | -0.03                      | 1.0672E-04                                                              | 0.66803                                      | 1.3721E-04                                                              | 0.76662                                      | 9.45E-05                                                                | 0.7739739                                    |
|                              | -0.06                      | 1.1281E-04                                                              | 0.52608                                      | 1.3111E-04                                                              | 0.95862                                      | 9.45E-05                                                                | 0.6332229                                    |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                              | 1.2501E-04                                                              | 0.70635                                      |                                                                         |                                              |
| 3                            | 0                          | 1.0672E-04                                                              | 0.46617                                      | 1.5855E-04                                                              | 0.40143                                      | 6.40E-05                                                                | 0.530071                                     |
|                              | -0.03                      | 5.1834E-05                                                              | 0.32467                                      | 4.5736E-05                                                              | 0.47284                                      | 1.52E-05                                                                | 0.5485637                                    |
|                              | -0.06                      | 5.7932E-05                                                              | 0.44582                                      | 7.0128E-05                                                              | 0.52599                                      | 6.40E-05                                                                | 0.4829589                                    |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |                                                                         |                                              |

### VII.2.3 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 60% Lumpur + 40% Pasir

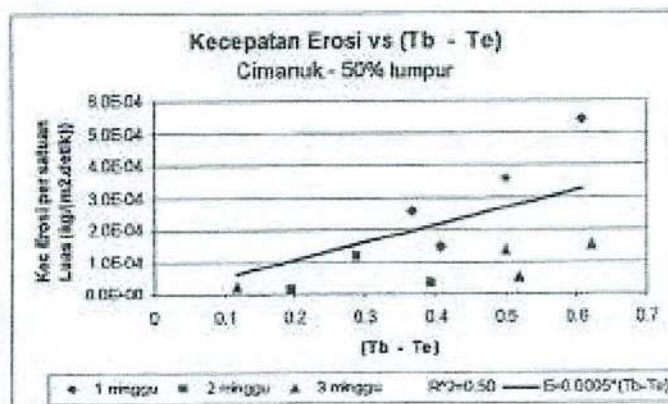
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif menaik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menurun secara konstan.



Gambar VII.14 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk – 60% lumpur)

### VII.2.4 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 50% Lumpur + 50% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosinya, hanya pada kedalaman 3 cm terjadi penurunan nilai. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya, tetapi turun pada kedalaman 6 cm. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya.

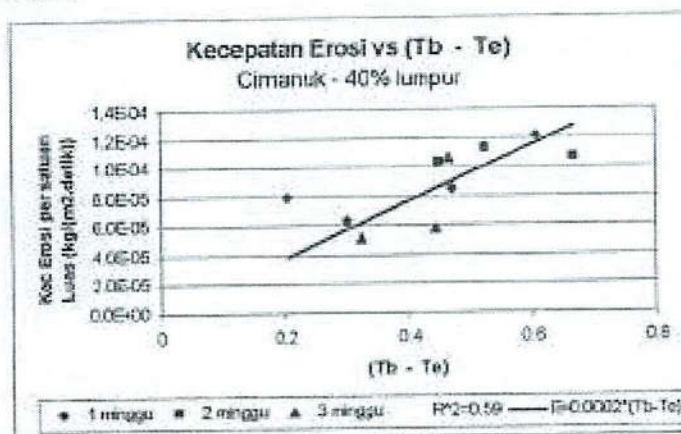


Gambar VII.15 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk – 50% lumpur)



### VII.2.5 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 40% Lumpur + 60% Pasir

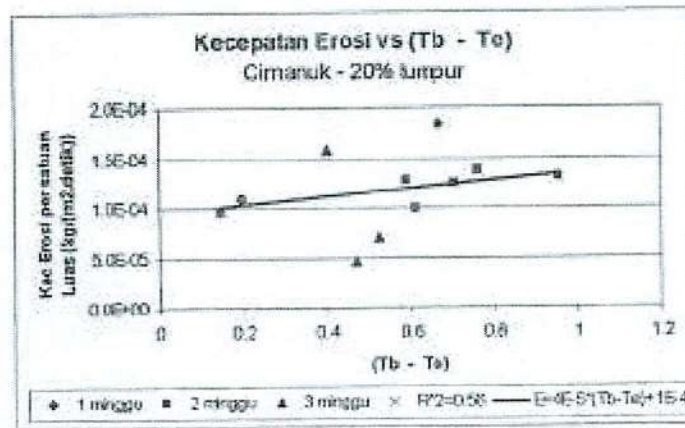
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya, hanya pada kedalaman 3 cm dan 6 cm untuk nilai ( $\tau_b - \tau_c$ ) yang sama didapat kecepatan erosi relatif sama. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya.



Gambar VII.16 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Cimanuk - 40% lumpur)

### VII.2.6 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 20% Lumpur + 80% Pasir

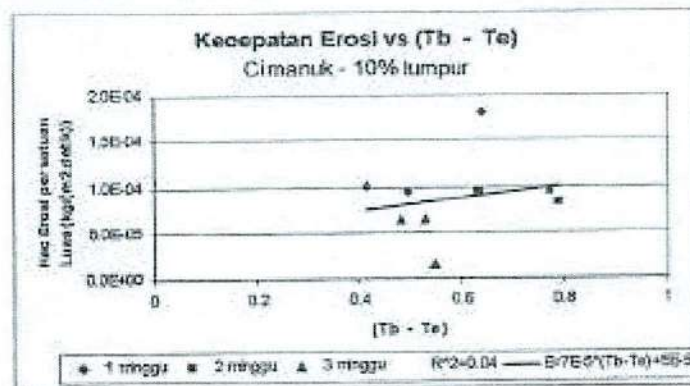
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif naik terhadap nilai kecepatan erosinya, tetapi menurun pada kedalaman 6 cm. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menurun secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya, tetapi terjadi penyimpangan pada kedalaman 3 cm. Secara keseluruhan konsolidasi yang ada, nilai kenaikannya untuk konsolidasi 1 minggu relatif sama dengan konsolidasi 2 minggu.



Gambar VII.17 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Cimanuk – 20% lumpur)

### VII.2.7 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 10% Lumpur + 90% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  menaik konstan dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi, tetapi pada kedalaman 3 cm terjadi penurunan. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif datar terhadap nilai kecepatan erosi. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif turun terhadap nilai kecepatan erosi.



Gambar VII.18 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Cimanuk – 10% lumpur)

### VII.2.8 Pembahasan Kecepatan Erosi dengan $(\tau_b - \tau_c)$

Gambar VII.12 sampai dengan Gambar VII.17 menggambarkan hubungan kecepatan erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  sebagai hubungan linier,  $(\tau_b - \tau_c)$  dapat mempresentasikan kecepatan erosi minimal sebesar 50 %. Gambar VII.18 tidak dapat menggambarkan hubungan linier antara  $(\tau_b - \tau_c)$  dengan kecepatan erosi karena mempunyai nilai determinasi ( $R^2$ ) hanya 4 (pada 10% lumpur)



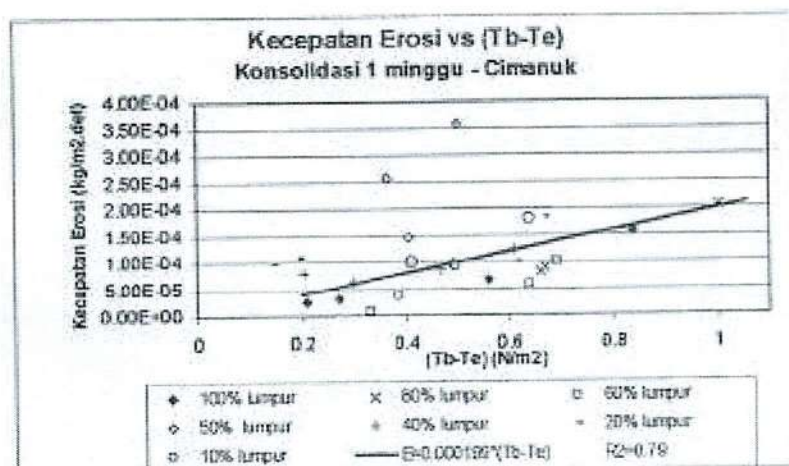
Hubungan ini diekspresikan sebagai hubungan linier sama seperti persamaan (2.10). Dengan hubungan ini menandakan bahwa kecepatan erosi bertambah seiring dengan bertambahnya perbedaan nilai  $\tau_b$  dengan  $\tau_c$ , kecuali pada komposisi 10% lumpur. Semakin besar tegangan geser yang terjadi dibandingkan tegangan geser kritis erosinya maka semakin cepat erosi yang terjadi. Dari hubungan ini diperoleh konstanta kecepatan erosi.

Konstanta erosi untuk komposisi 100%, 80% dan 60% lumpur mempunyai nilai yang sama yaitu 0,0001 kg/N.det, 50% lumpur adalah 0,0005 kg/N.det, 40% lumpur adalah 0,0002 kg/N.det, 20% lumpu adalah 0,00004 kg/N.det, dan 10% lumpur adalah 0,00007 kg/N.det.

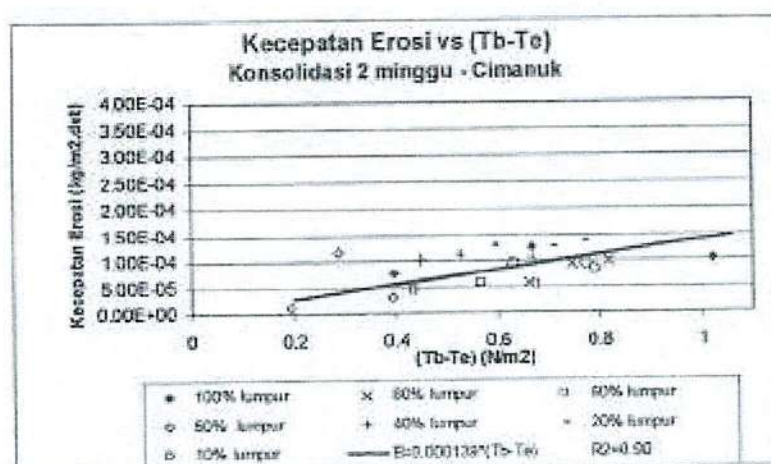
Kecepatan erosi sama dari 0% pasir sampai kadar pasir 40%, pada 50% pasir kecepatan erosi naik sedikit lalu turun kembali pada 60% dan 80% pasir kemudian naik lagi untuk 90% pasir dan tegangan geser kritis cenderung berkurang pada batas setelah kadar pasir lebih dari 50%.

Untuk sedimen sungai Cimanuk kehadiran pasir tidak meningkatkan ketahanan erosi bahkan pada 50% pasir konstanta erosi bertambah. Seperti diketahui ketahanan erosi tergantung dari gradasi pasir dan mineral lumpur karena gradasi pasir pada sungai Cimanuk relatif cukup besar ( $D_{60} = 0,24$  mm) sehingga kurang kuat ikatannya dibandingkan dengan gradasi yang lebih halus seperti pada pasir sungai Citanduy ( $D_{60} = 0,21$  mm), walaupun mineralnya montmorillnite. Dengan ikatan antara lumpur dan pasir lemah maka bisa terjadi hal tersebut.

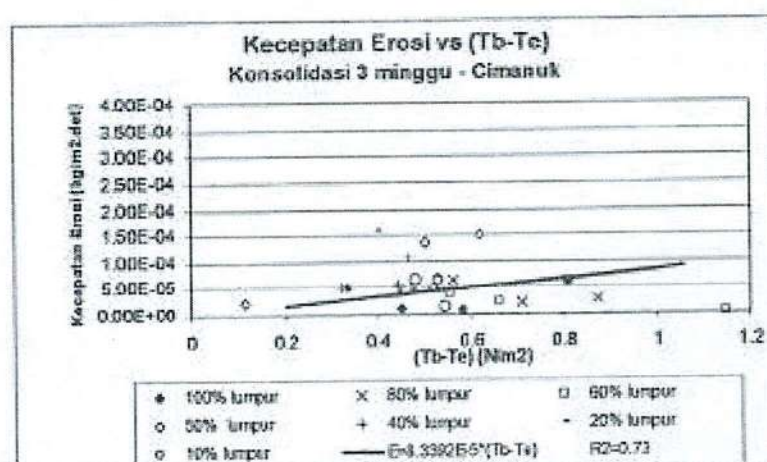
Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara kecepatan erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  atau konstanta tegangan geser pada konsolidasi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, sebagai berikut :



Gambar VII.19 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_e)$   
(Konsolidasi 1 minggu-Cimanuk)

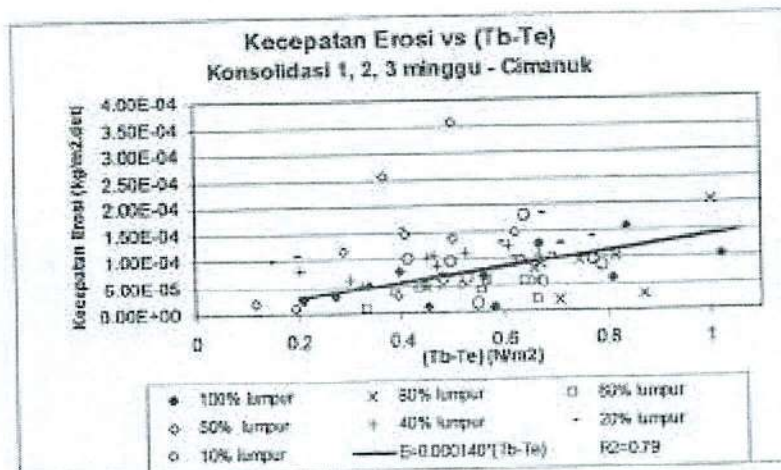


Gambar VII.20 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_e)$   
(Konsolidasi 2 minggu-Cimanuk)



Gambar VII.21 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_e)$   
(Konsolidasi 3 minggu-Cimanuk)





Gambar VII.22 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Konsolidasi 1, 2, 3 minggu-Cimanuk)

Nilai konstanta erosi yang diperoleh untuk konsolidasi 1 minggu adalah 0,000199, untuk konsolidasi 2 minggu adalah 0,000139, untuk konsolidasi 3 minggu adalah 0,000083, dan untuk konsolidasi 1, 2, 3 minggu adalah 0,000140. Nilai-nilai tersebut diperoleh dengan determinasi paling rendah 73%

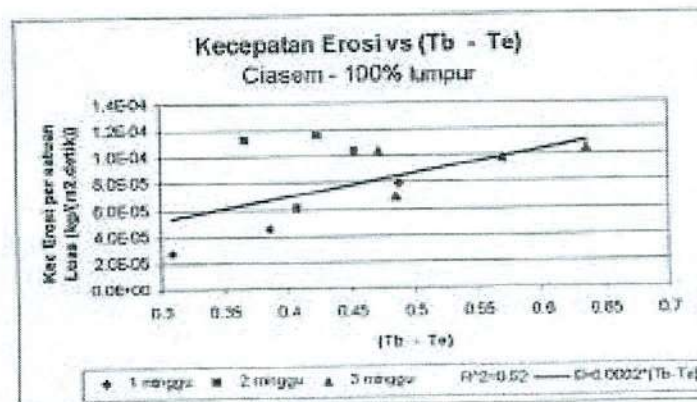
Dengan demikian konstanta erosi untuk lumpur sedimen sungai Cimanuk bervariasi dari 0,00008 sampai 0,0005 kg/N.det. Sedangkan pada lumpur Citanduy diperoleh  $m_c$  dengan variasi dari 0,001 sampai 0,002 kg/N.det

Konstanta erosi yang diperoleh lebih rendah dibandingkan nilai konstanta erosi dari sedimen sungai Citanduy, dengan demikian kecepatan erosi yang terjadi lebih rendah disungai Cimanuk.

### VII.3 Kecepatan Erosi Dengan $(Tb - Te)$ pada Sedimen Sungai Ciasem

#### VII.3.1 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 100% Lumpur

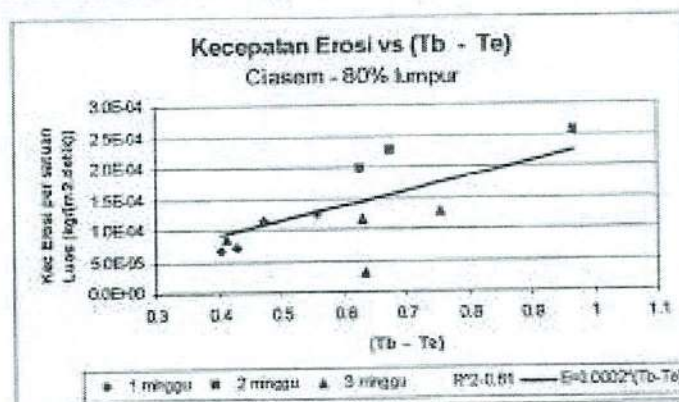
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya  $(Tb - Te)$  relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya  $(Tb - Te)$  relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya, kecuali pada kedalaman 3 cm yang menurun. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya  $(Tb - Te)$  relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya, kecuali pada kedalaman 3 cm dimana nilainya menjadi turun..



Gambar VII.23 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Ciasem - 100% lumpur)

### VII.3.2 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 80% Lumpur + 20% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya, kecuali pada kedalaman 3 cm dimana nilainya menurun. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya.



Gambar VII.24 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Ciasem - 80% lumpur)



Tabel VII.5 Kecepatan erosi dan  $(\tau_b - \tau_c)$  sedimen 100%, 80%, 60%, 50% lumpur (Ciasem)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an<br>(m) | 100% lumpur                                                             |                                            | 80% lumpur                                                              |                                            | 60% lumpur                                                              |                                            | 50% lumpur                                                              |                                            |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                              |                            | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) |
| 1                            | 0                          | 4.57E-05                                                                | 0.38568                                    | 1.25E-04                                                                | 0.55647                                    | 4.27E-05                                                                | 0.46178                                    | 2.01E-04                                                                | 0.51952                                    |
|                              | -0.03                      | 7.93E-05                                                                | 0.48831                                    | 7.32E-05                                                                | 0.42773                                    | 7.32E-05                                                                | 0.70438                                    | 8.23E-05                                                                | 0.36701                                    |
|                              | -0.06                      | 2.74E-05                                                                | 0.30899                                    | 6.71E-05                                                                | 0.40340                                    | 3.96E-05                                                                | 0.32634                                    | 1.95E-04                                                                | 0.78114                                    |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                            | 1.13E-04                                                                | 0.47348                                    | 3.96E-05                                                                | 0.27909                                    | 6.40E-05                                                                | 0.30336                                    |
| 2                            | 0                          | 1.16E-04                                                                | 0.42484                                    | 1.98E-04                                                                | 0.62727                                    | 1.65E-04                                                                | 0.29624                                    | 1.10E-04                                                                | 0.42113                                    |
|                              | -0.03                      | 1.04E-04                                                                | 0.45354                                    | 2.56E-04                                                                | 0.96768                                    | 4.24E-04                                                                | 0.70786                                    | 7.62E-05                                                                | 0.40168                                    |
|                              | -0.06                      | 6.10E-05                                                                | 0.40845                                    | 2.26E-04                                                                | 0.67414                                    | 2.96E-04                                                                | 0.59474                                    | 1.68E-04                                                                | 0.44177                                    |
|                              | -0.09                      | 1.13E-04                                                                | 0.36708                                    |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            | 1.34E-04                                                                | 0.40000                                    |
| 3                            | 0                          | 1.04E-04                                                                | 0.47262                                    | 3.05E-05                                                                | 0.63241                                    | 7.62E-05                                                                | 0.51699                                    | 2.26E-04                                                                | 0.61790                                    |
|                              | -0.03                      | 9.80E-05                                                                | 0.56932                                    | 8.54E-05                                                                | 0.41300                                    | 1.40E-04                                                                | 0.44177                                    | 2.47E-04                                                                | 0.55756                                    |
|                              | -0.06                      | 1.05E-04                                                                | 0.63560                                    | 1.28E-04                                                                | 0.75424                                    | 1.71E-04                                                                | 0.46146                                    | 3.96E-05                                                                | 0.54328                                    |
|                              | -0.09                      | 6.97E-05                                                                | 0.48585                                    | 1.16E-04                                                                | 0.62854                                    | 1.34E-04                                                                | 0.37971                                    | 1.89E-04                                                                | 0.46222                                    |

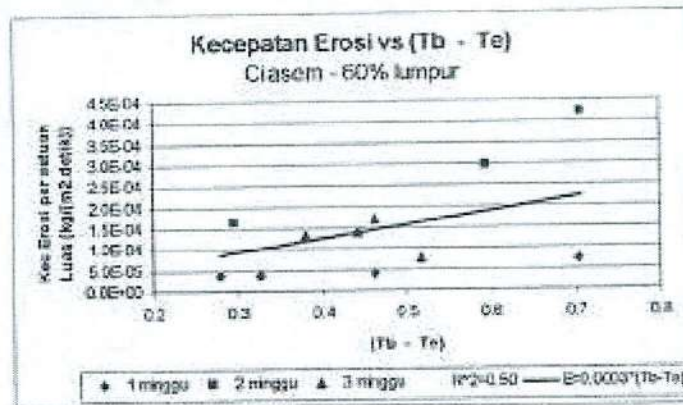
Tabel VII.6 Kecepatan erosi dan  $(\tau_b - \tau_c)$  sedimen 40%, 20%, 10% lumpur (Ciasem)

| Konso-<br>lidasi<br>(minggu) | Ke-<br>dalam-<br>an<br>(m) | 40% lumpur                                                              |                                            | 20% lumpur                                                              |                                            | 10% lumpur                                                              |                                            |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                              |                            | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) | Kecepatan<br>erosi per satu-<br>an luas<br>(kg/(m <sup>2</sup> .detik)) | $(\tau_b - \tau_c)$<br>N/(m <sup>2</sup> ) |
| 1                            | 0                          | 6.10E-05                                                                | 0.59096                                    | 2.59E-04                                                                | 0.87102                                    | 1.22E-05                                                                | 0.26420                                    |
|                              | -0.03                      | 3.05E-05                                                                | 0.46029                                    | 1.19E-04                                                                | 0.43191                                    | 2.62E-04                                                                | 0.45577                                    |
|                              | -0.06                      | 2.93E-04                                                                | 0.66910                                    | 2.41E-04                                                                | 0.61240                                    | 4.27E-05                                                                | 0.30737                                    |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |
| 2                            | 0                          | 2.44E-05                                                                | 0.61231                                    | 7.32E-05                                                                | 0.41651                                    | 1.83E-04                                                                | 0.35600                                    |
|                              | -0.03                      | 1.04E-04                                                                | 0.64951                                    | 1.46E-04                                                                | 0.51234                                    | 1.07E-04                                                                | 0.20694                                    |
|                              | -0.06                      | 2.01E-04                                                                | 0.68748                                    | 2.04E-04                                                                | 0.66596                                    | 2.07E-04                                                                | 0.40817                                    |
|                              | -0.09                      |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |
| 3                            | 0                          | 4.57E-05                                                                | 0.37694                                    | 2.35E-04                                                                | 0.40744                                    | 1.28E-04                                                                | 0.31997                                    |
|                              | -0.03                      | 2.87E-04                                                                | 0.82410                                    | 3.11E-04                                                                | 0.52599                                    | 8.84E-05                                                                | 0.24445                                    |
|                              | -0.06                      | 2.16E-04                                                                | 0.60332                                    | 4.57E-05                                                                | 0.29631                                    | 2.50E-04                                                                | 0.34048                                    |
|                              | -0.09                      | 3.35E-05                                                                | 0.38060                                    |                                                                         |                                            |                                                                         |                                            |



### VII.3.3 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 60% Lumpur + 40% Pasir

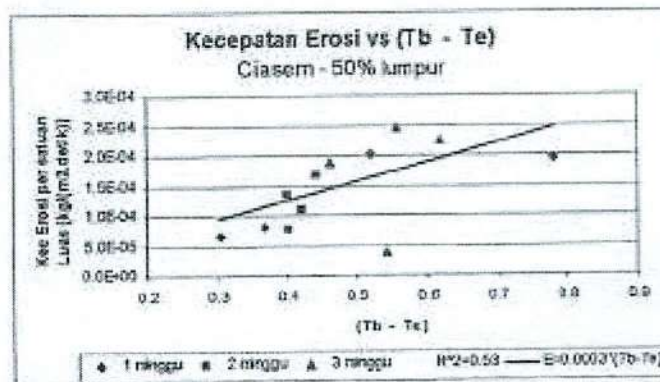
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif datar terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya, kecuali pada kedalaman 3 cm dimana nilainya menurun. Konsolidasi 3 minggu relatif turun secara konstan.



Gambar VII.25 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Ciasem – 60% lumpur)

### VII.3.4 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 50% Lumpur + 50% Pasir

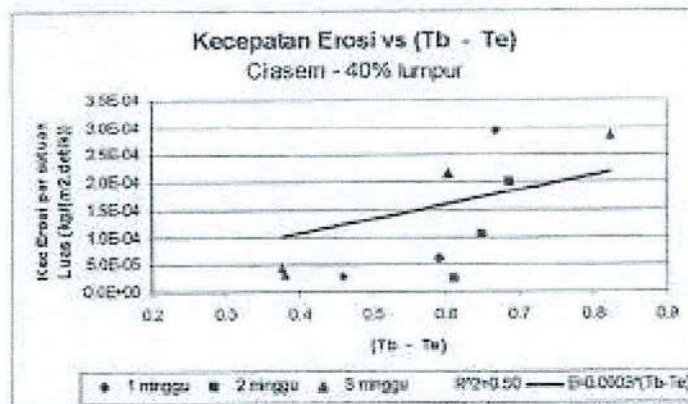
Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif naik terhadap nilai kecepatan erosinya. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif tidak mengalami pengaruh terhadap nilai kecepatan erosinya, kecuali pada kedalaman 3 cm dimana nilainya menurun. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya  $(\tau_b - \tau_c)$  relatif naik secara konstan terhadap nilai kecepatan erosinya, kecuali pada kedalaman 3 cm yang mengalami penurunan.



Gambar VII.26 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Ciasem – 50% lumpur)

### VII.3.5 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 40% Lumpur + 60% Pasir

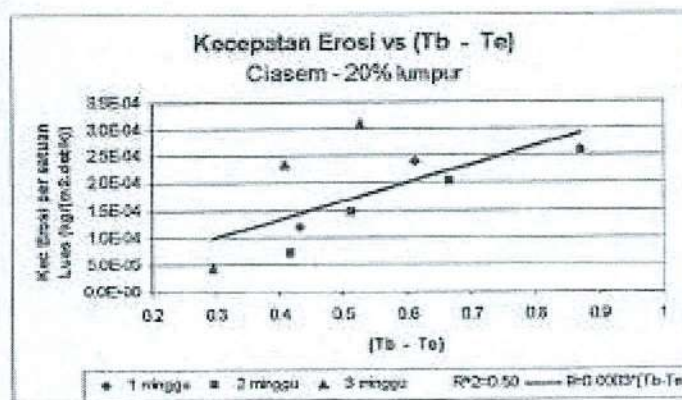
Konsolidasi 1 minggu dan 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi, kecuali pada kedalaman 3 cm dimana nilainya menurun.



Gambar VII.27 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem – 40% lumpur)

### VII.3.6 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 20% Lumpur + 80% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif naik terhadap nilai kecepatan erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) relatif naik terhadap nilai kecepatan erosi, kecuali pada kedalaman 3 cm dimana nilainya menurun. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi.

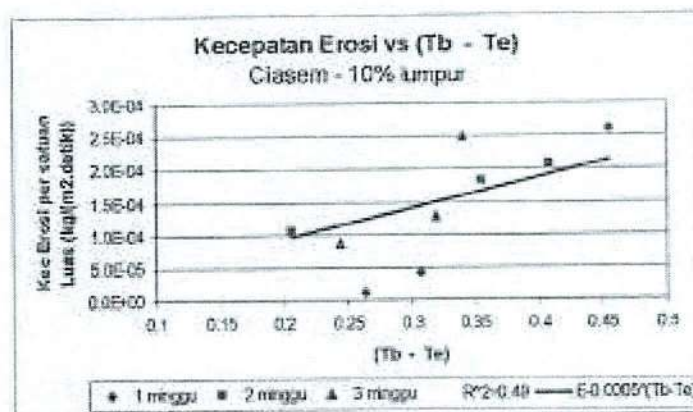


Gambar VII.28 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem – 20% lumpur)



### VII.3.7 Kecepatan Erosi Pada Sedimen 10% Lumpur + 90% Pasir

Konsolidasi 1 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik dengan signifikan secara konstan terhadap nilai kecepatan erosi. Konsolidasi 2 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi, kecuali pada kedalaman 3 cm dimana nilainya menurun. Konsolidasi 3 minggu sejalan naiknya ( $\tau_b - \tau_c$ ) menaik dengan signifikan terhadap nilai kecepatan erosi.



Gambar VII.29 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Ciasem - 10% lumpur)

### VII.3.8 Pembahasan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ )

Gambar VII.23 sampai dengan Gambar VII.28 menggambarkan hubungan kecepatan erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) sebagai hubungan linier, ( $\tau_b - \tau_c$ ) dapat mempresentasikan kecepatan erosi minimal sebesar 50 %. Gambar VII.29 tidak dapat menggambarkan hubungan linier antara ( $\tau_b - \tau_c$ ) dengan kecepatan erosi karena mempunyai nilai determinasi ( $R^2$ ) hanya 40%

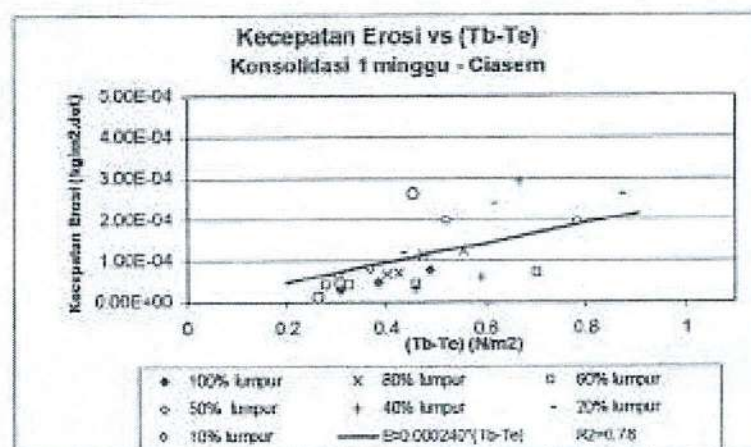
Hubungan ini diekspresikan sebagai hubungan linier sama dengan persamaan (2.10). Dengan hubungan ini menandakan bahwa kecepatan erosi bertambah seiring dengan bertambahnya perbedaan nilai  $\tau_b$  dengan  $\tau_c$ , kecuali pada komposisi 10% lumpur. Semakin besar tegangan geser yang terjadi dibandingkan tegangan geser kritis erosi maka semakin cepat erosi yang terjadi. Dari hubungan ini diperoleh nilai atau konstanta kecepatan erosi atau ada juga yang menyebut sebagai konstanta erosi.

Konstanta erosi untuk komposisi 100% dan 80% lumpur mempunyai nilai yang sama yaitu 0,0002, sedangkan pada komposisi 60%, 50%, 40% dan 20% lumpur adalah 0,0003

Kecepatan erosi sama dari 0% pasir sampai kadar pasir 20%, pada 40% pasir sampai 80% pasir kecepatan erosi sama tetapi naik sedikit lalu naik kembali 90% pasir dan tegangan geser kritis cenderung berkurang pada batas setelah kadar pasir lebih dari 60%.

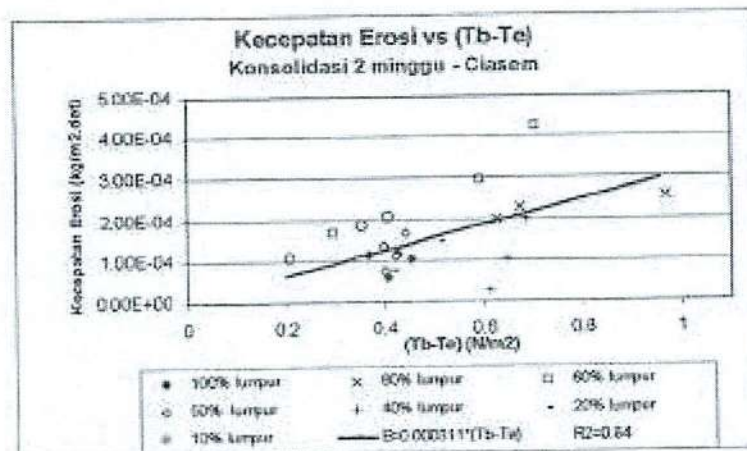
Untuk sedimen sungai Ciasem kehadiran pasir tidak meningkatkan ketahanan erosi bahkan pada 40% pasir konstanta erosi bertambah. Seperti diketahui ketahanan erosi tergantung dari gradasi pasir dan mineral lumpur karena gradasi pasir pada sungai Cimanuk relatif cukup besar ( $D_{60} = 0,22 \text{ mm}$ ) sehingga kurang kuat ikatannya dibandingkan dengan gradasi yang lebih halus seperti pada pasir sungai Citanduy ( $D_{60} = 0,21 \text{ mm}$ ), walaupun mineralnya montmorillinite. Dengan ikatan antara lumpur dan pasir lemah maka bisa terjadi hal tersebut. Hal ini sama seperti pada sedimen sungai Cimanuk.

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh suatu hubungan antara kecepatan erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  atau konstanta tegangan geser pada konsolidasi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, sebagai berikut :

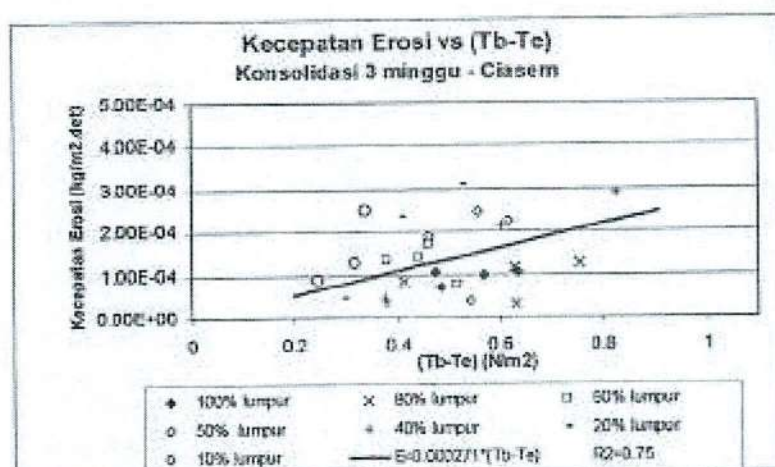


Gambar VII.30 Hubungan Kecepatan Erosi dengan  $(\tau_b - \tau_c)$  (Konsolidasi 1 minggu-Ciasem)

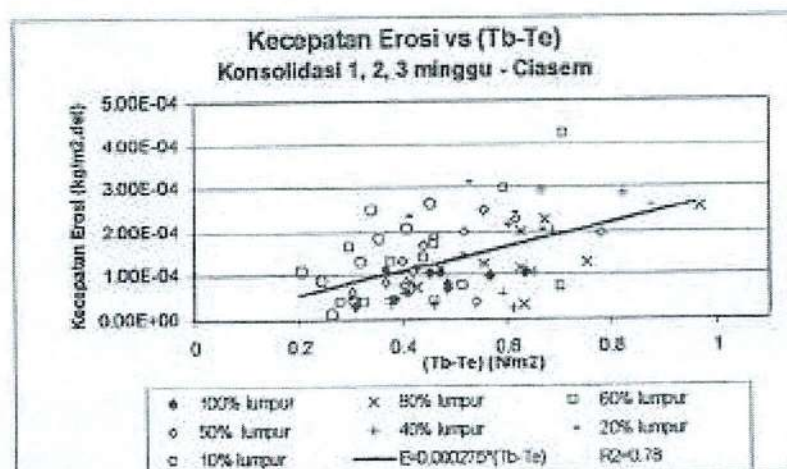




Gambar VII.31 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi 2 minggu-Ciasem)



Gambar VII.32 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi 3 minggu-Ciasem)



Gambar VII.33 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ ) (Konsolidasi 1, 2, 3 minggu-Ciasem)

Nilai konstanta erosi yang diperoleh untuk konsolidasi 1 minggu adalah 0,000240, untuk konsolidasi 2 minggu adalah 0,000311, untuk konsolidasi 3 minggu adalah 0,000271, dan untuk konsolidasi 1, 2, 3 minggu adalah 0,000275. Nilai-nilai tersebut diperoleh dengan determinasi paling rendah 75%

Dengan demikian konstanta erosi untuk lumpur sedimen sungai Ciasem bervariasi dari 0,0002 sampai 0,0005 kg/N.det, sedangkan sedimen Citanduy bervariasi dari 0,001 sampai 0,002 kg/N.det dan sedimen Cimanuk bervariasi dari 0,00008 sampai 0,0005 kg/N.det. Pada lumpur Hongkong diperoleh  $m_e$  dengan variasi 0,0004 – 0,0006 kg/N.det untuk kadar pasir 0% dan nilai  $m_e$  diperoleh 0,0002 kg/m<sup>2</sup> det dengan 50, 20, 11 % pasir (Mitchener dan Torfs, 1995).

Konstanta erosi yang diperoleh lebih rendah dibandingkan nilai konstanta erosi dari sedimen sungai Citanduy, dengan demikian kecepatan erosi yang terjadi lebih rendah di sungai Ciasem. Konstanta erosi sedimen sungai Ciasem dan Cimanuk relatif hampir sama besarnya dibandingkan dengan konstanta erosi sedimen sungai Citanduy. Sedangkan konstanta erosi sedimen sungai Ciasem relatif sama dengan dengan konstanta erosi lumpur Hongkong (Mitchener dan Torfs, 1995).

#### VII.4 Hubungan Konstanta Erosi dengan Persentasi Lumpur

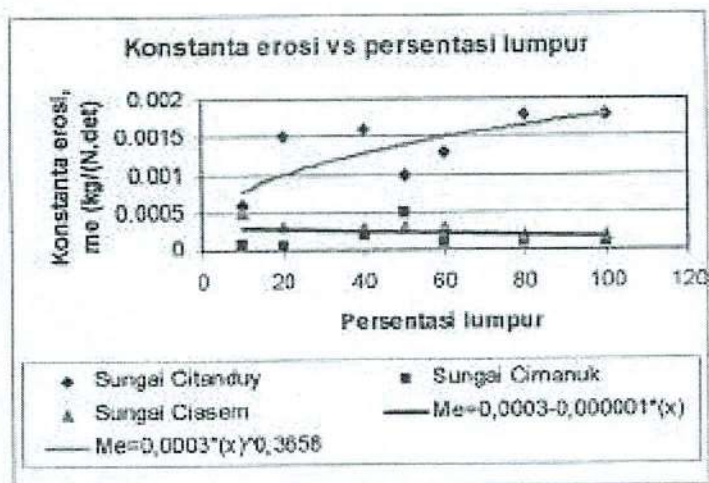
Hubungan konstanta erosi terhadap persentasi lumpur dipengaruhi oleh faktor mineral dari masing-masing lumpur. Terlihat dari Gambar VII.34, sungai Citanduy (kaolinite) mempunyai hubungan :

$$M_e = 0,0003 (x)^{0,3658} \quad (7.2)$$

sungai Cimanuk dan Ciasem (*montmorillonite*) mempunyai hubungan

$$M_e = 0,0003 - 0,000001 (x) \quad (7.3)$$





Gambar VII.34 Hubungan konstanta erosi terhadap persentasi lumpur

Hubungan konstanta erosi terhadap persentasi lumpur di sungai Citanduy dapat disimpulkan seperti persamaan (7.2) walaupun sebenarnya pada 50% lumpur merupakan komposisi campuran optimum untuk ketahanan erosi seperti terlihat pada Gambar VII.34.

Sungai Cimanuk dan Ciasem yang mempunyai mineral montmorillonite, bertambahnya persentasi lumpur membuat ketahanan erosi bertambah pula walaupun sedikit sekali dan dapat disimpulkan secara umum bahwa konstanta erosi di sungai tersebut adalah konstan dengan nilai 0,0003.

## BAB VIII KESIMPULAN

### VIII.1 Kecepatan Jatuh

#### Hubungan Kecepatan Jatuh dengan Konsentrasi

2 persamaan umum beserta koefisien-koefisien dari salinitas 0‰, 5‰, 10‰, 15‰, 20‰, 25‰, 30‰ yang diperoleh (Tabel VIII.1) dari penelitian kecepatan jatuh sedimen kohesif sungai Citanduy yaitu:

- $w_s = k_1 C^{k_2}$       0,1 gram/l < C < 4,25 gram/l; untuk daerah penggumpalan (*flocculation settling*);  
 $w_s$  = kecepatan jatuh, mm/det; C = konsentrasi sedimen, gram/l;  $k_1 = 0,02 - 0,56$ ;  $k_2 = 1,06 - 2,03$
- $w_s = w_{s0} (1 - k_3 C)^{k_4}$       4,25 gram/l < C < 18 gram/l; untuk daerah gangguan jatuhnya sedimen (*hindered settling*);  $k_3 = 0,0045 - 0,025$ ;  
 $w_{s0}$  = kecepatan jatuh pada konsentrasi  $C_2$ ;  $k_4 = 3 - 4,65$

Secara umum (tujuh salinitas dianalisa) diperoleh :

- Daerah penggumpalan (*flocculation settling*)      0,1 gram/l – 4,25 gram/l :  
 $k_1 = 0,1353$ ;  $k_2 = 1,4515$
- Daerah gangguan jatuhnya sedimen (*hindered settling*) 4,25 gram/l < C < 18 gram/l;  $w_{s0} = 2,1$  mm/det;  $k_3 = 0,024$ ;  $k_4 = 4,65$

Perubahan dari *flocculation settling* ke *hindered settling* terjadi pada batasan konsentrasi 4,25 gram/l. Semakin bertambah konsentrasi maka semakin besar viskositasnya. Pada konsentrasi 4,0 sampai dengan 8,0 gram/l diperoleh viskositas yang sama yaitu 11,4 mPa.s. Batasan konsentrasi 4,25 gram/l dapat diperkirakan bahwa pada konsentrasi sekitar 4 gram/l viskositas mulai berpengaruh dan memperlambat kecepatan jatuh. Konsentrasi dibawah 4 gram/l, viskositas belum berpengaruh untuk kecepatan jatuh karena kecepatan jatuh pada konsentrasi tersebut masih meningkat.



Persamaan yang diperoleh didukung oleh penelitian Umar (2000), Van Leussen (1988) dan Thorn dalam Mehta (1984). Hasil penelitian dapat dilihat pada tabel VIII.1.

Tabel VIII.1 Hasil penelitian dan referensi yang ada.

|                       |                              | Thorn dalam Mehta (1984) | Van Leussen (1988)        | Umar (2000)     | Wati (2005)                                                                                                                                                    |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Flocculation Settling | $k_1$                        | 0,513                    | Kecepatan jatuh referensi | 0,0004 (Sal 0‰) | 0,1353 (7 salinitas)<br>0,0284 (Sal 0‰)<br>0,2693 (Sal 5‰)<br>0,1627 (Sal 10‰)<br>0,5576 (Sal 15‰)<br>0,2029 (Sal 20‰)<br>0,1677 (Sal 25‰)<br>0,0341 (Sal 30‰) |
|                       | $k_2$                        | 1,29                     | 0,0-2,0                   | 1,7132 (Sal 0‰) | 1,4515 (7 salinitas)<br>2,027 (Sal 0‰)<br>1,1053 (Sal 5‰)<br>1,1519 (Sal 10‰)<br>1,1685 (Sal 15‰)<br>1,0701 (Sal 20‰)<br>0,8493 (Sal 25‰)<br>1,9976 (Sal 30‰)  |
|                       | Batasan konsentrasi (gram/l) | 0,1 - 3,5                | Tidak diketahui           | 0,03 - 1,1      | 0,1 - 4,25                                                                                                                                                     |
| Hindered Settling     | $w_{80}$ (mm/det)            | 2,6                      |                           |                 | 2,10 (7 salinitas)<br>0,58 (Sal 0‰)<br>0,88 (Sal 5‰)<br>1,05 (Sal 10‰)<br>2,10 (Sal 15‰)<br>0,61 (Sal 20‰)<br>0,59 (Sal 25‰)<br>0,58 (Sal 30‰)                 |
|                       | $k_3$                        | 0,008                    |                           |                 | 0,024 (7 salinitas)<br>0,0055 (Sal 0‰)<br>0,011 (Sal 5‰)<br>0,012 (Sal 10‰)<br>0,018 (Sal 15‰)<br>0,0045 (Sal 20‰)<br>0,005 (Sal 25‰)<br>0,011 (Sal 30‰)       |
|                       | $k_4$                        | 4,65                     |                           |                 | 4,65 (7 salinitas)<br>3,0 (Sal 0‰)<br>3,0 (Sal 5‰)<br>3,0 (Sal 10‰)<br>3,0 (Sal 15‰)<br>4,65 (Sal 20‰)<br>4,65 (Sal 25‰)<br>4,65 (Sal 30‰)                     |
|                       | Batasan konsentrasi (gram/l) | > 3,5                    |                           |                 | 4,25 - 18 gr/l                                                                                                                                                 |

### **Hubungan Kecepatan Jatuh dengan Salinitas**

Salinitas mempengaruhi lapisan difusi ganda yang mengelilingi partikel. Apabila salinitas meningkat maka lapisan difusi ganda yang mengelilingi partikel semakin menipis. Hal ini akan mengakibatkan jarak antar partikel menjadi lebih dekat dan timbul gaya Van der Waals sehingga sifat kohesif menjadi lebih kuat dan akan terbentuk flok baru yang lebih besar membuat kecepatan jatuh meningkat. Penelitian ini memperoleh nilai salinitas optimum pada 15 ‰ dengan konsentrasi dari 0,1 gr/l sampai 4,25 gr/l, setelah itu kecepatan jatuh akan berkurang untuk konsentrasi 4,25 gr/l -18 gr/l. Ternyata meningkatnya salinitas di atas 15 ‰ tidak mempengaruhi lapisan difusi ganda sehingga tidak memperkuat sifat kohesif.

### **III.2 Kedalaman terhadap Berat Jenis, Berat Jenis Kering, Kadar air, dan Tegangan Geser Kritis Erosi**

#### **• Kedalaman terhadap berat jenis**

Bertambahnya komposisi pasir meningkatkan berat jenis. Seperti diketahui berat jenis pasir (GS Citanduy = 2,7345, GS Cimanuk = 2,7517, GS Ciasem = 2,7944) lebih besar dari berat jenis lumpur (GS Citanduy = 2,6676, GS Cimanuk = 2,6936, GS Ciasem = 2,6329) sehingga bertambahnya komposisi pasir akan meningkatkan berat jenis sedimen campuran tersebut.

Nilai berat jenis bertambah besar dengan meningkatnya kedalaman dan bertambahnya waktu konsolidasi. Bertambahnya kedalaman akan menambah beban (berat sendiri) bagi lapisan sedimen yang bawah sehingga lapisan sedimen bawah semakin padat dan berat jenis akan bertambah besar. Begitu pula dengan bertambahnya waktu konsolidasi dimana konsolidasi adalah fenomena pemadatan dengan keluarnya air pori akibat berat sendiri (dalam penelitian pemadatan alami). Dengan demikian lapisan sedimen akan menjadi solid dan masif yang berdampak pada berat jenis akan bertambah.



- **Kedalaman terhadap berat jenis kering**

Sama halnya dengan berat jenis demikian juga hubungan kedalaman dengan berat jenis kering, perbedaan yang ada hanyalah pada nilai, nilai berat jenis kering tergantung dari kadar air yang terkandung dalam setiap lapisan sedimen pada tiap komposisi sedimen campuran dan pada setiap waktu konsolidasi.

- **Kedalaman terhadap kadar air**

Hubungan kedalaman dengan kadar air pada tiap komposisi sedimen campuran pada umumnya memperlihatkan kadar air berkurang dengan bertambahnya kedalaman, karena pemadatan yang terjadi menyebabkan air pori keluar. Selain itu bertambahnya komposisi pasir juga mengakibatkan kadar air berkurang karena pasir mempunyai sifat lolos air.

- **Kedalaman terhadap tegangan geser kritis erosi**

Bertambahnya komposisi pasir pada batas tertentu yaitu 50% pasir untuk sedimen sungai Citanduy dan Cimanuk, 60% pasir untuk sedimen sungai Ciasem membawa dampak bertambahnya tegangan geser kritis erosi. Setelah itu, kekuatan geser melemah karena berkurangnya ikatan yang diberikan sifat kohesif dari lumpur. Dapat dijelaskan dari gradasi pasir dan mineral lumpur tiap sungai yang berbeda. Sungai Citanduy mempunyai gradasi pasir ( $D_{60} = 0,21$  mm) paling halus lalu gradasi pasir sungai Ciasem ( $D_{60} = 0,22$  mm) kemudian gradasi sungai Cimanuk ( $D_{60} = 0,24$  mm). Mineral lumpur sungai Citanduy adalah *kaolinite*, sungai Cimanuk dan Ciasem adalah *montmorillonite*. Sungai Citanduy dengan gradasi pasir paling halus dan mineral *kaolinite* (CEC rendah) memperoleh kadar pasir optimum 50% untuk memperoleh nilai tegangan geser kritis maksimum (Gambar V.10, V.11, V.12). Pada sungai Cimanuk dengan gradasi pasir paling kasar dan mineral *montmorillonite* (CEC besar) memperoleh kadar pasir optimum 50% untuk memperoleh nilai tegangan geser kritis maksimum (Gambar V.22, V.23, V.24). Pada sungai Ciasem dengan gradasi pasir sedang dan mineral *montmorillonite* (CEC besar) memperoleh kadar pasir maksimum 60% untuk memperoleh nilai tegangan geser kritis maksimum (Gambar V.34, V.35, V.36)

### VIII.3 Tegangan Geser Kritis Erosi

#### Hubungan Tegangan Geser Kritis Erosi dengan Berat Jenis

Hubungan tegangan geser kritis dengan berat jenis diperoleh suatu bentuk persamaan yang terdiri dari 2 persamaan yaitu:

- persamaan pertama adalah persamaan dimana sifat kohesif dari lumpur masih ada sehingga ikatan antara lumpur dan pasir relatif masih kuat. Tegangan geser kritis erosi juga masih meningkat karena adanya ikatan tersebut membuat sedimen sukar tererosi.
- persamaan kedua adalah persamaan dimana sifat non kohesif lebih berperan dan sifat kohesif sudah tidak ada. Tegangan geser kritis erosi menjadi berkurang karena tidak ada lagi ikatan kohesif dan sifat individu butiran yang lebih dominan.

Perpindahan persamaan pertama ke persamaan kedua dipengaruhi oleh mineral lumpur, gradasi pasir dan lumpur dari masing-masing sungai.

Penulis mengusulkan persamaan tegangan geser kritis erosi terhadap berat jenis:

$$\tau_{cr1} = E1 (\rho_b - \rho_m)^{E2} \quad 1435 \text{ kg/m}^3 < \rho_b < 1675 \text{ kg/m}^3 \text{ (Citanduy)} \quad (8.1)$$

$$1450 \text{ kg/m}^3 < \rho_b < 1800 \text{ kg/m}^3 \text{ (Cimanuk)}$$

$$1200 \text{ kg/m}^3 < \rho_b < 1900 \text{ kg/m}^3 \text{ (Ciasem)}$$

$\rho_m$  = berat jenis minimum;  $E1$ ,  $E2$  adalah konstanta

$$\tau_{cr2} = a (\rho_b)^2 + b (\rho_b) + c \quad 1675 \text{ kg/m}^3 < \rho_b < 2100 \text{ kg/m}^3 \text{ (Citanduy)} \quad (8.2)$$

$$1800 \text{ kg/m}^3 < \rho_b < 2200 \text{ kg/m}^3 \text{ (Cimanuk)}$$

$$1900 \text{ kg/m}^3 < \rho_b < 2200 \text{ kg/m}^3 \text{ (Ciasem)}$$

$a, b, c$ : konstanta

#### Persamaan umum tegangan geser kritis erosi vs berat jenis

Berdasarkan mineral yang terkandung dalam lumpur, maka persamaan umum dapat dibedakan menjadi 2 yaitu untuk mineral *kaolinite* (Citanduy) dan *montmorillonite* (Cimanuk dan Ciasem) dapat dilihat pada Gambar IV.41

Mineral kaolin:

- persamaan (8.1);  $E1 = 4,5 \text{ E-}7$ ;  $E2 = 1,90$ ; Nilai  $\rho_m$  tergantung dari kandungan lumpur sungai,  $\rho_m = 1200 - 1450 \text{ kg/m}^3$  untuk lempung lunak.
- persamaan (8.2);  $a = -1,01573 \text{ E-}7$ ;  $b = 0,00039$ ;  $c = -0,34804$



#### Mineral montmorillonite:

- persamaan (8.1) dengan  $E1 = 0,0005 - 0,0097$ ;  $E2 = 0,4648 - 0,8323$   
Nilai  $\rho_m$  tergantung dari kandungan lumpur sungai,  $\rho_m = 1200 - 1450$  kg/m<sup>3</sup> untuk lempung lunak.
- persamaan (8.2) dengan  $a = (-5,0 \text{ E-}7) - (-7,4 \text{ E-}7)$ ;  $b = 0,0017 - 0,0027$ ;  
 $c = (-1,42) - (-2,37)$

#### Persamaan umum tegangan geser kritis erosi vs berat jenis kering

Berdasarkan mineral yang terkandung dalam lumpur, maka persamaan umum dapat dibedakan menjadi 2 yaitu untuk mineral *kaolinite* (Citanduy) dan *montmorillonite* (Cimanuk dan Ciasem) dapat dilihat pada Gambar IV.82

#### Mineral kaolinite:

- persamaan (8.1) dengan  $E1 = 0,00013$ ;  $E2 = 0,87$ ; Nilai  $\rho_m$  tergantung dari kadar air,  $\rho_m = 400 - 800$  kg/m<sup>3</sup> untuk lempung lunak. Berlaku untuk:  $800 \text{ kg/m}^3 < \rho_d < 1275 \text{ kg/m}^3$
- persamaan (8.2) dengan  $a = -1,63478 \text{ E-}7$ ;  $b = 0,0004$ ;  $c = -0,2306$ .  
Berlaku untuk:  $1275 \text{ kg/m}^3 < \rho_d < 1600 \text{ kg/m}^3$

#### Mineral montmorillonite:

- persamaan (8.1) dengan  $E1 = 0,0120 - 0,0333$ ;  $E2 = 0,23 - 0,35$   
Nilai  $\rho_m$  tergantung dari kadar air,  $\rho_m = 400 - 750$  kg/m<sup>3</sup> untuk lempung lunak. Berlaku untuk:  $435 \text{ kg/m}^3 < \rho_d < 1350 \text{ kg/m}^3$
- persamaan (8.2) dengan  $a = (-2,65 \text{ E-}7) - (-3,64 \text{ E-}7)$ ;  $b = 0,00058 - 0,00094$ ;  
 $c = (-0,18) - (-0,45)$ . Berlaku untuk:  $1350 \text{ kg/m}^3 < \rho_d < 1700 \text{ kg/m}^3$

#### VIII.4 Mode Erosi

Mode Erosi yang terjadi adalah mode erosi kohesif dengan tipe 1 yaitu *benign erosion*. Dari penelitian sedimen sungai Citanduy yang terjadi adalah mode erosi kohesif yaitu erosi yang terjadi seperti lumpur atau kohesif (lihat Gambar V.15 dan V.18). Dari seluruh komposisi campuran tidak terlihat transisi mode. Transisi mode adalah perubahan mode erosi dari mode erosi non kohesif menjadi mode

erosi kohesif. Tipe 1 adalah ada suatu puncak *erotion rate* yang cepat menurun dan dikenal sebagai “*benign*” *erotion* (Amos dkk, 1992).

Untuk sedimen sungai Cimanuk dan Ciasem terjadi transisi mode pada komposisi campuran 10% lumpur, lebih dari 10% lumpur terjadi mode erosi kohesif dengan tipe 1 juga.

Perbedaan transisi mode yang terjadi pada sedimen sungai Citanduy dengan sedimen sungai Cimanuk atau Ciasem adalah karena kandungan mineral dari lumpur sungai tersebut. Mineral lumpur sungai Citanduy mengandung *kaolinite*, sedangkan lumpur sungai Cimanuk dan Ciasem mengandung *montmorillonite*. Percobaan yang pernah dilakukan Torfs (1995) dengan material *kaolinite* mengalami transisi mode pada 3 % kadar *kaolinite*. Pada penelitian ini dimana dari 7 komposisi campuran sedimen sungai Citanduy yang terkecil adalah 10 % *kaolinite* (komposisi mineral sampel sebagian besar *kaolinite*) memperlihatkan mode erosi kohesif. Diperkirakan transisi mode pada 3 % - 10 % kadar *kaolinite* (lumpur). Percobaan yang sama dengan *montmorillonite* menunjukkan zona transisi mode pada 7 – 13 % kadar *montmorillonite* (Mitchener dan Torfs, 1995). Seperti terlihat pada Tabel VIII.2

Tabel VIII.2 Persentasi Lumpur terhadap Perubahan Mode Erosi

| Material kohesif | Ukuran pasir yang digunakan (µm) | % lumpur pada transisi mode erosi | Reference   |
|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Kaolinite        | 230                              | 3 %                               | Torfs, 1995 |
|                  | 210                              | <10%                              | Wati, 2005  |
| Montmorilonitte  | 230                              | 7 – 13 %                          | Torfs, 1995 |
|                  | 220                              | 10%                               | Wati, 2005  |
|                  | 240                              | 10%                               | Wati, 2005  |

Mode erosi kohesif yang terjadi pada komposisi campuran sedimen 10 % lumpur dapat dianalisis dengan teori struktur sedimen yaitu partikel lempung mengalami kondisi pelekatan awal dan membentuk struktur jaringan yang disebut dengan perilaku “*space filling*”. Pada 5 % kaolin terlihat flok lempung berhubungan dengan pasir di beberapa tempat tetapi jaringan lempung belum berkembang di



sekitar pasir. Pada 19,3 % kaolin menunjukkan ikatan kohesif sudah mendominasi dimana lempung sudah berada di sekitar pasir dan "*space filling*" sudah terbentuk sebelumnya.

#### VIII.5 Hubungan Kecepatan Erosi dengan ( $\tau_b - \tau_c$ )

$E = M_e (\tau_b - \tau_c)$  ; E: kecepatan erosi,  $\text{kg/m}^3 \text{ det}$ ;  $\tau_b$ : tegangan geser dasar,  $\text{N/m}^2$ ;  
 $\tau_c$ : tegangan geser kritis untuk erosi,  $\text{N/m}^2$ ;  $M_e$ : konstanta erosi,  
 $\text{kg/N.det}$

Kecepatan erosi bertambah seiring dengan bertambahnya perbedaan nilai  $\tau_b$  dengan  $\tau_c$ , kecuali kadar pasir besar. Semakin besar tegangan geser yang terjadi dibandingkan tegangan geser kritis erosinya maka semakin cepat erosi yang terjadi. Dari hubungan ini diperoleh nilai atau konstanta kecepatan erosi atau ada juga yang menyebut sebagai parameter erosi.

Untuk sedimen Citanduy, kehadiran pasir sampai batas tertentu meningkatkan ketahanan erosi tergantung dari gradasi pasir dari campuran sedimen dan mineral dari lumpur. Sampai dengan komposisi 50% lumpur, konstanta erosi berkurang, tetapi pasir lebih dari 50% yaitu 60% pasir atau 40% lumpur, konstanta erosi meningkat kembali tetapi tidak sebesar konstanta erosi 100% lumpur.

Pada sedimen Cimanuk, konstanta erosi mempunyai nilai yang sama dari 100 % lumpur sampai dengan 60 % lumpur. Lalu bertambah untuk 50 % lumpur dan turun pada 40 %, 20 %, dan 10 % lumpur.

Jadi kehadiran pasir pada sedimen Cimanuk tidak meningkatkan ketahanan erosi pada 50% lumpur di mana konstanta erosi bertambah. Ikatan antara lumpur dan pasir lemah karena gradasi pasir Cimanuk relatif cukup besar ( $D_{60} = 0,24 \text{ mm}$ ) tetapi dibandingkan dengan gradasi yang lebih halus seperti pada pasir sungai Citanduy ( $D_{60} = 0,21 \text{ mm}$ ) masih lebih baik ketahanan erosinya, karena mineralnya adalah *montmorillonite*. Seperti diketahui ketahanan erosi tergantung dari gradasi pasir dan mineral lumpur.

Pada 100 % dan 80 % lumpur di sungai Ciasem mempunyai ketahanan erosi yang sama lalu meningkat dan mempunyai harga yang konstan pada 60 %, 50 %, 40 %, dan 20 % lumpur kemudian pada 10 % lumpur bertambah. Gradasi pasir pada sungai Ciasem relatif hampir sama ( $D_{60} = 0,22$  mm) dan mempunyai mineral *montmorillonite*, sehingga ikatannya lebih baik dibandingkan dengan sungai Citanduy ( $D_{60} = 0,21$  mm) walaupun gradasi pasirnya lebih halus sedikit.

Dengan demikian konstanta erosi untuk lumpur sedimen Citanduy bervariasi dari 0,001 sampai 0,002 kg/N.det, sedangkan sedimen Cimanuk bervariasi dari 0,00008 sampai 0,0005 kg/N.det, dan sedimen sungai Ciasem bervariasi dari 0,0002 sampai 0,0005 kg/N.det. Pada lumpur Hongkong diperoleh  $M_e$  dengan variasi 0,0004 – 0,0006 kg/N.det untuk kadar pasir 0% dan nilai  $M_e$  diperoleh 0,0002 kg/m<sup>2</sup> det dengan 50, 20, 11 % pasir (Mitchener dan Torfs, 1995).

Konstanta erosi sedimen sungai Cimanuk dan Ciasem relatif hampir sama besarnya dan lebih rendah dibandingkan dengan konstanta erosi sedimen sungai Citanduy, dengan demikian kecepatan erosi yang terjadi lebih rendah di sungai Cimanuk dan Ciasem. Sedangkan konstanta erosi sedimen sungai Ciasem relatif sama dengan dengan konstanta erosi lumpur Hongkong (Mitchener dan Torfs, 1995).

Hasil yang diperoleh untuk konsolidasi 1, 2, dan 3 minggu kurang baik karena data yang dipakai dalam memperoleh konstanta erosi adalah data dari seluruh komposisi campuran sedimen. Komposisi campuran sedimen sangat berpengaruh terhadap ketahanan erosi, sebaiknya dipakai data 1 macam komposisi saja.

#### Hubungan Konstanta Erosi dengan Persentasi Lumpur

Hubungan dipengaruhi oleh faktor mineral dari lumpur masing-masing sungai sehingga diperoleh hubungan  $M_e = 0,0003 (x)^{0,3658}$  (kaolinite)

$$M_e = 0,0003 - 0,000001 (x) \text{ (montmorillonite)}$$



Hubungan konstanta erosi terhadap persentasi lumpur di sungai Citanduy (*kaolinite*) dapat disimpulkan demikian walaupun sebenarnya pada 50% lumpur merupakan komposisi campuran optimum untuk ketahanan erosi seperti terlihat pada Gambar VII.34.

Sungai Cimanuk dan Ciasem yang mempunyai mineral montmorillonite, bertambahnya persentasi lumpur membuat ketahanan erosi bertambah pula walaupun sedikit sekali dan dapat disimpulkan secara umum bahwa konstanta erosi di sungai tersebut adalah konstan dengan nilai 0,0003.

#### VIII.6 Saran

1. Pengambilan sampel sebaiknya pada lokasi dan waktu yang sama.
2. Penelitian sebaiknya juga dilakukan di lapangan dan dengan sampel *undisturb*.
3. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan kandungan mineral *illite* dengan ukuran butir sedimen yang lebih kecil dari 62,5  $\mu\text{m}$  dan dengan lokasi yang lebih menyebar.
4. Siapkan formulir dan label untuk sampel dan data serta penomoran yang teratur baik saat percobaan maupun file-file di komputer.
5. Persiapkan tabung sampel dengan uliran yang baik sehingga proses percobaan berjalan lancar.
6. Persiapkan dengan baik pengambilan sampel untuk berat jenis.
7. Siapkan oven yang mempunyai kapasitas yang besar dan panas yang cukup serta stabil.
8. Perhatikan mode erosi yang terjadi untuk memperkirakan waktu yang diambil untuk mengukur kecepatan erosi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvares-Hernandez, E., (1990), *The Influence of Cohesion on Sedimen Movement in Channels of Circular Cross Section*. Ph.D. thesis, University of Newcastle upon Tyne.
- Amos, C.L., Christian, H.A., Grant J. and Paterson, D.M., (1992), *A Comparison of in-situ and Laboratory Methods to Measure Mudflat Erodibility*. In: R.A. Falconer, S.N. Chandler-Wilde and S.Q. Liu (Editors), *Hydraulic and Environmental Modeling: Coastal Waters. Proceedings of the Second International Conference on Hydraulic and Environmental of Coastal, Estuarine and River Waters, Vol. 1*, pp. 325-336.
- Bagnold, R.A., (1966), *An Approach to the Sediment Transport Problem form General Physics Geological Survey Prof. Paper 422-1*, Washington.
- Berlamont, Mary Ockenden, Erik Toorman and Johan Winterwerp. (1993), *The Characterisation of Cohesive Sediment Properties*, Coastal Engineering, 21
- Bijker, E.W., (1971), *Longshore Transport Computations. Journal of the Waterways, Harbours and Costal Engineering Division, Vol 97, no. WW4*.
- Bonnefille, R., (1963), *Essais de Synthese des Lois de Debut d'entrainment des Sediments sous l'action d'un Courant en Regime Uniforme Bull, duCERC, No. 5, Chatou*.
- Cheng, D.H., (1969), *Incipient Motion of Large Roughness Elements in Turbulent Open Channel Flow*, Ph.D Dissertation, Utah State Univ., Logan, Utah.
- Chien, N., (1954), *The Present Status of Research in Sediment Transport, Proc.ASCE, Vol.80*.
- Dade, W.B. and Nowell, A.R.M., (1991), *Moving Muds in the Marine Environment*. In: *Coastal Sediment '91 Proceedings*. Speciality Conference/WR Div./ASCE, Seattle, WA, pp.54-71.
- Dou, Guaren, "Theory on Threshold Motion of Sediment Particles", *Setentia Sinica, Vol. 11, No. 7, (1962), pp. 999 - 1032 (in Russian)*.
- Dou, Guaren. "On Threshold Velocity of Sediment Particles." *Journal of HydraulicEngineering, April (1960), pp. 22 -31. (in Chinese)*
- Egiazaroff, I.V., (1965), *Calculation of Nonuniform Sediment Concentration, J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol. 91, No.HY4*.



Einstein, H.A., (1950), *The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flow*. Technical Bulletin No. 1026, U.S. Dep. Of Agriculture, Washington D.C.

Frijlink, H.C., (1952), *Discussion of Bed Load Movement Formulas*. Report No. X2344/LV, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

Gessler, J., (1971), *Beginning and Ceasing of Sediment Motion*, Chap.7., *River Mechanics*, H.W. Shen (ed), Water Resources Publications, Littleton, Colorado.

Hinze, J.O., (1975), *Turbulence*. McGraw Hill Book Company.

Kamphuis, W. and Hall, K.R., (1983), *Cohesive Material Erosion by Unidirectional Current*. ASCE J, *Hydraulic Eng.*, (January): 49-61.

Krishnappan, B.G., (1993), *Rotating Circular Flume*. J. Hydraul. Engrg. ASCE 119(6), 758 – 767

Krishnappan, B. G., P. Engel and R. Stephens, (1994b), *Shear Velocity Distribution in a Rotating Flume*, NWRI Contribution 94 – 102, National Water Research Institute, Burlington, Ontario, Canada, 23 pp.

Krone, R.B., (1962), *Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Processes*. Final Report. Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory. University of California, Berkeley.

Kuijper, C., J.M. Cornelisse and J.C. Winterwerp, (1989), *Research on Erosive Properties of Cohesive Sediments*. J. Geophysical Res. 95 (C10), 1434 – 14350.

Laporan *River Morphology and Sediment Study* yang dilakukan oleh The Citanduy River Basin Integrated Development Project.

McCave, I.N., (1984), *Erosion, Transport and Deposition of Fine-Grained Marine Sediment*. Geol. Soc. London. Soc. London. Spec. Publ. No.15.

Mehta, A.J., (1991), *Review Notes on Cohesive Sediment Erosion*. In: N.C. Krauss et al. (Editors), *Coastal Sediment*, Vol. I, pp.44-53.

Mehta A.J., (1993), *Hydraulic Behavior of Fine Sediment*. In *Coastal, Estuarial and Harbour Engineers Reference Book*. ed. M.B. Abbot and W.A. Price. Pp. 577-584. E & FN Spon Ltd, London.

Mehta, A.J. and E. Partheniades, (1973), *Depositional Behaviour of Cohesive Sediments*. UFL/COEL – TR/016, Coastal and Oceanographic Engineering Department, University of Florida, Gainesville, Florida, 297 pp.



Mehta A.J. and Lee, S.L., (1994), *Problems in Linking The Threshold Condition for The Transport of Cohesionless and Cohesive Sediment Grain*. *J. Coastal Res.*, 10 (1): 170-177.

Meyer-Peter, e. and Mueller, R., (1984), *Formulas for Bed-Load Transport*. Sec. Int. IAHR congres, Stockholm, Sweden.

Mitchener and Torfs (1996), *Erosion of Mud/Sand Mixtures*, *Coastal Engineering* 29: 1-25

Miller, M.C. McCave, I.N. and Komar, P.D., (1977), *Threshold of Sediment Motion Under Unidirectional Currents*. *Sedimentology*, 24: 507-528.

Murray, W.A., (1977), *Erosion of Coarse Sand-Clayey Silt Mixtures*. *ASCE J. Hydraul. Eng.*, (Oktober): 1222-1227.

Ockenden, M.C. and Delo, E.A., (1988), *Consolidation and Erosion of Estuarine Mud and Sand Mixtures-An Experimental Study*. HR Wallingford, Report No. SR 149.

Parchure, T. and Mehta, A.J., (1985), *Erosion of Soft Cohesive Sediment Deposites*. *J. Hyd. Eng.*, 111(1): 1308-1326.

Partheniades, E., (1965), *Erosion and Deposition of Cohesive Soils*. *J. Hydraul. Div. Proc. ASCE*, 91(HY1): 105-137.

Patheniades, E. and J.F. Kennedy, (1967), *Depositional Behaviour of Fine Sediment in a Turbulent Fluid Motion*. *Proc. 10<sup>th</sup> Conf. on Coastal Engineering*, Tokyo, Japan 2, 707/29

Petersen, O. and B.G. Krishnappan, (1994), *Measurement and Analysis of Flow Characteristics in a Rotating Circular Flume*, *J. Hydraul. RES., IAHR*, Vol. 32(4). pp. 483 - 494.

Schiels, A., (1936), *Anwendung der Ähnlichkeitsmechik und der Turbulenz Forschung auf die Geschiebebewegung* Mitt. De Preuss. Versuchsamst. Fur Wasserbau und Schiffbau, Heft 26, Berlin, Deutschland.

Sha, Yuqing. *Elementary Sediment Mechanics*. Industry Press, (1965), p. 302 (in Chinese)

Smerdon, E.T. and R.P. Beasley. "Tractive Force Theory Applied to StabilityOf Open Channels in Cohesive Soils." *Res. Bull. No. 715, Agri. Exp. Sta. Univ. Missouri*, Oct, (1959).

Tang, Cunben. "Law of Sediment Threshold." *Journal of Hydraulic Engineering*, (1964), (in Chinese).



Van Rijn, L.C., (1984a), *Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport*. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, vol. 110, No. 10.

Van Rijn, L.C., (1984a), *Sediment Transport, Part III: Alluvial Roughness*. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol 110, No.12.

Van Rijn, L.C., (1993). *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*. Delft Hydraulics. University of Utrecht Department of Physical Geography.

White, C.M., (1940), *The Equilibrium of Grains on the Bed of a Stream*. *Proc. Royal Society of London, Series A, No. 958, Vol. 174*, pp.322-338.

WIHEE. *River Mechanics*. Industry Press, April, (1960), pp. 44 – 60 (in Chinese)

Yalin, M.S., *Mechanics of Sediment Transport*. Pergamon Press, (1972), p. 74 – 110.

Yang, C.T.,(1996), *Sediment Transport: Theory and Practise*. McGraw-Hill Companies, Inc. Singapore.

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 3 Oktober 1965 di Jakarta, anak bungsu dari Hendro Pranoto dan Asriyanti. Ia mempunyai 3 kakak laki-laki dan 1 kakak perempuan.

Ia lulus dari SMAK Ketapang Jakarta pada tahun 1984 dan memperoleh gelar sarjana pada tahun 1990 di Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara.

Sejak tahun 1991 ia menjadi staf pengajar di Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara. Ia mendapat kesempatan melanjutkan pendidikan program Master pada tahun 1992 di Jurusan Teknik Sipil Universitas Indonesia dan selesai pada tahun 1995.

Ia mendapat kesempatan kembali untuk mengikuti program Doktor pada tahun 1999 di Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.

Penulis menikah dengan Sunarjo Leman pada tanggal 10 November 1991 dan mempunyai 1 putri Jessica Leman, 11 tahun.

Karya ilmiah yang pernah dipresentasikan dan diprosidingkan:

1. Pranoto, W.A., Hidayat, R., Bachri, S., (2003), *Pengaruh Pemurunan Kualitas Air Sungai Cikapundung di Bandung dari Hulu ke Hilir terhadap Berbagai Pemanfaatan Air, Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia XX*, Samarinda
2. Pranoto, W.A., Soekarno, I., Cahyono, (2004), *Tegangan Geser Kritis Erosi, Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia XXI*, Bali.
3. Pranoto, W.A., Soekarno, I., Cahyono, (2005) *Studi Tegangan Geser Kritis Erosi terhadap Berat Jenis pada Sedimen Sungai Cimanuk, Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia XXII*, Yogyakarta.



Kursus/ Penataran:

Pengelolaan Dacrah Pantai Terpadu (Integrated Coastal Zone Management), PAU  
Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, 1999