

## DAFTAR ISI

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PENGESAHAN .....                                                               | i   |
| KATA PENGANTAR .....                                                           | ii  |
| <i>Abstrak</i> .....                                                           | iv  |
| <i>Abstract</i> .....                                                          | v   |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....                                               | vi  |
| DAFTAR ISI.....                                                                | vii |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                            | x   |
| DAFTAR TABEL.....                                                              | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....                                                        | 1   |
| 1.1    Latar Belakang .....                                                    | 1   |
| 1.2    Identifikasi Masalah .....                                              | 4   |
| 1.3    Batasan Masalah .....                                                   | 6   |
| 1.4    Rumusan Masalah .....                                                   | 9   |
| 1.5    Tujuan Penelitian .....                                                 | 9   |
| BAB 2 DASAR TEORI .....                                                        | 10  |
| 2.1    Baja <i>Cold-formed</i> dan Baja <i>Hot-rolled</i> .....                | 10  |
| 2.2    Pembentukan Baja <i>Cold-formed</i> .....                               | 12  |
| 2.3    Beberapa Pertimbangan dalam Desain Konstruksi Baja <i>Cold-formed</i> . | 14  |
| 2.4    Material Baja <i>Cold-formed</i> .....                                  | 17  |
| 2.4.1    Tegangan Leleh.....                                                   | 17  |
| 2.4.2    Kuat Tarik .....                                                      | 18  |
| 2.4.3    Karakteristik Tegangan-Regangan.....                                  | 18  |
| 2.4.4    Modulus Elastisitas, Modulus Tangensial, dan Modulus Geser .....      | 20  |
| 2.4.5    Daktilitas .....                                                      | 20  |
| 2.4.6    Kemampuan Las .....                                                   | 21  |

|                                   |                                                                |    |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.7                             | Kekuatan Fatik .....                                           | 21 |
| 2.4.8                             | Keliatan .....                                                 | 21 |
| 2.5                               | Batang Tekan .....                                             | 22 |
| 2.6                               | Panjang Efektif.....                                           | 26 |
| 2.6                               | Kekuatan Tekan (SNI 7971:2013) .....                           | 27 |
| 2.7                               | Lebar Efektif Penampang (SNI 7971:2013) .....                  | 28 |
| 2.7.1                             | Lebar Efektif <i>Lips</i> .....                                | 28 |
| 2.7.2                             | Lebar Efektif <i>Flens</i> .....                               | 29 |
| 2.7.3                             | Lebar Efektif <i>Web</i> .....                                 | 31 |
| 2.8                               | Metode Elemen Hingga .....                                     | 32 |
| 2.8.1                             | Perkembangan Metode Elemen Hingga.....                         | 35 |
| 2.8.2                             | Langkah-Langkah Perhitungan Metode Elemen Hingga.....          | 36 |
| 2.8.3                             | <i>Shell</i> .....                                             | 42 |
| 2.8.4                             | Kondisi Batas .....                                            | 43 |
| 2.8.5                             | Teori Energi Distorsi Maksimum .....                           | 43 |
| 2.9                               | Program MIDAS FEA .....                                        | 44 |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN ..... |                                                                | 45 |
| 3.1                               | Tahapan Penelitian .....                                       | 45 |
| 3.1.1                             | Tahap Penetapan Tujuan dan Metode Penelitian .....             | 45 |
| 3.1.2                             | Tahap Identifikasi Masalah .....                               | 46 |
| 3.1.3                             | Tahap Penentuan Profil Uji.....                                | 46 |
| 3.1.4                             | Tahap Analisis Kapasitas Profil .....                          | 47 |
| 3.1.5                             | Tahap Analisis Hasil .....                                     | 48 |
| 3.1.6                             | Tahap Pembahasan.....                                          | 48 |
| 3.2                               | Langkah-langkah Pemodelan Baja <i>Cold-formed</i> .....        | 48 |
| 3.3                               | Verifikasi Metode Elemen Hingga Dengan Perhitungan Manual..... | 55 |
| BAB 4 STUDI KASUS.....            |                                                                | 57 |
| 4.1                               | Pendahuluan .....                                              | 57 |
| 4.2                               | Hasil Analisis Berdasarkan Program MIDAS FEA.....              | 57 |

|                                         |                                                                                    |    |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.1                                   | Tanpa Lubang .....                                                                 | 57 |
| 4.2.2                                   | Model 1 Diameter 10 mm (1,1D10).....                                               | 60 |
| 4.2.3                                   | Model 1 Diameter 20 mm (1,1D20).....                                               | 61 |
| 4.2.4                                   | Model 1 Diameter 30 mm (1,1D30).....                                               | 61 |
| 4.2.5                                   | Model 2 Diameter 10 mm (2,1D10).....                                               | 61 |
| 4.2.6                                   | Model 2 Diameter 20 mm (2,1D20).....                                               | 62 |
| 4.2.7                                   | Model 2 Diameter 30 mm (2,1D30).....                                               | 62 |
| 4.2.8                                   | Model 3 Diameter 10 mm (1,2D10).....                                               | 63 |
| 4.2.9                                   | Model 3 Diameter 20 mm (1,2D20).....                                               | 63 |
| 4.2.10                                  | Model 3 Diameter 30 mm (1,2D30).....                                               | 64 |
| 4.2.11                                  | Model 4 Diameter 10 mm (2,2D10).....                                               | 64 |
| 4.2.12                                  | Model 4 Diameter 20 mm (2,2D20).....                                               | 65 |
| 4.2.13                                  | Model 4 Diameter 30 mm (2,2D30).....                                               | 65 |
| 4.3                                     | Hasil Analisis Berdasarkan Perhitungan Manual (SNI 7971:2013) ....                 | 66 |
| 4.3.1                                   | Data Profil .....                                                                  | 66 |
| 4.3.2                                   | Perhitungan Kekuatan Saat Tegangan Leleh Tahap Pertama .....                       | 67 |
| 4.3.3                                   | Perhitungan Tegangan Kritis .....                                                  | 70 |
| 4.3.4                                   | Perhitungan Kekuatan Saat Tegangan Kritis .....                                    | 71 |
| 4.4                                     | Analisis Perbandingan Hasil Kuat Tekan (Manual dan MIDAS FEA)                      | 74 |
| 4.5                                     | Analisis Pengaruh Dimensi Lubang terhadap Kuat Tekan .....                         | 75 |
| 4.6                                     | Analisis Pengaruh Posisi 1 Lubang dan 2 Lubang di Tengah Bentang                   | 78 |
| 4.7                                     | Analisis Pengaruh Posisi 1 Lubang dan 2 Lubang di 1/3 dan 2/3 Panjang Bentang..... | 79 |
| 4.8                                     | Analisis Pengaruh Lubang pada Kedua Sisi Ujung Profil .....                        | 80 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....        |                                                                                    | 81 |
| 5.1                                     | Kesimpulan .....                                                                   | 81 |
| 5.2                                     | Saran.....                                                                         | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                    |                                                                                    | 83 |
| LAMPIRAN 1 <i>OUTPUT</i> PEMODELAN..... |                                                                                    | 85 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.1 Bentuk Profil Baja <i>Hot-rolled</i> (Gunung Garuda Steel, 2017).....                        | 2  |
| Gambar 1.2 Bentuk Profil Baja <i>Cold-formed</i> (Yu dan LaBoube, 2010) .....                           | 3  |
| Gambar 1.3 Bentuk <i>Panel &amp; Decks</i> (Yu dan LaBoube, 2010) .....                                 | 3  |
| Gambar 1.4 Pemodelan <i>Cold-Formed Steel Built-Up Beams</i> (Fransisco J. Meza, et al., 2020) .....    | 5  |
| Gambar 1.5 Pemodelan Lubang (Joshua Tjandra, et al., 2020) .....                                        | 5  |
| Gambar 1.6 Lubang Pada Konstruksi Atap (Liaoning QHHK Construction Material Technology Co., LTD.) ..... | 5  |
| Gambar 1.7 Gambar Ukuran Profil Penampang .....                                                         | 6  |
| Gambar 1.8 Pemodelan Lubang Model 1 .....                                                               | 7  |
| Gambar 1.9 Pemodelan Lubang Model 2 .....                                                               | 7  |
| Gambar 1.10 Pemodelan Lubang Model 3 .....                                                              | 8  |
| Gambar 1.11 Pemodelan Lubang Model 4 .....                                                              | 8  |
| Gambar 2.1 Mesin <i>Cold-roll-forming</i> (Yu dan LaBoube, 2010) .....                                  | 13 |
| Gambar 2.2 <i>Press Brake Operation</i> (Yu dan LaBoube, 2010) .....                                    | 13 |
| Gambar 2.3 Tekuk Lokal (Bambach, 2003).....                                                             | 14 |
| Gambar 2.4 Jenis Peristiwa Tekuk (Schafer, 2017) .....                                                  | 15 |
| Gambar 2.5 Diagram Tegangan-Regangan Kelelehan Tajam (Yu dan LaBoube, 2010) .....                       | 18 |
| Gambar 2.6 Diagram Tegangan-Regangan Kelelehan Tumpul/Bertahap (Yu dan LaBoube, 2010).....              | 19 |
| Gambar 2.7 Metode <i>Offset</i> (Yu dan LaBoube, 2010) .....                                            | 19 |
| Gambar 2.8 Metode <i>Strain-underload</i> (Yu dan LaBoube, 2010) .....                                  | 20 |
| Gambar 2.9 Tipe Penampang Batang Tekan (Yu dan LaBoube, 2010).....                                      | 22 |
| Gambar 2.10 Tekuk Lentur Sumbu Lemah. (Nasution, 2011) .....                                            | 23 |
| Gambar 2.11 Tekuk Torsi. (Nasution, 2011) .....                                                         | 24 |
| Gambar 2.12 Tekuk Lentur-torsi. (Nasution, 2011) .....                                                  | 24 |
| Gambar 2.13 Tekuk Lokal (Shellbuckling.com).....                                                        | 25 |
| Gambar 2.14 Tekuk Distorsional (Shellbuckling.com) .....                                                | 25 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.15 Konsep Panjang Efektif (Dewobroto, 2015) .....                                      | 26 |
| Gambar 2.16 Diagram $f_1$ dan $f_2$ (SNI 7971:2013).....                                        | 29 |
| Gambar 2.17 Lokasi $b_1$ , $b_2$ , dan $d_s$ (SNI 7971:2013).....                               | 30 |
| Gambar 2.18 Lokasi $b$ , $d_1$ , $d$ , dan $\theta$ (SNI 7971:2013) .....                       | 31 |
| Gambar 2.19 Lokasi $b$ dan $b_e/2$ (SNI 7971:2013) .....                                        | 31 |
| Gambar 2.20 Lubang Pada Web (Yu dan LaBoube, 2010) .....                                        | 32 |
| Gambar 2.21 Pemodelan Elemen Hingga (Yosafat Aji Pranata, 2019).....                            | 33 |
| Gambar 2.22 Fungsi Kombinasi dan Elemen Tipikal Pendekatan (Yosafat Aji<br>Pranata, 2019) ..... | 33 |
| Gambar 2.23 Pendekatan Menghitung Suatu Luas Bidang (Yosafat Aji Pranata,<br>2019) .....        | 34 |
| Gambar 2.24 Simulasi Metode Elemen Hingga (Yosafat Aji Pranata, 2019) .....                     | 35 |
| Gambar 2.25 Diskritisasi Metode Elemen Hingga (C.S. Desai, 1988).....                           | 38 |
| Gambar 2.26 Elemen <i>Shell</i> (Devy Sari Purniawati, 2005).....                               | 43 |
| Gambar 2.27 Penerapan Kondisi Batas (Yosafat Aji Pranata, 2019) .....                           | 43 |
| .....                                                                                           | 45 |
| .....                                                                                           | 45 |
| Gambar 3.1 Tahapan Penelitian .....                                                             | 45 |
| Gambar 3.2 Data Material (MIDAS FEA).....                                                       | 48 |
| Gambar 3.3 2D <i>Property</i> (MIDAS FEA).....                                                  | 49 |
| Gambar 3.4 <i>Rigid Link</i> (MIDAS FEA) .....                                                  | 49 |
| Gambar 3.5 Pemodelan <i>Auto-Mesh Face</i> (MIDAS FEA) .....                                    | 50 |
| Gambar 3.6 Contoh Hasil Diskritisasi (MIDAS FEA) .....                                          | 51 |
| Gambar 3.7 Detail Lubang Hasil Diskritisasi (MIDAS FEA) .....                                   | 51 |
| Gambar 3.8 Pemodelan <i>Reference Point</i> (MIDAS FEA) .....                                   | 52 |
| Gambar 3.9 Pemodelan <i>Link</i> (MIDAS FEA).....                                               | 52 |
| Gambar 3.10 Pemodelan <i>Constraint</i> (MIDAS FEA).....                                        | 53 |
| Gambar 3.11 Pemodelan <i>Force</i> (MIDAS FEA) .....                                            | 54 |
| Gambar 3.12 <i>Linear Buckling Analysis</i> (MIDAS FEA) .....                                   | 54 |
| Gambar 3.13 <i>Nonlinear Static Analysis</i> (MIDAS FEA).....                                   | 55 |

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.1 Saat Mulai Keruntuhan Awal Plastis dengan Kuat Tekan 67,252 kN .....                       | 57 |
| Gambar 4.2 Saat Terjadi Keruntuhan Plastis dengan Kuat Tekan 67,325 kN .....                          | 58 |
| Gambar 4.3 Saat Seluruh Penampang Mencapai Keruntuhan Plastis Total dengan Kuat Tekan 67,398 kN ..... | 58 |
| Gambar 4.4 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> Awal Plastis .....                                        | 58 |
| Gambar 4.5 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis .....                                        | 59 |
| Gambar 4.6 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Keruntuhan Plastis Total .....                       | 59 |
| Gambar 4.7 <i>Displacement Lateral Buckling</i> Awal Plastis Sebesar 21,833 mm ...                    | 59 |
| Gambar 4.8 <i>Displacement Lateral Buckling</i> saat Plastis Sebesar 22,253 mm.....                   | 60 |
| Gambar 4.9 <i>Displacement Lateral Buckling</i> saat Keruntuhan Plastis Total Sebesar 35,443 mm ..... | 60 |
| Gambar 4.10 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 1 Diameter 10 mm .....                | 60 |
| Gambar 4.11 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 1 Diameter 20 mm .....                | 61 |
| Gambar 4.12 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 1 Diameter 30 mm .....                | 61 |
| Gambar 4.13 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 2 Diameter 10 mm .....                | 62 |
| Gambar 4.14 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 2 Diameter 20 mm .....                | 62 |
| Gambar 4.15 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 2 Diameter 30 mm .....                | 63 |
| Gambar 4.16 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 3 Diameter 10 mm .....                | 63 |
| Gambar 4.17 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 3 Diameter 20 mm .....                | 64 |
| Gambar 4.18 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 3 Diameter 30 mm .....                | 64 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.19 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 4 Diameter 10 mm .....                             | 65 |
| Gambar 4.20 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 4 Diameter 20 mm .....                             | 65 |
| Gambar 4.21 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> saat Plastis Model 4 Diameter 30 mm .....                             | 66 |
| Gambar 4.22 Profil Penampang CNP 100x50x20x2 .....                                                                 | 66 |
| Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Hasil Kuat Tekan (Manual dan MIDAS FEA) .....                                      | 74 |
| Gambar 4.24 Grafik Analisis Pengaruh Dimensi Lubang Model 1 (MIDAS FEA) .....                                      | 75 |
| Gambar 4.25 Grafik Analisis Pengaruh Dimensi Lubang Model 2 (MIDAS FEA) .....                                      | 76 |
| Gambar 4.26 Grafik Analisis Pengaruh Dimensi Lubang Model 3 (MIDAS FEA) .....                                      | 77 |
| Gambar 4.27 Grafik Analisis Pengaruh Dimensi Lubang Model 4 (MIDAS FEA) .....                                      | 77 |
| Gambar 4.28 Grafik Analisis Pengaruh Posisi 1 Lubang dan 2 Lubang di Tengah Bentang (MIDAS FEA) .....              | 78 |
| Gambar 4.29 Grafik Analisis Pengaruh Posisi 1 Lubang dan 2 Lubang di 1/3 dan 2/3 Panjang Bentang (MIDAS FEA) ..... | 79 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1.1 Ukuran Profil Penampang.....                                                                       | 6  |
| Tabel 1.2 Variasi Diameter Lubang Model 1.....                                                               | 7  |
| Tabel 1.3 Variasi Diameter Lubang Model 2.....                                                               | 7  |
| Tabel 1.4 Variasi Diameter Lubang Model 3.....                                                               | 8  |
| Tabel 1.5 Variasi Diameter Lubang Model 4.....                                                               | 8  |
| Tabel 2.1 Penentuan dari Faktor Tekuk Pelat, k (Sumber: SNI 7971:2013) .....                                 | 30 |
| Tabel 3.1 Jumlah <i>Nodes</i> dan <i>Element</i> (MIDAS FEA) .....                                           | 51 |
| Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Kuat Tekan (Manual dan MIDAS FEA) .....                                         | 74 |
| Tabel 4.2 Analisis Pengaruh Dimensi Lubang Model 1 (MIDAS FEA) .....                                         | 75 |
| Tabel 4.3 Analisis Pengaruh Dimensi Lubang Model 2 (MIDAS FEA) .....                                         | 76 |
| Tabel 4.4 Analisis Pengaruh Dimensi Lubang Model 3 (MIDAS FEA) .....                                         | 76 |
| Tabel 4.5 Analisis Pengaruh Dimensi Lubang Model 4 (MIDAS FEA) .....                                         | 77 |
| Tabel 4.6 Analisis Pengaruh Posisi 1 Lubang dan 2 Lubang di Tengah Bentang<br>(MIDAS FEA).....               | 78 |
| Tabel 4.7 Analisis Pengaruh Posisi 1 Lubang dan 2 Lubang di 1/3 dan 2/3 Panjang<br>Bentang (MIDAS FEA) ..... | 79 |
| Tabel 4.8 Analisis Pengaruh Lubang pada Kedua Sisi Ujung Profil Model 1<br>(MIDAS FEA).....                  | 80 |
| Tabel 4.9 Analisis Pengaruh Lubang pada Kedua Sisi Ujung Profil Model 3<br>(MIDAS FEA).....                  | 80 |