

## BAB V

### HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.

Pelat baja yang digunakan untuk pengujian memiliki ketebalan 2mm dan 3mm. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat bernama *Universal Testing Machine* (UTM) merk Shimadzu type UTM 30 di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari pengujian ini, didapatkan data hasil kuat tarik baja pada tabel 5.1

**Tabel 5.1** Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

| No | Benda Uji | Fy (Mpa) | Fu (Mpa) |
|----|-----------|----------|----------|
| 1  | Pelat 2mm | 230      | 350      |
| 2  | Pelat 3mm | 230      | 300      |

Dari hasil pengujian didapatkan nilai  $f_u/f_y$  pelat 2mm yaitu 1.52, sedangkan pelat 3mm yaitu  $f_u/f_y = 1,3$ . Nilai  $f_u/f_y$  pelat 2mm lebih besar daripada  $f_u/f_y$  pelat 3mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa pelat 2mm memiliki lebih besar kuat tariknya dibandingkan dengan pelat 3mm. Hasil perhitungan kuat tarik baja dapat dilihat pada lampiran 2.

## 5.2 Hasil Perhitungan Kuat Tarik Las

Pengujian kuat tarik las ini juga dilaksanakan dengan menggunakan alat bernama *Universal Testing Machine (UTM)* merk Shimadzu type UMH 30 di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari pengujian ini didapatkan hasil sebagai berikut

**Tabel 5.2** Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

| P Maksimum (N) | Fu (Mpa) |
|----------------|----------|
| 21000          | 614      |

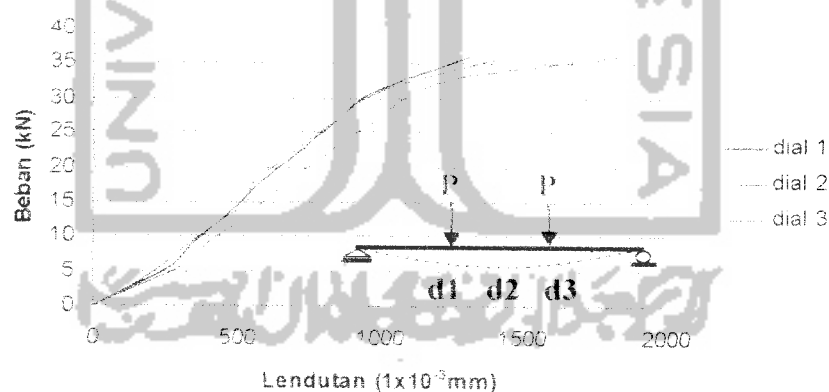
Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik las sebesar 614 Mpa. Dapat diambil kesimpulan bahwa nilai kuat tarik las sebesar 614 Mpa memenuhi persyaratan las 70 Ksi yang setara dengan 490 Mpa. Perhitungan kuat tarik las dapat dilihat pada lampiran 2.

## 5.1 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang I dan Dobel Delta.

Pelaksanaan penelitian telah dilaksanakan pada tanggal 7 dan 8 Juni 2006 di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini terdiri atas pengujian kekuatan gelagar pelat penampang I dan penampang dobel delta dengan menggunakan Hidrolek Jack sebagai pemberi beban berkapasitas 300 KN. Segala persiapan pengujian termasuk alat-alat yang membantu, antara lain kunci-kunci mur baut, tang jepit, palu, alat Dial yang berguna untuk mengetahui besarnya nilai lendutan yang terjadi akibat pembebanan, pengaku-pengaku (bracing) yang dipasang disamping kiri maupun kanan benda uji dengan jarak sepertiga bentang (1550 mm). Hal ini dimaksudkan agar benda uji tidak mengalami tekuk puntir lateral. Hasil pengujian dituliskan dalam lampiran 2 laporan ini.

### 5.1.1 Hubungan Beban – Lendutan Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Beban yang diberikan secara kontinu pada setiap 3 kN, membuat gelagar tersebut mengalami lendutan. Apabila beban yang diberikan telah mencapai maksimum, maka pembebanan dihentikan. Pembebanan telah mencapai maksimum ditandai dengan tidak bertambahnya nilai beban yang tertera pada Hidrolik Jack meskipun pemompaan terus dilanjutkan. Jika setelah mencapai maksimum dan pemompaan diteruskan, maka akan terjadi nilai penurunan beban. Angka penurunan beban juga dapat dijadikan bukti kekuatan gelagar pasca tekuk. Nilai lendutan dapat dibaca pada dial yang telah terpasang pada ketiga tempat, yaitu ujung-ujung 1/3 bentang (dial 1 dan dial 3) serta 1/2 bentang gelagar (dial 2). Dimana nilai pada dial 2 harus lebih besar dari pada nilai di dial 3, sebab momen yang terjadi di dial 2 lebih besar. Begitu pula nilai lendutan dial 1 dan dial 3 juga harus sama untuk menunjukkan ketepatan jarak menaruh beban ke gelagar. Gelagar Pelat Penampang I didapatkan lendutan maksimum sebesar  $1820 \times 0,01 = 18,2 \text{ mm}$ .

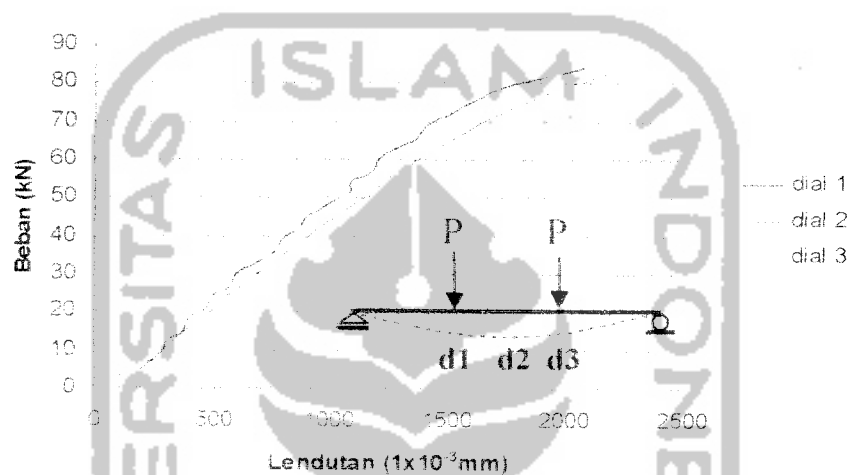


**Gambar 5.1** Hubungan beban dan lendutan penampang I

Dari Grafik 5.1 didapatkan bahwa nilai dial tengah atau dial 2 ( $1820 \times 0,01 = 18,2 \text{ mm}$ ) lebih besar dari pada nilai dial 1 ( $1305 \times 0,01 = 13,05 \text{ mm}$ ) dan dial 3

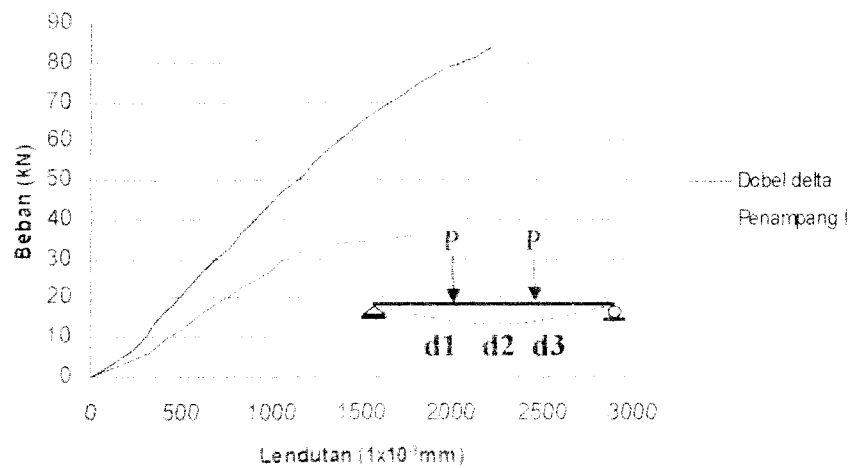
( $1445 \times 0,01 = 14,45 \text{ mm}$ ). Hal ini menunjukkan bahwa lendutan terbesar terletak pada 1/2 bentang. Namun nilai dial 1 dan dial 3 tidak memiliki nilai yang sama, hal ini disebabkan karena penempatan alat dial yang agak bergeser dari 1/3 bentang gelagar. Data hasil pengujian beban-lendutan pelat I dapat dilihat pada Lampiran 6 laporan ini.

Grafik hubungan beban – lendutan pada pengujian gelagar pelat penampang dobel delta dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut :



**Gambar 5.2** Hubungan beban dan lendutan penampang Dobel Delta

Dari Grafik 5.2 didapatkan bahwa nilai dial tengah atau dial 2 ( $2219 \times 0,01 = 22,19 \text{ mm}$ ) lebih besar dari pada dial 1 ( $2085 \times 0,01 = 20,85 \text{ mm}$ ) dan dial 3 ( $2018 \times 0,01 = 20,18 \text{ mm}$ ). Hal ini menunjukkan bahwa lendutan terbesar terletak pada 1/2 bentang. Namun nilai dial 1 dan dial 3 tidak memiliki nilai yang sama, hal ini disebabkan karena penempatan alat dial yang agak bergeser dari 1/3 bentang gelagar. Gelagar pelat penampang dobel delta ini didapat lendutan maksimum sebesar  $2219 \times 0,01 = 22,19 \text{ mm}$ .



**Gambar 5.3** Grafik Perbandingan Lendutan Gelagar I dan Gelagar Dobel Delta

Grafik 5.3 menunjukkan bahwa apabila kedua gelagar tersebut diberi beban yang sama, maka gelagar pelat dobel delta memiliki nilai lendutan yang lebih kecil dibandingkan gelagar I. Misalkan kedua gelagar diberi beban 36 kN, maka gelagar I mendapatkan lendutan sebesar 18,20 mm sedangkan gelagar dobel delta didapatkan lendutan sebesar 8,14 mm. Sehingga dengan adanya penambahan pelat penopang pada gelagar I dapat meningkatkan kekuatan gelagar, yaitu sebesar 2,2 kali.

### 5.1.2 Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar I dan Dobel Delta.

Dari hasil pengujian gelagar pelat, diperoleh  $P_{maks}$  pada masing-masing penampang yaitu untuk gelagar pelat penampang I = 36 kN, sedangkan untuk gelagar pelat dobel delta = 84 kN. Diketahui bahwa 1 kN=100Kg dan beban tersebut dapat kita peroleh momen maksimum dengan persamaan 5.1 berikut.

$$M_{cr} = (P.L)/6 \quad (5.1)$$

Maka nilai  $M_{cr}$  sebagai berikut :

**Tabel 5.3** Nilai  $M_{cr}$  gelagar I dan Dobel Delta hasil pengujian

| Profil                            | I         | Dobel Delta |
|-----------------------------------|-----------|-------------|
| <b><math>M_{cr}</math> (N.mm)</b> | 279000000 | 65100000    |

Untuk mendapatkan nilai  $S_x$ , maka dibutuhkan data  $I_x$  dan  $y$  sebagai berikut:

**Tabel 5.4** Nilai  $y$  dan  $I_x$  gelagar I dan Dobel Delta

| Profil                                   | I           | Dobel Delta |
|--|-------------|-------------|
| <b><math>y</math> (mm)</b>               | 203         | 203         |
| <b><math>I_x</math> (mm<sup>4</sup>)</b> | 30156106,67 | 40566773,33 |

Maka nilai  $S_x$  dapat dihitung dengan persamaan 5.2 berikut:

$$S_x (\text{mm}^3) = \frac{I_x (\text{mm}^4)}{y (\text{mm})} \quad (5.2)$$

Nilai  $S_x$  untuk penampang I adalah 148552,25 mm<sup>3</sup> dan untuk penampang dobel delta adalah 199836,32 mm<sup>3</sup>

Setelah itu, dapat diperoleh pula nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta dengan persamaan 5.3 berikut:

$$F_{cr} (\text{N/mm}^2 \text{ atau Mpa}) = \frac{M_{cr} (\text{Nmm})}{S (\text{mm}^3)} \quad (5.3)$$

Didapat nilai  $F_{cr}$  sebagai berikut.

**Tabel 5.5** Nilai  $F_{cr}$  gelagar I dan Dobel Delta hasil pengujian

| Benda Uji                                  | I     | Dobel Delta |
|--|-------|-------------|
| <b><math>F_{cr}</math> Pengujian (Mpa)</b> | 187,8 | 230         |

Nilai  $F_{cr}$  gelagar dobel delta lebih besar dibanding dengan nilai  $F_{cr}$  gelagar I. hal ini disebabkan karena gelagar pelat dobel delta memiliki nilai koefisien tekuk pelat ( $k$ ) yang lebih besar dan rasio tinggi terhadap tebal pelat sayap yang lebih kecil dibanding gelagar pelat I. Pada gelagar dobel delta ini memiliki nilai  $F_{cr} = 325,76$  Mpa ( $F_{cr} \geq F_y$ ), dapat disimpulkan bahwa gelagar dobel delta telah mencapai *strain hardening*, artinya gelagar tersebut memungkinkan menahan tegangan tambahan ( $>230$  Mpa) namun semakin besarnya lendutan dan regangan sehingga gelagar tersebut sudah tidak stabil. Maka dalam perhitungan berikutnya, digunakan nilai  $F_{cr} = F_y$  yaitu 230 Mpa.

### 5.1.3 Nilai Koefisien Tekuk.

Dari hasil pengujian yang diperoleh, didapat beban maksimum ( $P$ ) dan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ), sehingga dapat diperoleh pula nilai koefisien tekuk ( $k$ ) hasil penelitian dengan persamaan 5.4 dan persamaan 5.5 sebagai berikut

**k badan**

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \left( \frac{h}{m} \right)}{\pi^2 \cdot I} \quad (5.4)$$

**k sayap**

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \left( \frac{b}{2f} \right)}{\pi^2 \cdot I} \quad (5.5)$$

Secara teoritis nilai koefisien tekuk ( $k$ ) untuk gelagar pelat I diasumsikan sebagai tumpuan sederhana adalah 0,425 pada sayap, sedangkan pada pelat badan adalah

23.9. Demikian pula nilai  $k$  gelagar pelat dobel delta adalah 4 pada sayap dan 23.9 pada badan. Dengan meningkatkan nilai koefisien tekuk pelat, maka dapat dibuktikan pula bahwa gelagar pelat dobel delta lebih kaku dan lebih kuat. Untuk mengetahui hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan, dapat dilihat pada tabel 5.6 sebagai berikut:

**Tabel 5.6** Nilai koefisien tekuk ( $k$ ) hasil penelitian gelagar pelat I dan dobel delta

| Profil | I     | Dobel Delta |
|--------|-------|-------------|
| Sayap  | 0,175 | 0,21        |
| Badan  | 39,54 | 31,02       |

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Pelat I dan Dobel Delta setelah pengujian.

Setelah dilakukan pengujian gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta terdapat kerusakan-kerusakan yang terjadi akibat pembebanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelat sayap pada gelagar pelat penampang I mengalami tekuk lokal dan sedikit mengalami tekuk lateral. Sedangkan pada pelat Dobel Delta pelat sayap tidak mengalami tekuk lokal dan sedikit mengalami tekuk lateral.

Dari kerusakan-kerusakan yang terjadi dapat diambil kesimpulan bahwa dengan memodifikasi pelat I menjadi pelat Dobel Delta akan menghindari gelagar pelat mengalami tekuk lokal (*buckling*) pada pelat sayap, nilai  $k$  sayap pada gelagar I yaitu 0,425 dan untuk dobel delta sayapnya yang telah diperkaku yaitu dengan nilai  $k=4$ . Sehingga dengan pelat sayap yang diperkaku, terbukti bahwa dari hasil pengujian pelat sayap pada gelagar dobel delta sama sekali tidak terdapat tekuk lokal sayap.

Kerusakan yang terjadi selain tekuk pada sayap gelagar I, ada pula tekuk puntir lateral pada pelat badan gelagar I. Pada gelagar pelat, tekuk puntir lateral terjadi karena



tidak seimbangnya sokongan samping. Apabila dihindarkan tidak terjadi tekuk puntir lateral pada gelagar, maka dipasang sokongan samping (pengekangan momen dan geser) yang menerus sepanjang pertemuan pelat sayap dan pelat badan. Pada gelagar pelat dobel delta yang diujikan juga mengalami tekuk puntir lateral namun lebih kecil. Tekuk puntir lateral yang terjadi semakin kecil setelah pelat sayap pada gelagar I diperkaku, karena akibat penambahan pengaku tersebut,  $h$  (tinggi gelagar) yang dimiliki dobel delta lebih pendek dibanding gelagar pelat I sehingga pelat badan gelagar dobel delta lebih kaku. Agar lebih jelas untuk mengetahui tingkat kerusakan pelat hasil uji dapat dilihat pada lampiran 12 tugas akhir ini.

### 5.2.2 Hubungan Beban – Lendutan Pengujian.

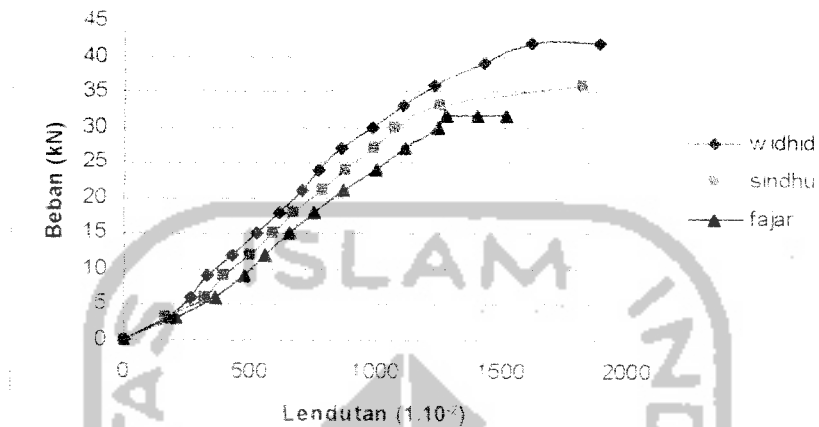
Dari pengujian yang telah dilakukan, bahan uji mengalami tekuk lokal pada sayap gelagar, baik penampang I maupun Dobel Delta. Hal ini dapat dilihat pada lampiran laporan ini. Dalam pengujian ini, kami melibatkan 3 mahasiswa dengan nilai  $h/b$  yang bervariasi. Yaitu diantaranya Widhid dengan  $h/b=4$ , Sindhu dengan  $h/b=5$ , dan Fajar dengan  $h/b=5.7$ . Nilai beban dan lendutan dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan 5.8 dibawah ini, yaitu:

Tabel 5.7 Nilai Beban - Lendutan Gelagar I

| Nilai I          | $h/b=4$ | $h/b=5$ | $h/b=5.7$ |
|------------------|---------|---------|-----------|
| Beban (kN)       | 42      | 36      | 31.5      |
| Lendutan (mm)    | 18.82   | 18.2    | 15.16     |
| Kekakuan (kN/mm) | 2.23    | 1.97    | 2.07      |

Dari Tabel 5.7 dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap lebar suatu gelagar I maka semakin kecil beban yang dapat didukung dan semakin kecil pula lendutan yang terjadi. Nilai kekakuan pun dapat dicari dengan membagi faktor beban

terhadap lendutan yang terjadi, dapat disimpulkan pula bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap lebar suatu gelagar maka semakin kecil nilai kekakuannya. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6 laporan ini. Adapun grafik beban-lendutan yang terjadi pada gelagar I delta setiap kenaikan beban 3kN yaitu:



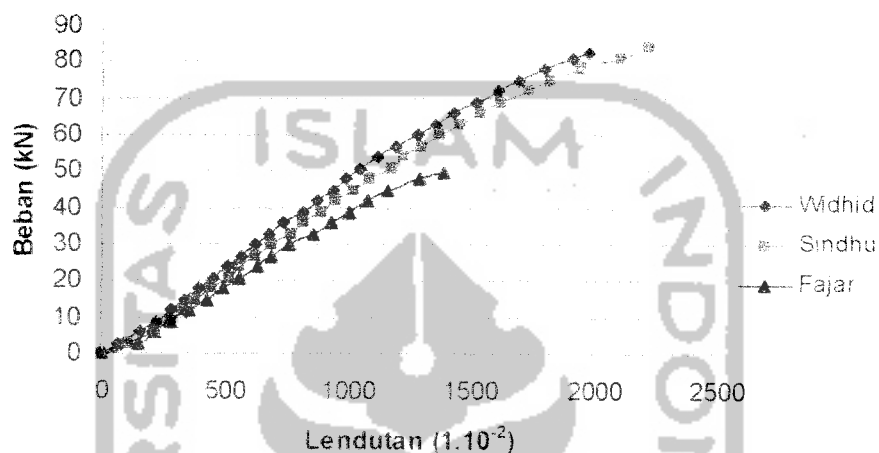
Gambar 5.3 Nilai Beban dan Lendutan Gelagar I

Setelah dilakukan pengujian, didapat nilai kenaikan beban setiap 3kN hingga beban maksimum. Semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula lendutan yang terjadi. Hal ini terjadi pada pelaksanaan ketiga macam gelagar I yaitu gelagar  $h/b=4$  saudara Widhid, gelagar  $h/b=5$  saudara Sindhu dan gelagar  $h/b=5,7$  saudara Fajar.

Tabel 5.8 Nilai Beban dan Lendutan Gelagar Dobel Delta

| Nilai DD        | $h/b=4$ | $h/b=5$ | $h/b=5,7$ |
|-----------------|---------|---------|-----------|
| <b>Beban</b>    | 82,5    | 84      | 49,5      |
| <b>Lendutan</b> | 19,7    | 22,19   | 13,86     |
| <b>Kekakuan</b> | 4,18    | 3,78    | 3,57      |

Dari Tabel 5.8 menunjukkan bahwa karakteristik nilai beban maksimum dan lendutan yang terjadi pada gelagar dobel delta sama dengan karakteristik nilai gelagar I yaitu semakin besar rasio tinggi terhadap lebar gelagar maka semakin kecil beban maksimum yang dapat dipikul dan semakin kecil pula lendutan yang terjadi. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 6 laporan ini. Adapun grafik beban-lendutan yang terjadi pada gelagar dobel delta setiap kenaikan beban 3 kN atau 100Psi yaitu:



Gambar 5.4 Nilai Beban dan Lendutan Gelagar Dobel Delta

Dalam pengujian ini, benda uji dengan rasio  $h/b=5$  pada gelagar I mampu menahan beban maksimum hingga 36 kN dengan lendutan yang terjadi akibat beban sebesar 18.20 mm. Sedangkan gelagar dobel deltanya mampu menahan beban maksimum hingga 84 kN dengan lendutan yang terjadi sebesar 22.19 mm. Sehingga dapat ditarik pernyataan bahwa dengan memodifikasi Gelagar I menjadi Gelagar Dobel Delta, dapat meningkatkan kekuatan sebesar 2.3 kali. Dari peningkatan yang sebesar itu, modifikasi yang dilakukan hanya meningkatkan inersia sumbu kuat  $I_x = 1.34$  kali dan sumbu lemah  $I_y = 1.66$  kali. Inersia meningkat dikarenakan adanya penambahan bahan yang terjadi.

dengan penambahan bahan yang cukup ekonomis dapat meningkatkan kekuatan sebesar 2,3 kali lipat.

Dari penelitian yang dilakukan bersama saudara Fajar dan saudari Widhid dapat disimpulkan bahwa semakin lebar pelat sayap dengan tebal dan tinggi yang sama akan meningkatkan kekakuan pada pelat dan akan semakin tinggi kemampuan pelat dalam menerima beban yang terjadi. Hal ini patut dipertimbangkan dalam perencanaan gelagar pelat.

### 5.2.3 Rasio Nilai Momen Batas ( $M_{cr}$ ) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Berdasarkan hasil pengujian, didapat nilai momen batas maksimum yang terjadi pada ketiga sampel sebagai berikut.

Tabel 5.9 Nilai Rasio  $M_{cr}$  Dobel Delta Terhadap I Hasil Pengujian

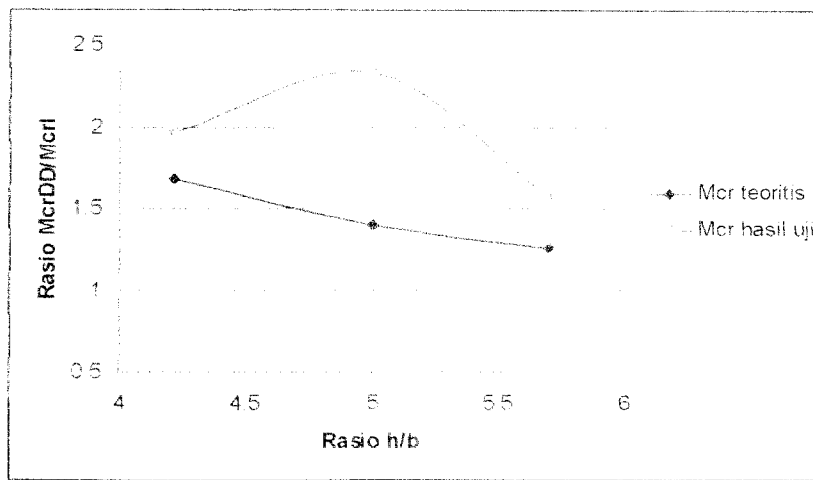
| Variasi                  | $h/b=4$  | $h/b=5$  | $h/b=5,7$ |
|--------------------------|----------|----------|-----------|
| $M_{cr I}$               | 32550000 | 27900000 | 24412500  |
| $M_{cr DD}$              | 63937500 | 65100000 | 38362500  |
| Rasio $M_{crDD}/M_{crI}$ | 1,96     | 2,33     | 1,57      |

Tabel 5.10 Nilai Rasio  $M_{cr}$  Dobel Delta Terhadap I Teoritis

| Variasi                  | $h/b=4$     | $h/b=5$     | $h/b=5,7$   |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| $M_{cr I}$               | 38221246,67 | 40369600    | 31547566,67 |
| $M_{cr DD}$              | 64436342,31 | 56677536,47 | 39705191,88 |
| Rasio $M_{crDD}/M_{crI}$ | 1,68        | 1,40        | 1,26        |

Dari hasil teori dan pengujian didapatkan rasio nilai  $M_{cr}$  gelagar I dan nilai  $M_{cr}$  gelagar dobel delta seperti pada Tabel 5.9 dan 5.10. Secara teoritis, semakin besar rasio tinggi terhadap lebar gelagar maka semakin kecil rasio  $M_{cr}$  dobel delta terhadap  $M_{cr}$  I nya. Sedangkan dari hasil pengujiannya yang seharusnya juga memiliki rasio  $M_{cr}$  dobel delta terhadap  $M_{cr}$  I semakin kecil akibat makin besarnya rasio tinggi terhadap lebar gelagarnya, namun pada kenyataannya tidak terlalu sesuai. Nilai rasio  $M_{crDD}$  terhadap  $M_{cr}$  I pada gelagar  $h/b=5$  lebih kecil dibanding gelagar  $h/b=4$ . Hal ini dikarenakan gelagar pelat I yang dipasang saat dilaksanakan pengujian, memiliki penopang samping (*bracing*) yang terlalu menekan kuat gelagar, sehingga keadaan gelagar I ini lebih kaku dibanding gelagar I yang dipasang dengan  $h/b=4$  maupun  $h/b=5,7$ . kekuatan *bracing* sangat menentukan kekuatan gelagar itu sendiri, semakin kuat dan rapat *bracing* yang dipasang pada samping gelagar maka kekuatan gelagar tersebut semakin besar. Terlebih *bracing* yang dipasang pada setiap pertemuan pelat badan dan pelat sayap, gelagar tersebut tidak akan mengalami tekuk puntir lateral sebab gelagar tersebut memiliki keseimbangan tegangan yang terjadi pada kedua sumbunya. Artinya, inersia sumbu lemah ( $I_y$ ) memiliki nilai yang lebih kecil dibanding nilai inersia sumbu kuatnya ( $I_x$ ) sehingga tidak seharusnya gelagar tersebut mengalami tekuk kearah sumbu kuat ( $I_x$ ) jika pemasangan *bracing* yang tepat. Data selengkapnya tentang cara mendapatkan  $M_{cr}$  hasil uji dapat dilihat pada Lampiran 7 laporan ini.

Perbedaan yang signifikan tersebut antara rasio  $M_{cr}$  dobel delta hasil uji terhadap rasio  $M_{cr}$  teoritis dapat dilihat dengan Grafik 5.5 dibawah ini:



**Gambar 5.5** Hubungan Mer hasil uji dan teoritis

Dari Grafik 5.5 dapat diambil kesimpulan bahwa secara teoritis dengan memodifikasi gelagar I menjadi Dobel Delta dapat meningkatkan Momen Kritis (Mer) sebesar 1.40 kali, sedangkan pembuktian secara nyata didapatkan dari hasil pengujian Mer meningkat sebesar 2.33 kali. Dari grafik diatas menunjukkan rasio Mer untuk  $h/b=5$  lebih besar dibandingkan rasio Mer untuk  $h/b=4$ . Hal itu disebabkan karena adanya sedikit kesalahan dalam pemasangan bracing yang terlalu rapat disalah satu sisi benda uji, dengan kerapatannya tersebut membuat gelagar lebih kuat dan lebih kaku.

Dari pengujian yang telah dilakukan bersama Saudara Fajar dan Saudari Widhid jelas bahwa semakin besar lebar sayap akan meningkatkan Momen Kritis pelat (Mer).

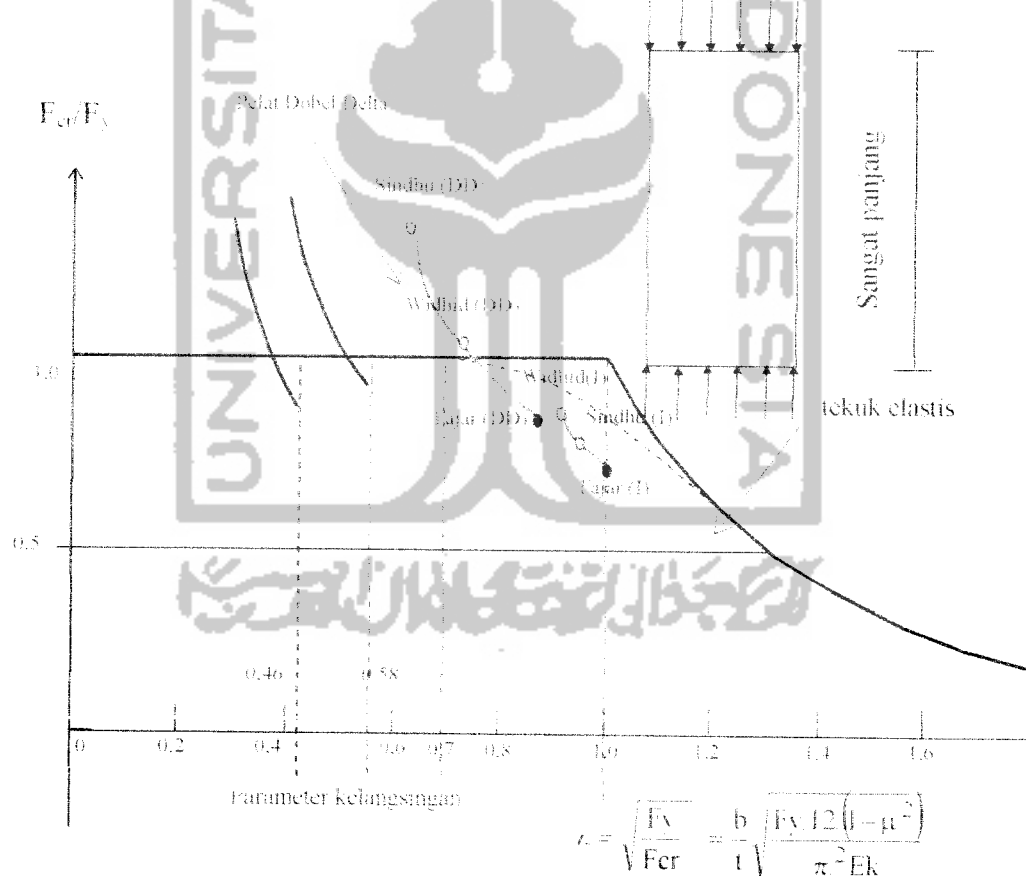
#### 5.2.4 Rasio Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Dari hasil pengujian, didapat nilai tegangan kritis ketiga sampel pada Tabel 5.9 yaitu:

**Tabel 5.11** Nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) ketiga sampel

| Variasi        | $h/b=4,25$ | $h/b=5$ | $h/b=5,7$ |
|----------------|------------|---------|-----------|
| I              | 196,85     | 187,81  | 178,78    |
| Dobel Delta    | 286,21     | 230     | 210,05    |
| Rasio $F_{cr}$ | 1,17       | 1,22    | 1,17      |

Dari pengujian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa memodifikasi pelat I menjadi Pelat Dobel Delta akan meningkatkan tegangan kritis pelat sebesar 1.22 kali.  $F_{cr}$  dobel delta hasil pengujian memiliki nilai lebih besar dari  $F_y$  ( $F_{cr} > F_y$ ) yaitu 325,76 MPa, maka gelagar dobel delta telah mencapai *strain hardening*. Artinya gelagar tersebut memungkinkan menahan tegangan tambahan ( $\sigma > 230$  Mpa) namun semakin besarnya lendutan dan regangan yang terjadi sehingga gelagar tersebut sudah tidak stabil. Maka dalam perhitungan berikutnya, digunakan nilai  $F_{cr} = F_y$  yaitu 230 Mpa. Berdasarkan parameter yang telah ditetapkan oleh *Ostapenko (1974)* jelas bahwa penelitian ini telah memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah ditetapkan hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



**Gambar 5.6** Kurva Parameter Kelangsingan Pelat Panjang

Nilai dari Tabel 5.11. dapat disimpulkan bahwa dengan ditambakkannya pengaku pada kedua sayap penampang I, dapat meningkatkan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ).  $F_{cr}$  pada penampang I memiliki nilai yang lebih kecil dari pada penampang dobel delta, hal itu disebabkan karena Koefisien tekuk yang dimiliki penampang I lebih kecil dibandingkan dengan penampang dobel delta baik sayap maupun badan. Membuat pelat sayap menjadi lebih kaku, akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dari gelagar I dan menghambat terjadinya tekuk pada sayap. Selain itu, dengan adanya pengaku pada gelagar dobel delta, menjadikan tinggi gelagar juga semakin pendek, sehingga tekuk puntir lateral kemungkinannya kecil terjadi. Data selengkapnya untuk mendapatkan nilai  $F_{cr}$  hasil uji dapat dilihat pada Lampiran 7 laporan ini.

#### 5.2.5 Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Dari hasil pengujian, didapat nilai koefisien tekuk ( $k$ ) ketiga sampel, yaitu:

Untuk  $k$  sayap (Tabel 5.12):

| Variasi                           | $h/b=4$ | $h/b=5$ | $h/b=6$ |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|
| <b><math>k</math> I</b>           | 0,25    | 0,175   | 0,13    |
| <b><math>k</math> Dobel Delta</b> | 0,29    | 0,21    | 0,15    |



Dari hasil pengujian, nilai koefisien tekuk hasil modifikasi gelagar I menjadi gelagar Dobel Delta meningkat sebesar 1,2 kali. Nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada sayap dapat dilakukan pengecekan pada Grafik 5.7 dibawah ini:



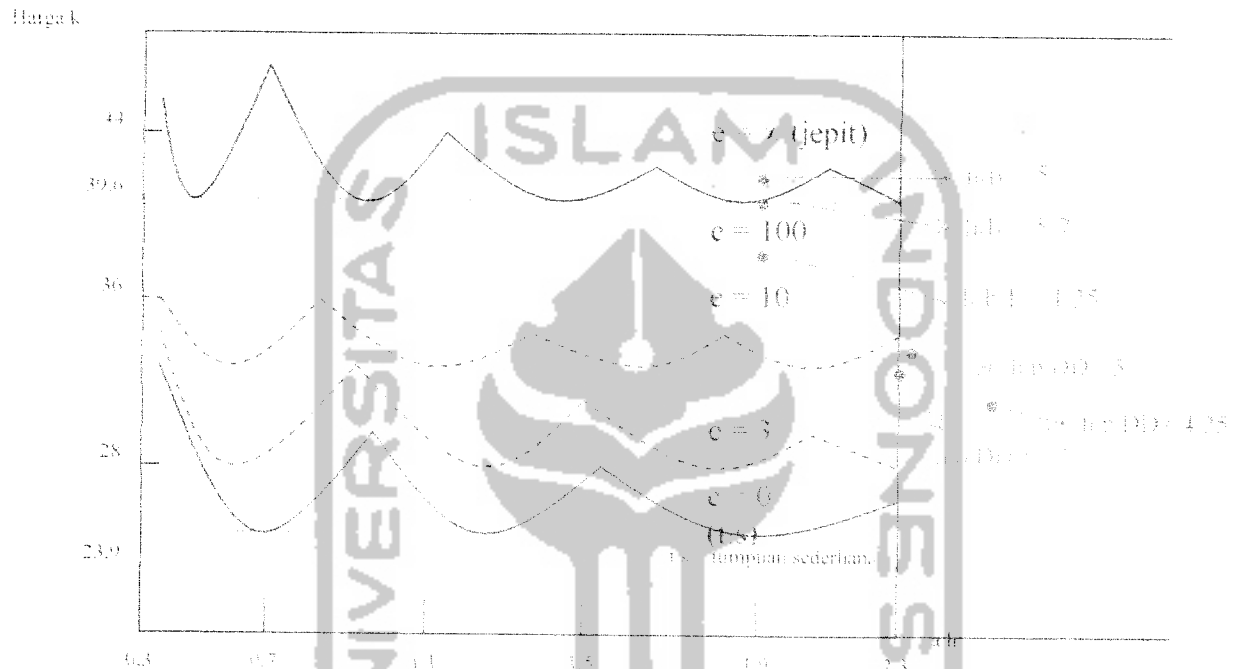
**Gambar 5.7** Hubungan rasio  $a/b$  terhadap nilai koefisien tekuk pelat

Dari penelitian yang telah dilakukan bersama Saudara Fajar dan Saudari Widhid dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar lebar pelat sayap akan memberikan nilai koefisien tekuk semakin besar pula sehingga akan mempengaruhi besarnya nilai tegangan kritis pada pelat sayap.

**Untuk k badan (Tabel 5.13):**

| Variasi              | $h/b=4.25$ | $h/b=5$ | $h/b=5.7$ |
|----------------------|------------|---------|-----------|
| <b>k I</b>           | 41,45      | 39,54   | 37,64     |
| <b>k Dobel Delta</b> | 28,36      | 31,02   | 30,11     |

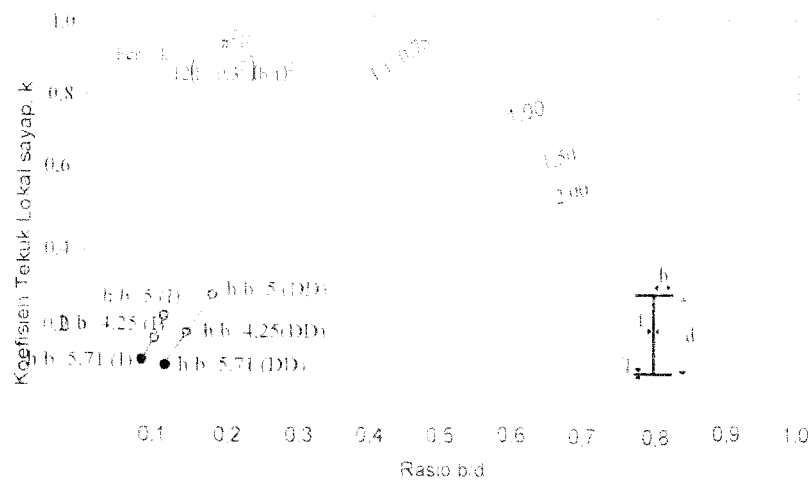
Dari hasil pengujian didapatkan nilai koefisien tekuk pada badan pelat I sebesar 39,54 dan pada pelat dobel delta sebesar 31,02. Dapat disimpulkan bahwa modifikasi gelagar I menjadi Dobel Delta dapat meningkatkan nilai koefisien tekuk sebesar 0,78 kali. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat dilakukan pengecekan terhadap koefisien pelat badan yaitu :



Gambar 5.8 Grafik Koefisien tekuk pelat badan

Berdasarkan Gambar 5.8 dapat diambil suatu kesimpulan bahwa nilai koefisien tekuk pada pelat badan memenuhi persyaratan parameter nilai koefisien tekuk.

Untuk mengetahui kebenaran penelitian yang telah dilakukan dapat dibuktikan pada penelitian yang telah dilakukan oleh *N.S Tharair* dan *M.A Bradford* yang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut yaitu .



**Gambar 5.9** Koefisien tekuk lokal pada batang tekan

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa kebenaran penelitian yang telah dilakukan. Hal ini telah terbukti bahwa penelitian yang telah dilakukan memiliki nilai yang hampir sama dengan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Agar lebih jelasnya cara mendapatkan nilai  $k$  hasil uji, dapat dilihat pada Lampiran 7 laporan ini.

### 5.2.6 Nilai Faktor Kelengkungan Pelat I dan Dobel Delta

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan beban maksimum yang masih dapat dipikul oleh gelagar I maupun gelagar Dobel Delta. Dari data-data ini akan didapatkan nilai kelengkungannya.

Dengan menggunakan persamaan 5.10 akan didapatkan nilai kelengkungan pelat sebagai berikut :

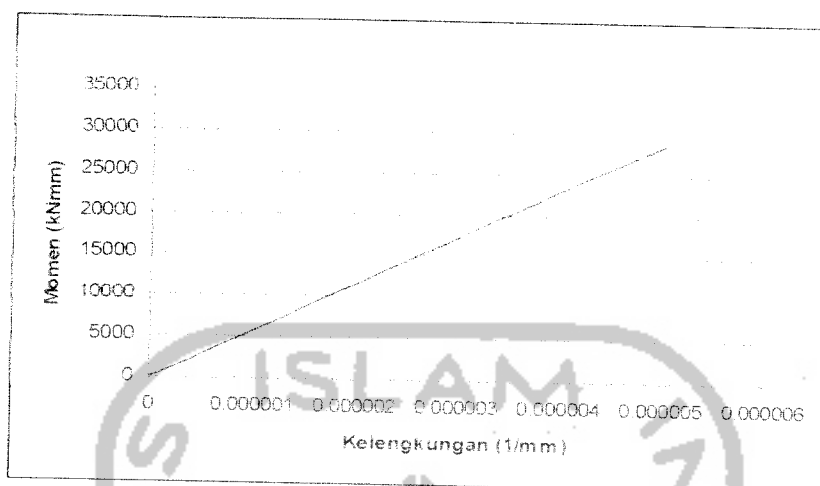
$$\phi = \frac{\varepsilon}{h \cdot 2} \quad (5.6)$$

Dengan persamaan diatas didapatkan nilai kelengkungan hasil uji pelat I sebagai berikut :

**Tabel 5.14** Nilai Kelengkungan Gelagar Pelat I

| Beban (kN) | Momen (kNm) | Fcr (MPa) | Regangan | Kelengkungan (1/mm) |
|------------|-------------|-----------|----------|---------------------|
| 3          | 2325        | 17,02656  | 8,11E-05 | 4,05394E-07         |
| 6          | 4650        | 34,05312  | 0,000162 | 8,10789E-07         |
| 9          | 6975        | 51,07968  | 0,000243 | 1,21618E-06         |
| 12         | 9300        | 68,10624  | 0,000324 | 1,62158E-06         |
| 15         | 11625       | 85,1328   | 0,000405 | 2,02697E-06         |
| 18         | 13950       | 102,1594  | 0,000486 | 2,43237E-06         |
| 21         | 16275       | 119,1859  | 0,000568 | 2,83776E-06         |
| 24         | 18600       | 136,2125  | 0,000649 | 3,24315E-06         |
| 27         | 20925       | 153,239   | 0,00073  | 3,64855E-06         |
| 30         | 23250       | 170,2656  | 0,000811 | 4,05394E-06         |
| 33         | 25575       | 187,2922  | 0,000892 | 4,45934E-06         |
| 36         | 27900       | 204,3187  | 0,000973 | 4,86473E-06         |

Dari hasil perhitungan dapat ditunjukkan dengan grafik nilai kelengkungan yang terjadi pada pelat penampang I sebagai berikut yaitu :



Gambar 5.10 Grafik kelengkungan pelat I

Dari pengujian gelagar pelat dobel delta juga didapatkan nilai kelengkungan sebagai berikut yaitu . (Tabel 5.13)

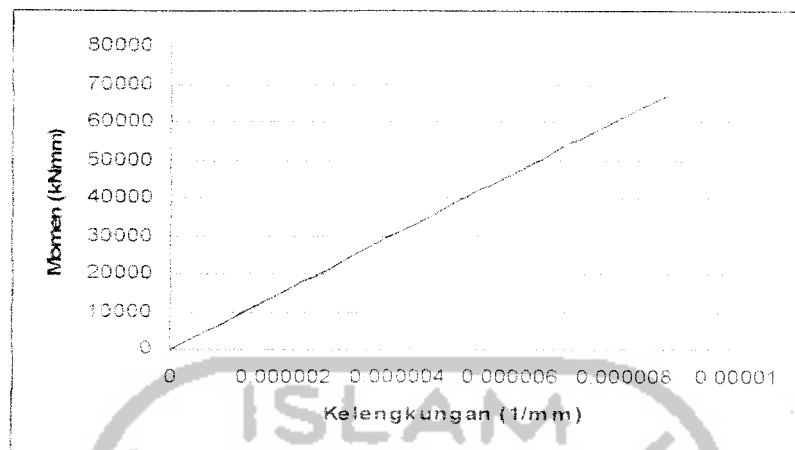
Tabel 5.13 Nilai kelengkungan Dobel Delta

| Beban (kN) | Momen (kNm) | Fcr (MPa) | Regangan | Kelengkungan (1/mm) |
|------------|-------------|-----------|----------|---------------------|
| 3          | 2325        | 12,73053  | 6,06E-05 | 3,03108E-07         |
| 6          | 4650        | 25,46106  | 0,000121 | 6,06216E-07         |
| 9          | 6975        | 38,19159  | 0,000182 | 9,09324E-07         |
| 12         | 9300        | 50,92212  | 0,000242 | 1,21243E-06         |
| 15         | 11625       | 63,65265  | 0,000303 | 1,51554E-06         |
| 18         | 13950       | 76,38318  | 0,000364 | 1,81865E-06         |
| 21         | 16275       | 89,11371  | 0,000424 | 2,12176E-06         |
| 24         | 18600       | 101,8442  | 0,000485 | 2,42486E-06         |

Lanjutan Tabel 5.14 Nilai Kelengkungan Dobel Delta

| Beban<br>(kN) | Momen<br>(kNmm) | Fcr<br>(MPa) | Regangan | Kelengkungan<br>(1/mm) |
|---------------|-----------------|--------------|----------|------------------------|
| 27            | 20925           | 114.5748     | 0.000546 | 2.72797E-06            |
| 30            | 23250           | 127.3053     | 0.000606 | 3.03108E-06            |
| 33            | 25575           | 140.0358     | 0.000667 | 3.33419E-06            |
| 36            | 27900           | 152.7664     | 0.000727 | 3.63729E-06            |
| 39            | 30225           | 165.4969     | 0.000788 | 3.9404E-06             |
| 42            | 32550           | 178.2274     | 0.000849 | 4.24351E-06            |
| 45            | 34875           | 190.958      | 0.000909 | 4.54662E-06            |
| 48            | 37200           | 203.6885     | 0.00097  | 4.84973E-06            |
| 51            | 39525           | 216.419      | 0.001031 | 5.15283E-06            |
| 54            | 41850           | 229.1496     | 0.001091 | 5.45594E-06            |
| 57            | 44175           | 241.8801     | 0.001152 | 5.75905E-06            |
| 60            | 46500           | 254.6106     | 0.001212 | 6.06216E-06            |
| 63            | 48825           | 267.3411     | 0.001273 | 6.36527E-06            |
| 66            | 51150           | 280.0717     | 0.001334 | 6.66837E-06            |
| 69            | 53475           | 292.8022     | 0.001394 | 6.97148E-06            |
| 72            | 55800           | 305.5327     | 0.001455 | 7.27459E-06            |
| 75            | 58125           | 318.2633     | 0.001516 | 7.5777E-06             |
| 78            | 60450           | 330.9938     | 0.001576 | 7.8808E-06             |
| 81            | 62775           | 343.7243     | 0.001637 | 8.18391E-06            |
| 84            | 65100           | 356.4549     | 0.001697 | 8.48702E-06            |

Adapun Grafik hubungan momen-kelengkungan pada gelagar pelat penampang dobel delta adalah sebagai berikut yaitu :



Gambar 5.11 Grafik kelengkungan pelat Dobel Delta

### 5.2.7 Hubungan Rasio $M_n/M_y$ terhadap $h/t_w$ Gelagar I dan Dobel Delta

Dari hasil pengujian, diperoleh rasio  $M_n/M_y$  terhadap  $h/t_w$  sebagai berikut:

Tabel 5.15 Hubungan  $M_n/M_y$  terhadap  $h/t_w$  gelagar I dan Dobel Delta

| Benda Uji | $M_n/M_y$ |             | Rasio  |
|-----------|-----------|-------------|--|
|           | I         | Dobel Delta | $\frac{M_n}{M_y}^{ddl}$<br>$\frac{M_n}{M_y}^I$ |
| $h/b=4$   | 0,83      | 1           | 1,17   |
| $h/b=5$   | 0,78      | 1           | 1,28   |
| $h/b=6$   | 0,74      | 0,87        | 1,18   |

Persamaan yang digunakan untuk mencari  $M_n/M_y$  sebagai berikut:

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{F_{cruji}}{F_y} \quad (5.7)$$

Nilai  $F_{cr}$  hasil uji gelagar I yaitu  $187.8 \text{ Mpa} < F_y 230 \text{ Mpa}$  maka dapat digunakan  $F_{cr} = 178.78$ . Sedangkan gelagar dobel delta memiliki nilai  $F_{cr} 325.7 \text{ Mpa} > F_y$  maka digunakan  $F_{cr} = 230 \text{ Mpa}$ . Tampak bahwa dari Tabel 5.15 bahwa, memodifikasi gelagar I menjadi gelagar Dobel Delta terjadi peningkatan  $M_n/M_y$  sebesar 1.29 kali. Hal ini terjadi karena nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) gelagar I lebih kecil dibanding gelagar Dobel delta. Selain itu,  $h/t_w$  pada badan gelagar I lebih besar dari pada gelagar Dobel Delta, semakin kecil nilai  $h/t_w$  maka nilai  $M_n/M_y$  meningkat. Atau bisa dikatakan bahwa nilai rasio  $M_n/M_y$  berbanding lurus dengan rasio tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dan berbanding terbalik dengan rasio  $h/t_w$ .

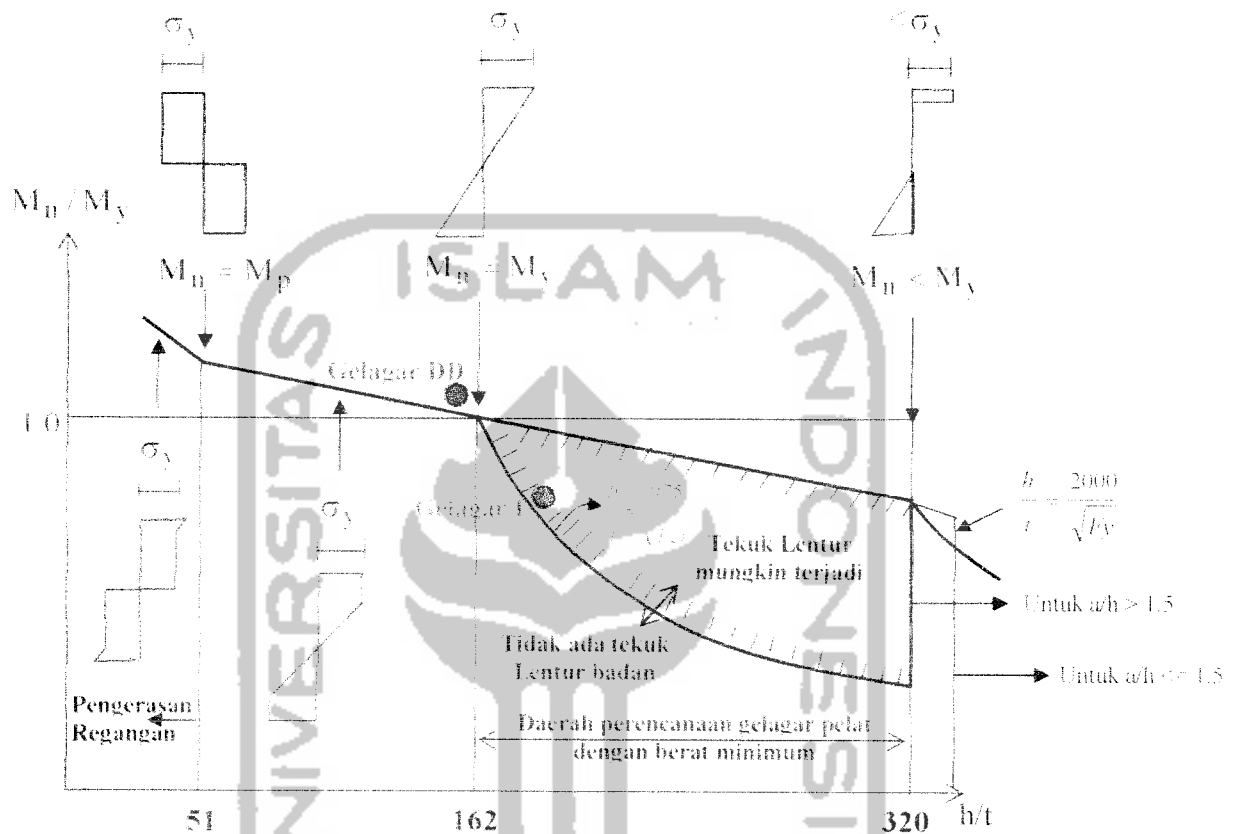
#### **5.2.8 Rasio Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan.**

Setelah didapat nilai momen kritis pada pengujian maka akan didapatkan nilai rasio momen batas terhadap momen lelehnya. Pada perhitungan tercantum pada Tabel 5.15 didapatkan nilai  $M_n/M_y$  pada pelat penampang I adalah sebesar 0.77 dan pada pelat penampang Dobel Delta adalah sebesar 1. Sehingga didapat momen batas terhadap momen leleh adalah sebesar 1.29.

Dari penelitian yang diuji oleh saudara Widhid dengan variasi lebar yang lebih kecil didapatkan bahwa nilai rasio momen batas terhadap momen leleh akan semakin kecil. Sedangkan penelitian yang diuji oleh saudara Fajar dengan variasi lebar yang lebih besar didapatkan bahwa nilai rasio momen batas terhadap momen leleh akan semakin besar.



Untuk mengetahui kebenaran penelitian yang telah dilakukan maka berdasarkan grafik momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan yang ditetapkan oleh peneliti terdahulu mamka dapat dilakukan pengecekan sebagai berikut yaitu :



**Gambar 5.12** Hubungan Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan

Grafik 5.12 menerangkan bahwa desain bahan yang memiliki rasio  $h/t < 50$  akan mengalami momen plastis penuh, atau momen nominal ( $M_n > M_p$ ). Hal ini membuat bahan tidak akan mengalami tekuk pada badan sebab dimensi bahan yang sangat tebal. Sedangkan dimensi bahan yang memiliki rasio  $h/t$  antara  $50 < h/t < 162$  juga tidak akan mengalami tekuk pada badan, sebab pada daerah ini dimensi bahan yang digunakan masih tebal meskipun batas maksimal rasio  $h/t$  bahan memiliki nilai momen

nominal = momen leleh. Dalam perencanaan gelagar pelat, dapat pula ditunjukkan hubungan momen batas terhadap momen leleh dan kelangsingannya, yaitu pada daerah dimensi bahan yang memiliki  $h/t > 162$ .

Dari gambar grafik 5.12 jelas bahwa penelitian yang telah dilakukan masuk dalam persyaratan yang telah ditetapkan. Untuk gelagar I memiliki nilai  $M_n/M_y < 1$ , daerah ini disebut dengan daerah elastis. Sedangkan gelagar dobel delta memiliki nilai  $M_n/M_y > 1$ , disebut daerah plastis atau gelagar telah mengalami plastis (*strain hardening*). Dengan ditambahkannya pengaku pada gelagar pelat I, dapat meningkatkan tegangan kritis hingga mencapai tegangan leleh.

### 5.2.9 Perbandingan Tekuk Lokal Terhadap Nilai Momen Puntir Lateral.

Berdasarkan teori menunjukkan bahwa perencanaan gelagar pelat dengan pelat badan dan pelat sayap yang tipis akan mengalami dua kerusakan yaitu kerusakan tekuk lokal pada pelat sayap dan mengalami tekuk puntir lateral. Dari analisis teoritis didapatkan nilai tekuk lokal pelat I dan Pelat Dobel Delta dengan variasi  $h/b$  atau tinggi terhadap lebar gelagar adalah sebagai berikut :

**Tabel 5.16** Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Lateral Gelagar Pelat I

| Variasi      | Mcr Tekuk Puntir Lateral (Nmm) | Mcr Tekuk Lokal (Nmm) |
|--------------|--------------------------------|-----------------------|
| $h/b = 4,21$ | 51505954                       | 38221246,67           |
| $h/b = 5$    | 31982365                       | 40369600              |
| $h/b = 5,7$  | 21611339,66                    | 31547566,67           |

Dari Tabel (5.15) Diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai  $M_{cr}$  lokal yang lebih kecil dari pada  $M_{cr}$  puntir lateral menyebabkan tekuk yang akan terjadi setelah pengujian adalah tekuk lokal pada sayap. Terbukti bahwa pada penelitian aktual menunjukkan pelat I mengalami tekuk lokal pada pelat sayapnya. Untuk lebih memperkuat hasil penelitian dapat dilihat pada lampiran foto kerusakan pelat hasil uji pada gelagar poelat penampang I.

**Tabel 5.17** Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Lateral Gelagar Pelat Dobel Delta

| Variasi      | $M_{cr}$ Tekuk Puntir Lateral (Nmm) | $M_{cr}$ Tekuk Lokal (Nmm) |
|--------------|-------------------------------------|----------------------------|
| $h/b = 4,21$ | 55166646                            | 50616685,8                 |
| $h/b = 5$    | 36109539                            | 56677536,47                |
| $h/b = 5,7$  | 25335786,82                         | 39765191,88                |

Dari Tabel (5.16) Diatas dapat disimpulkan bahwa pelat Dobel Delta cenderung mengalami tekuk lokal pada pelat sayap hal ini ditunjukan dengan nilai momen berdasarkan tekuk lokal lebih kecil dari momen berdasarkan tekuk puntir lateral. Terbukti bahwa pada penelitian aktual yang menunjukkan pelat Dobel Delta mengalami tekuk lokal pada pelat sayapnya. Untuk lebih memperkuat hasil penelitian dapat dilihat pada lampiran foto kerusakan pelat hasil uji pada gelagar pelat penampang Dobel Delta.

#### 5.2.10 Desain Plastis Gelagar

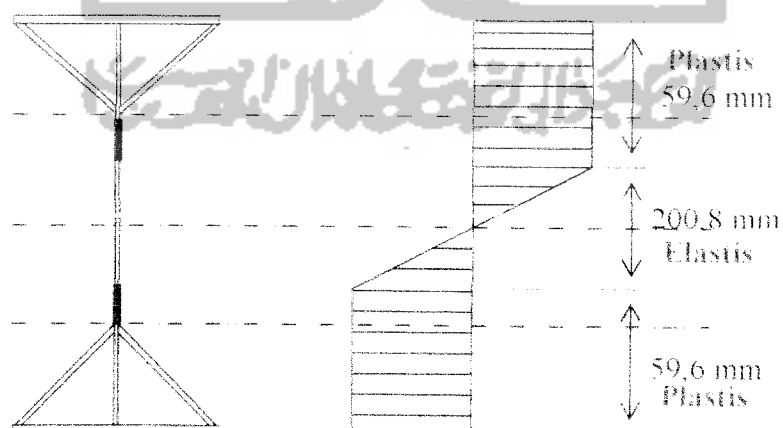
Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai  $F_{cr}$  gelagar dobel delta lebih dari nilai tegangan lelehnya (230 Mpa), yaitu 325,76 Mpa. maka gelagar tersebut telah mencapai daerah strain hardening. Pada keadaan ini, gelagar dapat diartikan masih mungkin menahan tegangan tambahan ( $> 230$  Mpa) akan tetapi deformasi dan

regangannya sangat besar sehingga gelagar sudah tidak stabil. Maka, terbukti bahwa dengan memodifikasi gelagar I menjadi gelagar dobel delta dapat meningkatkan tegangan kritisnya. Tidak hanya sampai pada kondisi sama dengan tegangan lelehnya, namun hingga mencapai kondisi plastis. Adapun nilai desain plastis gelagar dobel delta sebagai berikut:

**Tabel 5.18** Nilai M<sub>cr</sub> Hasil Uji dan Momen Plastis

| Momen Desain Plastis | M <sub>cr</sub> Hasil Uji |
|----------------------|---------------------------|
| 59.381.101,27        | 65.100.000                |

Semakin dekatnya nilai Momen Plastis (M<sub>p</sub>) maka semakin teliti pula pembagian daerah elastis dan daerah plastisnya pada distribusi momen lenturnya. Dari hasil perhitungan desain plastis gelagar tersebut, didapatkan nilai M<sub>p</sub> = 59.381.101,27. Nilai rasio M<sub>cr</sub> hasil uji terhadap M<sub>p</sub> didapatkan = 1,09, nilai rasio M<sub>cr</sub> hasil uji terhadap M<sub>p</sub> adalah lebih dari 1. Maka kesimpulannya, gelagar tersebut telah mencapai *strain hardening*. Hitungan desain plastis gelagar tertulis dalam lampiran II laporan ini. Sehingga didapatkan gambar distribusi momen lentur gelagar dobel delta yaitu:



**Gambar 5.13** Distribusi Momen Lentur Gelagar