

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Kualitas Plat Baja

Untuk mengetahui kualitas plat baja yang dipakai untuk benda uji, dilakukan uji tarik baja, hasil uji tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil uji tarik baja

P Luluh (kN)	P Max (kN)	P Patah (kN)	Fy (kg/cm ²)
1705	2075	1600	2964
1720	2130	1550	3043
1695	2080	2080	2971

Berdasarkan data diatas maka kuat tarik rata-rata dari ketiga sampel uji tarik baja adalah sebesar 290 Mpa.

5.1.2 Hubungan Beban-Lendutan

1. Hubungan Beban-Lendutan Teoritis

Nilai hasil perhitungan beban-lendutan secara teori menggunakan *Central Difference Method* ditampilkan dalam Tabel 5.2. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besar lendutannya dihitung dengan Persamaan 3.62.

Tabel 5.2 Perhitungan beban-lendutan secara teoritis

P (kN)	EI (kNmm ²)	L (mm)	Δ (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	1.073E+10	4650	0	0	0
3	1.073E+10	4650	9.98E+01	2325	2.167E-07
6	1.073E+10	4650	2.00E+02	4650	4.333E-07
9	1.073E+10	4650	2.99E+02	6975	6.500E-07
12	1.073E+10	4650	3.99E+02	9300	8.667E-07
15	1.073E+10	4650	4.99E+02	11625	1.083E-06
18	1.073E+10	4650	5.99E+02	13950	1.300E-06

2. Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian

Pengujian lentur gelagar plat penampang kotak (*box girder*) dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada sampel *box girder* tersebut diberi pembebanan di dua titik secara bertahap dengan interval pembebanan 3 kN pada setiap tahap pembebanan, kemudian dipasang *dial gauge* sebanyak tiga buah yang diletakkan di bawah model benda uji untuk mengetahui lendutannya. Lendutan yang terjadi dicatat, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.3. Untuk hasil selengkapnya disajikan dalam lampiran. Selain itu Tabel 5.4 menunjukkan beban maksimum yang dicapai untuk model uji gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) dengan rasio tinggi terhadap tebal konstan (h/t_w) yang diuji dalam penelitian ini.

Tabel 5.3 Perhitungan beban-lendutan hasil penelitian
dengan $a/h = 0.48$

Dial 1 (x10 ⁻² mm)	Dial 2 (x10 ⁻² mm)	Dial 3 (x10 ⁻² mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)
0	0	0	0	0
136	132	81	3	2325
385	451	366	6	4650

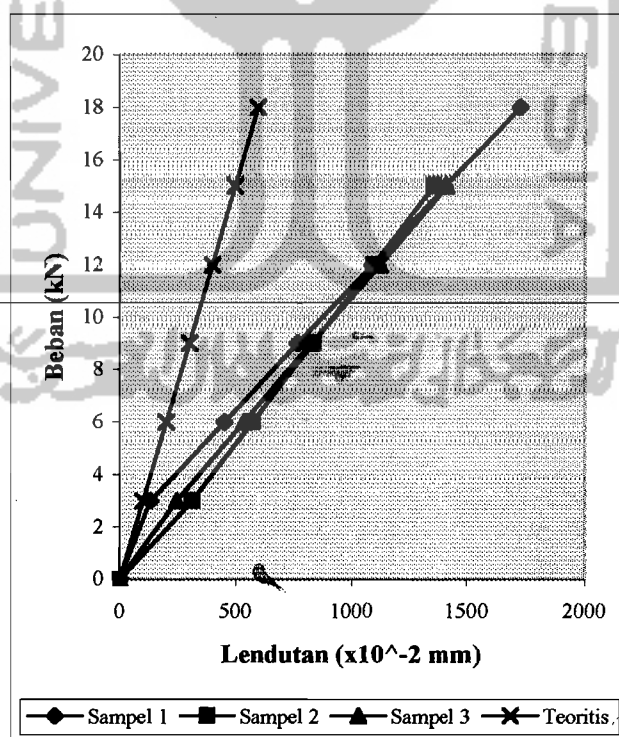
635	770	650	9	6975
884	1089	935	12	9300
1134	1409	1220	15	11625
1383	1728	1504	18	13950

Tabel 5.4 Kekuatan maksimum gelagar plat dengan berbagai variasi

No	Variasi Rasio Jarak Pengaku Terhadap Tinggi Badan	P Max (kN)	P Max (%)
1	$a/h = 0.48$	18	100.000
2	$a/h = 1.00$	15	83.333
3	$a/h = 1.50$	15	83.333

3. Grafik Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil perhitungan secara teoritis dan hasil pengujian ketiga sampel gelagar plat dengan variasi a/h maka dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan.



Gambar 5.1 Grafik hubungan beban-lendutan hasil penelitian dan teoritis

Dari grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian yang ditunjukkan pada

Gambar 5.1, mulai titik awal pembebanan sampai terjadi kerusakan (tekuk), balok gelagar uji berperilaku elastis dan berbentuk linear. Setelah mengalami sedikit kerusakan, gelagar uji memasuki fase inelastik dimana terjadi peningkatan lendutan yang cukup besar. Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit lendutan, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar kemiringannya.

4. Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang kekakuan gelagar pada beban ultimit disajikan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan

Nama Gelagar	P (kN)	Lendutan ($\times 10^{-2}$ mm)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan (%)
a/h = 0.48	18	1504	1.197	100.00
a/h = 1.00	15	1255	1.195	99.87
a/h = 1.50	15	1255	1.195	99.87

Dari Tabel 5.5 dapat diamati dan diteliti pengaruh rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) pada kekuatan lentur gelagar plat penampang kotak (*box girder*) dan perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji. Selain itu, dari Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang daktilitas lendutan yang disajikan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Analisa daktilitas lendutan dari data hubungan beban-lendutan

Nama Gelagar	P (kN)	Δy ($\times 10^{-2}$ mm)	Δ_{total} ($\times 10^{-2}$ mm)	Daktilitas	Daktilitas (%)
a/h = 0.48	18	1560	1560	1	100
a/h = 1.00	15	1238	1238	1	100
a/h = 1.50	15	1322	1322	1	100



5.1.3 Hubungan Momen-Kelengkungan

1. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

Mengacu pada tulisan *Park-Pauley*, nilai momen dan kelengkungan dapat dicari. Tabel hasil perhitungan momen kelengkungan secara teoritis disajikan pada Tabel 5.7 dan grafiknya pada Gambar 5.2.

Dari data perhitungan momen-kelengkungan teoritis dapat digambarkan grafiknya. Grafik tersebut akan dibandingkan dengan grafik hasil pengamatan yang diperoleh dari hasil pengujian model uji gelagar plat penampang kotak dengan tiga variasi rasio jarak pengaku dengan tinggi badan (a/h).

2. Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Penelitian

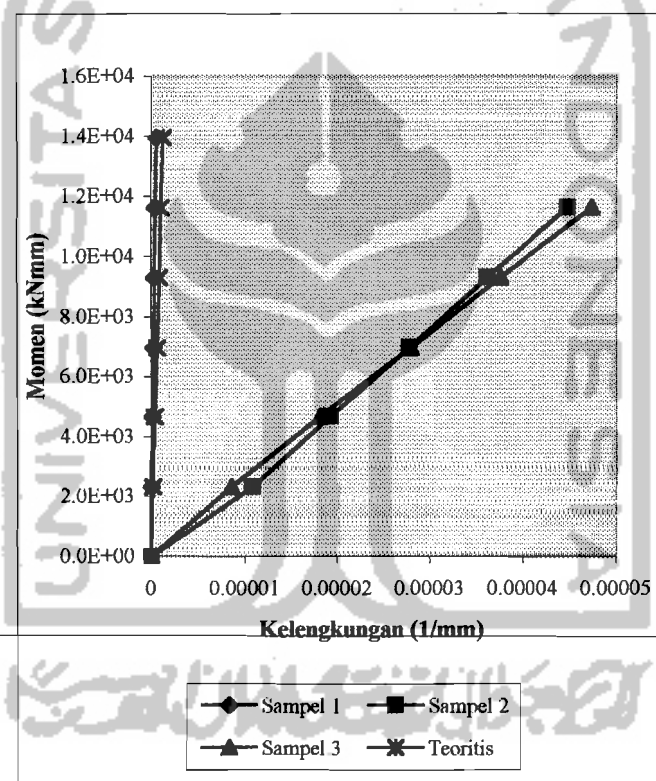
Dari hasil uji lentur didapat data berupa beban dan lendutan, dari data tersebut dapat diketahui momen dan kelengkungan. Hubungan momen-kelengkungan dapat dilihat pada Persamaan 3.54.

Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur gelagar. Kelengkungan gelagar diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *Central Difference Method*, dari data pembacaan dial dapat dicari momen dan kelengkungan seperti yang terlihat pada Tabel 5.7, untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Dari Tabel 5.7 dapat digambarkan grafik momen-kelengkungan seperti yang terlihat pada Gambar 5.2, dan untuk hasil grafik momen-kelengkungan selengkapnya disajikan dalam lampiran.

Tabel 5.7 Perhitungan momen-kelengkungan hasil penelitian dengan $a/h = 0.48$

Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
136	132	81	3	2325	5.59625E-08
385	451	366	6	4650	1.61572E-07
635	770	650	9	6975	2.67532E-07
884	1089	935	12	9300	3.73142E-07
1134	1409	1220	15	11625	4.79277E-07
1383	1728	1504	18	13950	5.85062E-07


Gambar 5.2 Grafik hubungan momen-kelengkungan hasil penelitian dan teoritis

3. Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan momen-kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari M/Φ , faktor kekakuan pada gelagar plat secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik M/Φ yang

diperoleh dari data laboratorium. Dari grafik yang terlihat dalam Gambar 5.2 maka dapat dibuat analisa data.

Tabel 5.8 Analisa Kekakuan dari data hubungan momen kelengkungan

Nama Gelagar	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNmm ²)	Momen (%)	EI (%)
a/h = 0.48	13950	5.85062E-07	2.38436E+10	100	100.000
a/h = 1.00	11625	4.48401E-05	2.59255E+08	83.333	1.087
a/h = 1.50	11625	4.74014E-05	2.45246E+08	83.333	1.029

Dari Gambar 5.2 juga bisa diamati pengaruh rasio tinggi dan tebal badan (h/t_w) terhadap daktilitas lengkung gelagar yang disajikan dalam Tabel 5.9.

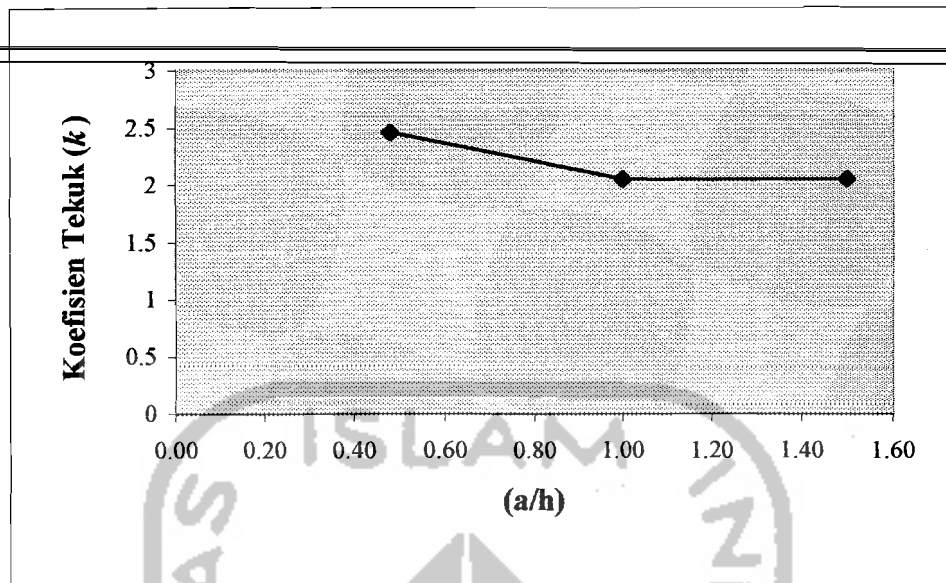
Tabel 5.9 Analisa daktilitas kelengkungan dari data hubungan momen-kelengkungan

Nama Gelagar	Momen (kNmm)	Φ_y (1/mm)	Φ_{total} (1/mm)	Daktilitas Φ_{tot}/Φ_y	Daktilitas (%)
a/h = 0.48	13950	5.85062E-07	5.85062E-07	1	100
a/h = 1.00	11625	4.48401E-05	4.48401E-05	1	100
a/h = 1.50	11625	4.74014E-05	4.74014E-05	1	100

5.1.4 Hubungan Aspect Rasio (a/h) Dengan Koefisien Tekuk (k)

1. Hubungan (a/h) dengan koefisien tekuk (k)

Dari hasil uji lentur didapat data berupa beban, dari data tersebut dapat diketahui momen, tegangan kritis (τ_{cr}) dan nilai koefisien tekuk (k) yang terjadi. Peningkatan nilai koefisien tekuk terjadi bila nilai (a/h) mengecil sehingga terjadi peningkatan tegangan kritis (τ_{cr}). Hal ini sesuai dengan rumus 3.47. Dari tabel 5.10 dapat digambarkan grafik hubungan koefisien tekuk (k) dengan rasio jarak pengaku terhadap tebal badan (a/h) seperti terlihat pada gambar 5.3.



Gambar 5.3 Hubungan koefisien tekuk (k) dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) pada sayap

2. Analisa data hubungan (a/h) dengan tegangan kritis pada sayap dan badan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan aspect ratio (a/h) dengan koefisien tekuk (k) dapat disimpulkan tentang nilai koefisien tekuk (k) pada rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) yang terbesar, seperti yang disajikan pada tabel

5.10.

Tabel 5.10 Analisa koefisien tekuk (k) hubungan aspect ratio (a/h) dan tegangan kritis (τ_{cr})

Nama Gelagar	Aspek Rasio (a/h)	M_{cr} (Mpa)	F_{cr} (Mpa)	Koefisien Tekuk (k)	Koefisien Tekuk (%)
	$a/h = 0.48$	13.950	52.2595	2.290	100
	$a/h = 1.00$	11.625	43.5496	1.908	83.319
	$a/h = 1.50$	11.625	43.5496	1.908	83.319

Dari tabel 5.10 terlihat bahwa semakin tinggi nilai (a/h) maka nilai tegangan geser kritis (τ_{cr}) dan nilai koefisien tekuk (k) semakin kecil.

5.15 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Kerusakan yang terjadi pada ketiga benda uji penelitian ini adalah terjadi tekuk arah vertikal pada plat sayap. Kerusakan pada sayap merupakan kerusakan akibat gaya tekan sebagai manifestasi momen yang diterima sedangkan pada plat badan mengalami kerusakan yang diakibatkan tegangan geser yang terjadi. Letak kerusakan pada sampel uji rata-rata terletak di bawah beban terpusat.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan

Pengamatan terhadap gambar-gambar pada lampiran, yaitu grafik hubungan beban-lendutan sebelum dinetralisir dapat dilihat bahwa gelagar memiliki kecenderungan kuat lentur yang sama. Mulai dari kuat lentur awal sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung tetapi mendekati linear. Setelah mencapai kuat lentur ultimit, gelagar mengalami kerusakan dan terjadi penurunan kuat lentur.

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$), dalam hal ini adalah nilai kekakuan dari masing-masing gelagar. Nilai kekakuan didapat dari P/Δ , kekakuan pada gelagar secara umum mempunyai perilaku yang hampir sama. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban-lendutan yang diperoleh dari data laboratorium. Dari pengujian ini tidak diperoleh kurva yang plastis karena sampel pada sayap mengalami tekuk lokal atau kegagalan dini hal ini dikarenakan tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan leleh.

Dari analisa beban-lendutan dapat diperoleh perbandingan kurva lendutan gelagar dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h). Sebagai

pembandingan atau standar kekakuan dipakai gelagar dengan $a/h = 0.48$, dengan menganggap besar kekakuannya yaitu 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai kekakuan dari gelagar plat.

Untuk gelagar variasi 1 dengan $a/h = 0.48$, beban maksimumnya adalah 18 kN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 1.197 kN/mm. Gelagar variasi 2 dengan $a/h = 1.00$, rata-rata beban maksimumnya adalah 15 kN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 1.197 kN/mm. Gelagar variasi 3 dengan $a/h = 1.50$, rata-rata beban maksimumnya adalah 15 kN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 1.197 kN/mm. Beban maksimum gelagar plat mengalami penurunan sebesar 16.667 % dan nilai kekakuan mengalami kenaikan sebesar 0.13 % terhadap gelagar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 1.00. Beban maksimum gelagar plat mengalami penurunan sebesar 16.667 % dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 0.13 % terhadap gelagar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 1.50.

Dari ketiga sampel gelagar plat penampang kotak tersebut diatas, rata-rata mengalami pola kegagalan berupa tekuk lokal yang terjadi pada bagian sayap maupun badan.

5.2.2 Daktilitas Simpangan Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan

Besarnya lendutan pada beban maksimum dan lendutan maksimum pada gelagar merupakan dasar untuk mencari daktilitas gelagar. Daktilitas simpangan merupakan perbandingan dari Δ_{tot}/Δ_y . Berdasarkan pengamatan pada grafik hubungan beban-lendutan yang kemudian dianalisa seperti ditampilkan pada Tabel

5.6, dapat dilihat daktilitas dari masing-masing gelagar dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) dan dapat dibandingkan dengan gelagar yang $a/h = 0.48$ sebagai pembandingnya dengan menganggap daktilitas dan beban ultimitnya sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada gelagar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 0.48, gelagar mempunyai nilai daktilitas sebesar 100 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 18 KN. Gelagar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 1.00 dan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 1.50, gelagar tidak mengalami perubahan daktilitas yaitu sebesar 100 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 15 KN.

5.2.3 Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan

Grafik hubungan momen-kelengkungan memiliki perilaku yang tidak jauh berbeda dengan kuat lentur dari grafik hubungan beban-lendutan. Mulai dari kuat lentur awal akibat momen sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung, setelah mencapai kuat lentur ultimit gelagar mulai mengalami kerusakan yaitu tertekuk arah vertikal akibat gaya aksial yang cukup signifikan sehingga terjadi penurunan kuat lentur sedikit.

Kuat lentur paling besar dialami oleh gelagar dengan $a/h = 0.48$ yaitu pada momen sebesar 13950 KNmm, sedangkan kuat lentur paling kecil dialami oleh gelagar dengan $a/h = 1.00$ dan $a/h = 1.50$ yaitu pada momen sebesar 11625KNmm. Kelengkungan paling panjang terjadi pada gelagar dengan $a/h = 1.5$ dan

kelengkungan paling pendek terjadi pada gelagar dengan $a/h = 1.0$.

Hubungan momen-kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan, seperti yang terdapat pada tabel 5.8 maka dapat dilakukan analisa data momen dengan kelengkungan sehingga dapat diperoleh perbandingan grafik momen-kelengkungan gelagar plat penampang kotak dengan tiga variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan.

Sebagai pembanding atau standar kekakuan gelagar plat dipakai gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 0.48 dengan menganggap besar faktor kekakuannya sebesar 100 % dan besarnya momen beban maksimum pertama sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan nilai faktor kekakuan atau besarnya momen dari gelagar.

Pada gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 0.48 mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 23843600000 KNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 13950 KNmm. Pada gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 1.0 dan mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 259255000 KNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 11625 KNmm. Pada gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 1.5 dan mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 245246000 KNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 11625 KNmm. Gelagar plat mengalami peningkatan kekakuan sebesar 1.087 % untuk $a/h = 1.0$ dan 1.029 % untuk $a/h = 1.5$.

5.2.4 Daktilitas Lengkung Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan

Besarnya kelengkungan pada momen maksimum dan kelengkungan maksimum merupakan dasar untuk mencari daktilitas gelagar. Daktilitas kelengkungan didapat dari perbandingan Φ_{tot}/Φ_y . Dari tabel Tabel 5.9 yang diperoleh dari pengamatan perbandingan kurva kelengkungan gelagar dengan berbagai variasi jarak pengaku terhadap tinggi badan.

Sebagai pembanding atau standar daktilitas gelagar, dipakai gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan $(a/h) = 0.48$, dengan menganggap daktilitas dan momen maksimumnya sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan $(a/h) = 0.48$ mempunyai nilai daktilitas sebesar 1 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 13950 KNmm. Gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan $(a/h) = 1.0$ dan (a/h) mempunyai nilai daktilitas sebesar 1 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 11625 KNmm. Gelagar mengalami tidak mengalami perubahan kenaikan daktilitas.

5.2.5 Kuat Geser Gelagar Plat Ditinjau dari Hubungan Aspect Rasio (a/h) dengan Koefisien Tekuk (k)

Dengan mengamati gambar, yaitu grafik hubungan koefisien tekuk (k) dengan aspect rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) gelagar memiliki nilai koefisien tekuk yang berbeda. Gelagar yang diberi pengaku dengan jarak yang

pendek cenderung memiliki koefisien tekuk lebih besar daripada gelagar yang memiliki jarak pengaku jauh.

Koefisien tekuk paling besar dialami oleh gelagar yang diberi pengaku transversal dengan $a/h = 0.48$ yaitu pada beban 18 kN, sedangkan koefisien tekuk paling kecil dialami oleh gelagar yang diberi pengaku transversal dengan $a/h = 1.0$ dan $a/h = 1.5$ yaitu pada beban 15 kN.

Hubungan aspect ratio a/h dengan koefisien tekuk k menunjukkan tegangan kritis geser, seperti yang terdapat pada tabel 5.10, maka dapat dilakukan analisa data hubungan aspect ratio a/h dengan koefisien tekuk k sehingga dapat diperoleh perbandingan nilai tegangan kritis geser gelagar plat dengan tiga model gelagar, yaitu gelagar dengan rasio jarak pengaku $a/h = 0.48$, $a/h = 1.0$ dan $a/h = 1.5$.

Sebagai pembandingan atau standar nilai k gelagar plat dipakai gelagar yang memiliki rasio jarak pengaku $a/h = 0.48$ dengan menganggap besar nilai tegangan kritis sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan tegangan kritis dari gelagar.

Pada gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 0.48 mempunyai tegangan kritis sebesar 52.2595 Mpa pada saat gelagar memiliki beban maksimum 18 kN. Pada gelagar plat dengan variasi jarak pengaku terhadap tinggi badan (a/h) = 1.0 dan (a/h) = 1.5 mempunyai tegangan kritis sebesar 43.5496 Mpa pada saat gelagar menerima beban maksimum sebesar 15 kN.

Nilai koefisien tekuk (k) gelagar plat penampang kotak yang diperoleh dalam penelitian hasilnya masuk dalam teori yang telah ada, meskipun hasilnya masih

belum sempurna. Ketidaksempurnaan ini dikarenakan sayap sudah terjadi kerusakan terlebih dahulu yaitu tekuk vertikal akibat beban aksial. Kerusakan ini disebut kegagalan dini, oleh karena itu badan belum terjadi kerusakan sehingga badan belum mencapai kuat lentur. Bentuk kerusakan yang terjadi kemungkinan dikarenakan sambungan las tidak kuat menahan gaya tekan sebelum plat sayap maupun plat badan tertekuk. Adapun cara lain untuk mengatasi kegagalan ini dengan cara menambah ketebalan plat sayap.



جامعة الإسلام في إندونيسيا