

# PENGARUH PENAMBAHAN PENGAKU VERTIKAL TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BAJA PROFIL I

**Aminullah<sup>1</sup>, Svahril Taufik<sup>2</sup> dan Ida Barkiah<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kopertis Wilayah XI Banjarmasin

<sup>2</sup>Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University

## ABSTRAK

Sejumlah bangunan seperti aula dan jembatan memerlukan ruangan yang luas tanpa tersekat oleh kolom yang rapat. Hal ini dapat dilayani salah satunya dengan penggunaan balok girder hybrid yang bisa divariasikan tidak hanya dalam hal mutu, tetapi juga ketebalan masing-masing komponennya. Girder hybrid rawan terhadap tekuk, tetapi hal ini bisa diatasi dengan pengaku. Pemasangan yang tepat akan menghindarkan kegagalan struktur akibat tekuk, sekaligus diprediksi meningkatkan kemampuan menahan beban secara signifikan. Perbandingan ketebalan antar elemen, kombinasi mutu, dan pengaturan spasi antar pengaku adalah isu-isu penting dalam bahasan pemasangan pengaku. Untuk mempelajari lebih dalam tentang topik-topik tersebut, dikembangkan model balok girder hybrid dengan panjang 7000 mm dan tinggi 900 mm. Variasi model dianalisis dengan Finite Element Analysis (FEA) menggunakan ANSYS Ed.9.0. dengan pilihan plastic shell elemen SHELL143. Elemen baja menggunakan mutu yang dipakai dalam pengujian eksperimental, yaitu baja S570 dan baja SM400. Mutu baja balok kemudian divariasikan dengan menggunakan jenis S690 dan S355. Pembebanan dilakukan hingga kondisi softening dimana beban puncak telah dilewati. Perilaku balok akibat pembebanan diteliti untuk menghasilkan rencana kombinasi mutu dan geometri yang efisien. Sejumlah rekomendasi didapatkan berdasar pola-pola yang ditunjukkan hasil pengujian model. Dalam kombinasi mutu, balok girder hybrid dengan sayap dan badan dibuat dari bahan yang memiliki mutu yang relative besar perbedaannya. Berbagai variasi telah menunjukkan mutu S570 berpasangan dengan SM400 sebagai yang paling baik. Hal ini sesuai dengan yang dipakai dalam pengujian eksperimental. Adapun ketebalan sayap (15 mm) yang tetap tidak bervariasi ternyata cukup diimbangi dengan badan balok dengan tebal setengahnya, ketebalan badan balok dibuat sama dengan ketebalan pengaku. Plat pengaku ternyata hanya sangat diperlukan pada lokasi pembebanan dan perletakan. Jarak antar pengaku yang efektif sebesar tiga kali tinggi balok. Hasil yang didapatkan pada kondisi softening memperlihatkan perilaku yang relative stabi l dengan tidak adanya rapture secara mendadak.

Kata kunci: girder hybrid, mutu bahan, ketebalan elemen, jarak antar pengaku.

## 1. PENDAHULUAN

Penelitian mengenai pengaku pada balok girder profil I hybrid ini dilatar belakangi oleh: keperluan struktur balok panjang seperti jembatan dan auditorium, kemampuan balok girder profil I sebagai balok panjang yang kuat terhadap lentur, nilai ekonomis balok girder profil I, bahaya nilai kelangsingan yang besar pada girder, peran pengaku mengatasi masalah kelangsingan balok, dan perlunya penentuan jarak antar pengaku yang efisien.

Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai kekuatan balok pada saat sebelum diberi pengaku, ditinjau dari tegangan, lendutan, beban maksimalnya, dan perubahannya setelah diberi pengaku dengan variasi; mutu, ketebalan, dan jarak. Selain itu untuk mengetahui perubahan perilaku tegangan, dan lendutan suatu balok setelah beban maksimum terjadi untuk setiap kondisi tersebut. Selanjutnya untuk mengetahui kondisi *softening* balok, mengetahui perilaku penambahan pengaku vertikal terhadap kuat lentur girder hybrid profil I, serta mengetahui geometrik pengaku vertikal yang efisien menyangkut jarak antar pengaku minimal

---

Correspondence : Aminullah

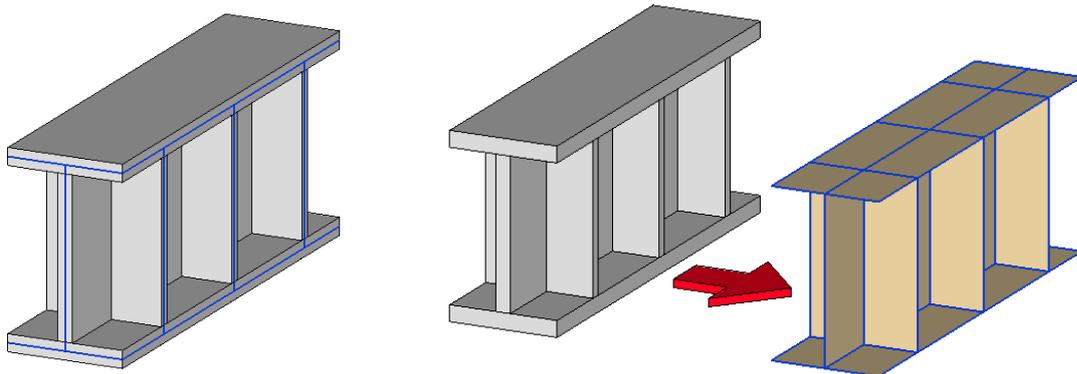
yang masih kuat untuk menahan tekuk, jarak antar pengaku maksimal, serta ketebalan pengaku dan ketebalan web.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan program *Finite Element Methode* (FEM) ANSYS ED Version 9.0 untuk melakukan percobaan. Analisis awal yang dilakukan adalah memodelkan balok baja profil I dengan data input yang sesuai dengan hasil uji eksperimental terdahulu. Geometri model

kemudian di-*meshing* menjadi elemen hingga. Selanjutnya, model dianalisis dan hasilnya dibandingkan dengan hasil uji eksperimental. Apabila perbandingan tersebut memberikan hasil yang dapat dikatakan sama, maka validasi terhadap program FEM yang dipilih untuk percobaan ini telah didapat.

Model-model yang tipis dianalisis sebagai *shell element*, dengan membuat garis tengah pada masing-masing elemen, lalu menghubungkan garis-garis tersebut. Hal ini bisa ditunjukkan dalam Gambar 1.

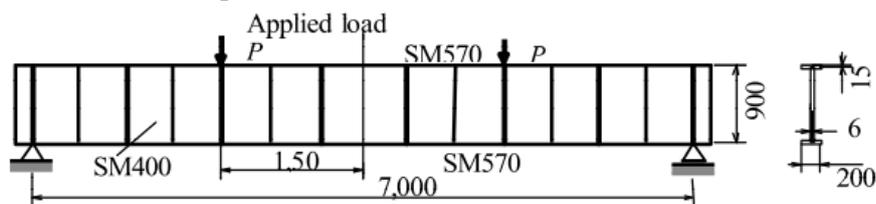


a. Pembuatan Garis Tengah Elemen

b. Kumpulan Garis Tengah yang Terhubung Membentuk Elemen *Shell*

**Gambar 1.** Perubahan dari *Solid* Menjadi *Shell*

Pada dasarnya model-model percobaan adalah pengembangan (variasi) dari model acuan yang diambil dari jurnal hasil penelitian eksperimental Tanaka dkk (Gambar 2). Model tersebut adalah balok yang memikul dua beban terpusat.



**Gambar 2.** Profil yang Digunakan dan Potongan Melintang

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Tahap Tahap Pemodelan

Sesuai tujuan penelitian, pembuatan model-model dilakukan secara bertahap. Pada **TAHAP I**, model-model akan dikembangkan dengan memberikan variasi dalam hal mutu dan variasi ketebalan elemen-elemen penyusun balok. Dari sini diharapkan akan ditemukan pola pertama dari berbagai

variasi yang bisa memberikan panduan desain umum balok girder untuk tesis ini berdasar ketebalan elemen dan mutu.

Pola yang didapat dalam tahap pertama akan dimanifestasikan dalam pembuatan model-model untuk **TAHAP II**. Adapun variasi dilakukan terfokus untuk meneliti perbandingan ketebalan pengaku utama (pengaku yang berada pada daerah yang dinilai kritis seperti pada titik jatuhnya

pembebanan, dan titik perletakan), terhadap pengaku sekunder (pengaku pendukung yang mengisi ruang badan balok yang tidak dipasang pengaku utama sehingga jarak antar pengaku sama).

Pada **TAHAP III**, dengan mengikuti pola yang diberikan TAHAP I dan II model akan dibuat. Tujuannya untuk melakukan pengecekan silang terhadap metode pembebanan kedua yang akan dipakai, yaitu memberikan beban lendutan untuk mencari nilai beban ultimit, dibandingkan dengan metode pertama yaitu pembebanan dengan nilai yang didapat tadi untuk mengetahui

lendutan. Kesesuaian nilai kedua metode ini adalah validasi terhadap penggunaan metode pembebanan kedua yang selanjutnya disebut *softening*.

**TAHAP IV** adalah penelitian mengenai pola yang akan timbul akibat variasi jarak antar pengaku. Variasi akan dimulai dari kondisi tanpa pengaku sama sekali, pengaku kritis, hingga pengaku tambahan dengan beberapa kerapatan yang perlu. Tabel 1 memuat data properti masing-masing elemen penyusun yang nanti akan digunakan dalam variasi mutu model.

**Tabel 1.** Data Properti Elemen

No.	Tipe Mutu Baja	Tebal (mm)	Tegangan Leleh $\sigma_y$ (MPa)	Modulus Elastisitas $E$ (GPa)	Elemen	Nomor Elemen
1	SM400	6,0	271	195	Badan	2
2	SM400	9,0	271	195	Pengaku 1	4
3	SM400	4,5	271	195	Pengaku 2	5
4	S570	15,0	586	199	Sayap	1 dan 3
5	S355	6,0	370	196	Badan	2
6	S355	9,0	370	196	Pengaku 1	4
7	S355	4,5	370	196	Pengaku 2	5
8	S690	15,0	690	200	Sayap	1 dan 3

Permodelan yang dibuat pada percobaan Tahap I dapat dilihat pada Tabel 2. Seluruhnya ada 16 model yang diurutkan menurut empat kelompok mutu, yaitu pasangan mutu tinggi dan rendah (*hybrid*).

**Tabel 2.** Model-model Tahap I

No	Kel. Mutu	Kode Model	Sayap			Badan/Pengaku			Jarak Pengaku (mm)
			Tebal $t_f$ (mm)	Tipe baja a	Mutu $f_y^{(1)}$ (MPa)	Tebal $t_w = t_s$ (mm)	Tipe baja	Mutu $f_y^{(2)}$ (MPa)	
<b>v</b>		<b>Validasi</b>	<b>15</b>	<b>S570</b>	<b>596</b>	Web=6 Stf=9	<b>SM400</b>	<b>271</b>	500
1	I	ANSIS.01	15	S570	596	6	SM400	271	500
2		ANSIS.02	15	S570	596	7	SM400	271	500
3		ANSIS.03	15	S570	596	8	SM400	271	500
4		ANSIS.04	15	S570	596	9	SM400	271	500
5	II	ANSIS.05	15	S570	596	6	<b>S355</b>	370	500
<b>6</b>		<b>ANSIS.06</b>	<b>15</b>	<b>S570</b>	<b>596</b>	<b>7</b>	<b>S355</b>	<b>370</b>	<b>500</b>
<b>7</b>		<b>ANSIS.07</b>	<b>15</b>	<b>S570</b>	<b>596</b>	<b>8</b>	<b>S355</b>	<b>370</b>	<b>500</b>
<b>8</b>		<b>ANSIS.08</b>	<b>15</b>	<b>S570</b>	<b>596</b>	<b>9</b>	<b>S355</b>	<b>370</b>	<b>500</b>

Tabel 2 (lanjutan)

No	Kel. Mutu	Kode Model	Sayap			Badan/Pengaku			Jarak Pengaku (mm)
			Tebal $t_f$ (mm)	Tipebaja a	Mutuf <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (MPa)	Tebal $t_w = t_s$ (mm)	Tipebaja	Mutuf <sub>y</sub> <sup>(2)</sup> (MPa)	
9	III	ANSIS.09	15	S690	700	6	SM400	271	500
10		ANSIS.10	15	S690	700	7	SM400	271	500
11		ANSIS.11	15	S690	700	8	SM400	271	500
12		ANSIS.12	15	S690	700	9	SM400	271	500
13	IV	ANSIS.13	15	S690	700	6	S355	370	500
14		ANSIS.14	15	S690	700	7	S355	370	500
15		ANSIS.15	15	S690	700	8	S355	370	500
16		ANSIS.16	15	S690	700	9	S355	370	500

Permodelan Tahap II dapat dilihat dalam Tabel 3. Model ini hanya dibuat setelah tren pola terbaik variasi mutu dan ketebalan didapatkan. Dengan memakai pola ini, maka variasi Tahap II bisa fokus pada bahasan selanjutnya, yaitu ketebalan pengaku sekunder (Stif. 2).

Tabel 3. Model-model Tahap II

No	Kode Model	Sayap			Badan/Pengaku			Jarak Pengaku (mm)
		Tebal $t_f$ (mm)	Tipebaja	Mutuf <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (MPa)	Tebal $t_w = t_s$ (mm)	Tipebaja	Mutuf <sub>y</sub> <sup>(2)</sup> (MPa)	
1	ANSIS.17	15	S570	596	Web=6,0 Stf <sub>1</sub> =7,5 Stf <sub>2</sub> =7,5	SM 400	271	500
2	ANSIS.18	15	S570	596	Web=6,0 Stf <sub>1</sub> =7,5 Stf <sub>2</sub> =6,0	SM 400	271	500
3	ANSIS.19	15	S570	596	Web=6,0 Stf <sub>1</sub> =7,5 Stf <sub>2</sub> =4,5	SM 400	271	500

Permodelan Tahap III (Tabel 4) dibuat dengan menerapkan tren pola terbaik Tahap I tentang variasi ketebalan dan mutu, serta Tahap II tentang ketebalan pengaku sekunder. Pengujian Tahap III adalah persiapan untuk Tahap IV (*softening*) yaitu menguji suatu pengujian softening dengan memberikan suatu beban lendutan untuk mengetahui nilai

beban ultimitnya. Beban ini kemudian diuji pada model selanjutnya dengan menjadikannya beban (terpusat) untuk mendapatkan lendutan yang diakibatkannya. Kecocokannya adalah validasi untuk penggunaan metode *softening* tahap selanjutnya.

Tabel 4. Model-model Tahap III

No	Kode Model	Sayap			Badan/Pengaku			Jarak Pengaku (mm)
		Tebal $t_f$ (mm)	Tipebaja	Mutuf <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (MPa)	Tebal $t_w = t_s$ (mm)	Tipebaja	Mutuf <sub>y</sub> <sup>(2)</sup> (MPa)	
1	ANSIS.20	15	S570	596	Web=6 Stf <sub>1</sub> =7,5 Stf <sub>2</sub> =4,5	SM400	271	500
2	ANSIS.21	15	S570	596	Web=6 Stf <sub>1</sub> =7,5 Stf <sub>2</sub> =4,5	SM400	271	500

Permodelan Tahap IV menguji pengaruh jarak antar pengaku terhadap beban maksimal yang dapat dipikul balok. Model-model Tahap 4 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

**Tabel 5.** Model-model Tahap IV

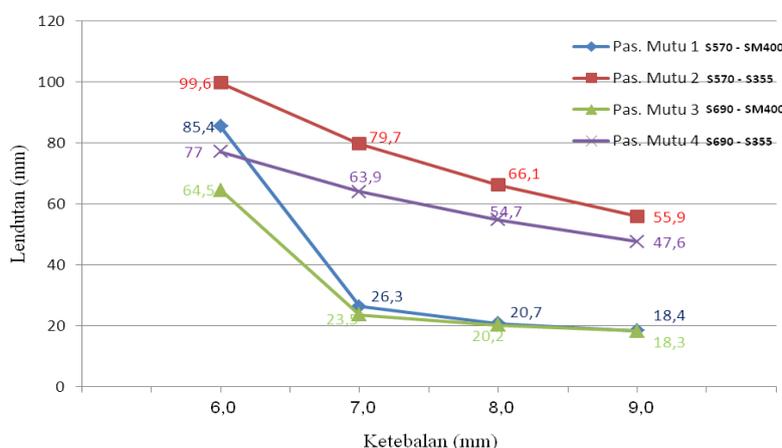
No	Kode Model	Sayap			Badan/Pengaku			Jarak Pengaku (mm)
		Tebal $t_f$ (mm)	Tipebaja	Mutu $f_y^{(1)}$ (MPa)	Tebal $t_w = t_s$ (mm)	Tipebaja	Mutu $f_y^{(2)}$ (MPa)	
1	ANSIS.22	15	S570	596	Web=6	SM400	271	Tanpa pengaku
2	ANSIS.23	15	S570	596	Web=6 Stf <sub>1</sub> =7,5	SM400	271	7000,0
3	ANSIS.24	15	S570	596	Web=6 Stf <sub>1</sub> =7,5	SM400	271	3500,0
4	ANSIS.25	15	S570	596	Web=6 Stf <sub>1</sub> =7,5	SM400	271	1750,0
5	ANSIS.26	15	S570	596	Web=6 Stf <sub>1</sub> =7,5	SM400	271	875,0
6	ANSIS.27	15	S570	596	Web=6 Stf <sub>1</sub> =7,5	SM400	271	875,0
7	ANSIS.28	15	S570	596	Web=6 Stf <sub>1</sub> =7,5 Stf <sub>2</sub> =4,5	SM400	271	437,5

### 3.2 Pengujian Tahap I

Pengujian Tahap I tentang **lendutan** memberikan hasil sebagaimana dirangkum dalam Tabel 6 dan grafis pada Gambar 3.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Lendutan Akibat Variasi Ketebalan

Ketebalan Badan Pengaku (mm)	Lendutan (mm)			
	Mutu 1	Mutu 2	Mutu 3	Mutu 4
6,0	85,4	99,6	64,5	77,0
7,0	26,3	79,7	23,5	63,9
8,0	20,7	66,1	20,2	54,7
9,0	18,4	55,9	18,3	47,6



**Gambar 3.** Rekapitulasi Variasi Tegangan Keseluruhan Balok yang Terjadi pada tiap Kombinasi Mutu

Dengan demikian, untuk analisa variasi hasil lendutan dapat ditemukan tren pola berikut.

- 1 Semakin bertambah ketebalan, semua kelompok Kombinasi Mutu mengalami pengurangan keefektifan dalam mereduksi lendutan.
- 2 Reduksi lendutan terbesar terjadi pada kelompok Kombinasi Mutu 1, yaitu S570 untuk sayap atas dan bawah, dan SM400 untuk badan balok dan pengaku. Nilai reduksinya 69,20, pada saat ketebalan 6,0 mm dinaikkan menjadi 7,0 mm.
- 3 Pencapaian ini tidak berlanjut pada penambahan ketebalan dari 7,0 mm menjadi 8,0 mm yang langsung turun jadi 21,29 persen, apalagi dari ketebalan 8,0 mm menjadi 9,0 mm yang lebih turun lagi menjadi 11,11 persen.
- 4 Jika dibandingkan antara tebal sayap (15,0 mm, tidak bervariasi) dengan tebal badan balok terbaik di atas (7,0 mm), maka dapat direkomendasikan perbandingan ideal

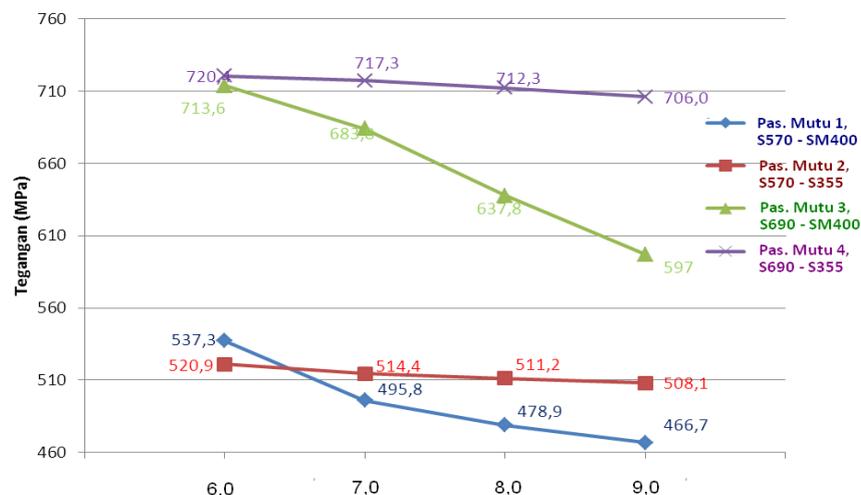
ketebalan sayap balok terhadap badan adalah mendekati 2,0.

- 5 Reduksi lendutan secara signifikan terjadi pada kelompok Kombinasi Mutu 1 dan kelompok Kombinasi Mutu 3, yaitu jika baja S570 ( $f_n = 596$  MPa) dan baja S690 ( $f_n = 720$  MPa) dipasangkan dengan SM400 ( $f_n = 271$  MPa). Artinya pemakaian baja kedua baik memakai mutu rendah (bandingkan S355  $f_n = 370$  MPa).
- 6 Berdasar kemiringan yang lebih tajam dari grafik garis biru dibanding hijau pada ketebalan 7,0 mm dalam Gambar 4.8, maka baja sayap yang dipilih adalah S570.
- 7 Perbandingan mutu baja sayap (tegangan ultimit,  $f_{uf} = 596$  MPa) dengan mutu baja badan (tegangan ultimit,  $f_{uw} = 433$  MPa), maka didapatkan rasio 1,37.

Pengujian Tahap I tentang **tegangan** memberikan hasil sebagaimana dirangkum dalam Tabel 7 dan grafis pada Gambar 4.

**Tabel 7.** Rekapitulasi Tegangan Keseluruhan Balok Akibat Variasi Ketebalan

Ketebalan Badan dan Pengaku (mm)	Tegangan Keseluruhan Balok (MPa)			
	Mutu 1	Mutu 2	Mutu 3	Mutu 4
6,0	537,3	520,9	713,6	720,4
7,0	495,8	514,4	683,8	717,3
8,0	478,8	511,2	637,8	712,3
9,0	466,7	508,1	597,0	706,0



**Gambar 4.** Rekapitulasi Variasi Tegangan Keseluruhan Balok yang Terjadi pada tiap Kombinasi Mutu

Berdasarkan pola yang terbentuk dari pengujian Tahap I di atas dapat diamati beberapa gejala dan kecenderungan sebagai berikut:

- 1 Semakin bertambah ketebalan, kelompok Kombinasi Mutu 1 dan 4 mengalami pengurangan keefektifan dalam mereduksi tegangan. Sedangkan kelompok Kombinasi Mutu 2 dan 3 mengalami fluktuasi keefektifan dalam mereduksi tegangan. Ini berbeda dengan yang terjadi dalam perbandingan nilai lendutan.
- 2 Reduksi tegangan terbesar terjadi pada kelompok Kombinasi Mutu 1, yaitu S570 untuk sayap balok atas dan bawah, dan SM400 untuk badan balok dan pengaku. Nilai reduksinya adalah 7,72 persen, tepatnya pada saat ketebalan 6,0 mm dinaikkan menjadi 7,0 mm. Pola ini sama dalam pembahasan lendutan.
- 3 Pencapaian ini tidak berlanjut pada penambahan ketebalan dari 7,0 mm menjadi 8,0 mm yang langsung turun jadi 3,41 persen, apalagi dari ketebalan 8,0 mm menjadi 9,0 mm yang lebih turun lagi menjadi 2,55 persen. Pola ini sama dalam pembahasan lendutan.
- 4 Jika dibandingkan antara tebal sayap balok (15,0 mm, tidak bervariasi) dengan tebal badan balok terbaik di atas (7,0 mm), maka dapat direkomendasikan perbandingan ideal ketebalan sayap balok terhadap badan balok adalah sekitar 2,0. Pola ini sama dalam pembahasan lendutan.
- 5 Reduksi tegangan secara signifikan hanya terjadi pada kelompok Kombinasi Mutu 1 dan kelompok Kombinasi Mutu 3, yaitu jika baja S570 ( $f_n = 596$  MPa) dan baja S690 ( $f_n = 720$  MPa) dipasangkan dengan baja SM400 ( $f_n = 271$  MPa). Ini berarti pemakaian baja kedua baik memakai yang mutunya rendah dibanding S355  $f_n = 370$  MPa.
- 6 Berdasar lengkung yang lebih tajam dari grafik garis biru dibanding hijau pada ketebalan 7,0 mm dalam Gambar 4.16, maka mutu baja sayap balok yang dipilih adalah S570. Pola ini sama dalam pembahasan lendutan.
- 7 Jika dibandingkan antara mutu baja sayap balok (tegangan ultimit,  $f_{uf} = 596$  MPa) dan mutu baja badan balok-pengaku (tegangan ultimit,  $f_{uw} = 433$  MPa), maka didapatkan rasio 1,37. Pola ini sama dalam pembahasan lendutan.

### 3.3 Pengujian Tahap II

Pengujian Tahap II tentang **lendutan** memberikan hasil sebagaimana dirangkum dalam Tabel 8.

**Tabel 8.** Rekapitulasi Hasil Pengujian Lendutan Model-model Tahap II dengan Beban dan Mutu Sama

No.	Kode Model	Ketebalan (mm)			$\Delta_{maks}$ (mm)
		PengakuSekunder	PengakuUtama	Rasio $t_{s2}/t_{s1}$	
1	ANSIS.17	7,5	7,5	1,0	22,557
2	ANSIS.18	6,0	7,5	0,8	22,603
3	ANSIS.19	4,5	7,5	0,6	22,652

Perbedaan lendutan yang dihasilkan dengan variasi ketebalan pengaku sekunder ternyata tidak signifikan, dengan demikian dapat dikatakan tidak berpengaruh. Selanjutnya, pengujian Tahap II tentang **tegangan** memberikan hasil sebagaimana dirangkum dalam Tabel 9.

**Tabel 9.** Rekapitulasi Hasil Pengujian Tegangan Model-model Tahap II dengan Beban dan Mutu Sama

No.	Kode Model	Ketebalan (mm)			$\sigma$ (mm)
		PengakuSekunder	PengakuUtama	Rasio $t_{s2}/t_{s1}$	
1	ANSIS.17	7,5	7,5	1,0	487,690
2	ANSIS.18	6,0	7,5	0,8	487,729
3	ANSIS.19	4,5	7,5	0,6	487,763

Perbedaan lendutan yang dihasilkan dengan variasi ketebalan pengaku sekunder ternyata tidak signifikan, dengan demikian dapat dikatakan tidak berpengaruh sebagaimana halnya dalam pembahasan lendutan sebelumnya.

### 3.4 Pengujian Tahap III

Nilai lendutan yang didapat dengan metode *softening* yaitu dengan pembebanan defleksi menghasilkan nilai 67,3 mm. Sedangkan lendutan dengan pembebanan terpusat menghasilkan nilai 64,7 mm. Perbedaan ini bisa berlaku karena kedua balok dikerjakan dengan pendekatan yang berbeda. Pada balok ANSIS.20 semua node

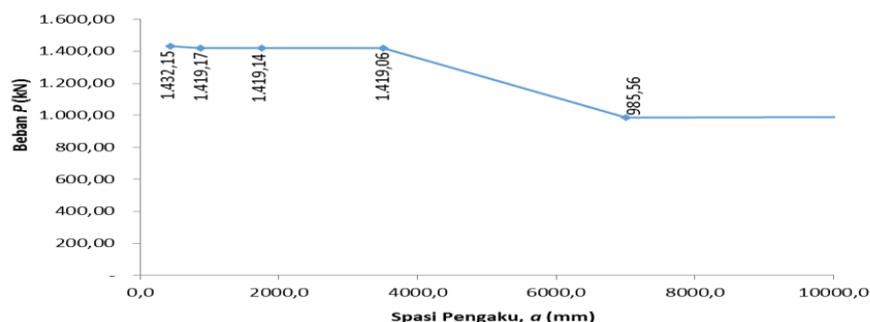
turun sama besar karena proses *coupling*. Sedangkan balok ANSIS.21 didekati dengan pengaturan distribusi beban terpusat ke dalam enam buah *node*. Akibatnya keenam *node* tersebut turun tidak merata karena ada yang disokong badan balok, dan yang lainnya disokong pengaku. Padahal riilnya beban diberikan secara merata. Dengan demikian, perbedaan ini dapat diabaikan.

### 3.5 Pengujian Tahap IV

Pengujian Tahap IV tentang **beban maksimal** dari variasi jarak pengaku memberikan hasil sebagaimana dirangkum dalam Tabel 10 dan Gambar 5.

**Tabel 10.** Hasil Pengujian Beban Ultimit ( $P_u$ ) Model-model Tahap IV

No.	Kode Model	Jarak Pengaku (mm)	Keterangan	$\Delta_u$ (mm)	$P_u$ (kN)
1	ANSIS.22	0,0	Tanpa pengaku	66,0	988,85
2	ANSIS.23	7000,0	Pengaku tumpuan	50,4	985,56
3	ANSIS.24	3500,0	Pengaku tumpuan, titik beban	172,7	1.419,06
4	ANSIS.25	1750,0	Pengaku tumpuan, titik beban	172,7	1.419,14
5	ANSIS.26	875,0	Semua pengaku utama	163,8	1.418,08
6	ANSIS.27	875,0	Semua pengaku utama, penutup balok	168,8	1.419,17
7	ANSIS.28	437,5	Semua pengaku utama dan sekunder	158,8	1.432,15



**Gambar 5.**  $P_u$  untuk Variasi Jarak antar Pengaku

Nilai beban maksimal ( $P_{maks}$ ) terbesar dimiliki balok ANSIS.28 yaitu 1.432,15 kN. Tetapi nilai ini hanya meningkat 0,91 persen dari balok sebelumnya (ANSIS.27) yang hanya dipasang pengaku separuhnya saja. Demikian pula analisis terhadap nilai  $P_{rp}$ . Dengan pertimbangan ini, maka penentuan model terbaik ditentukan oleh nilai persentasi pertambahan terbesar. Hal ini terdapat dalam balok ANSIS.24 yang meningkat 43,99 persen untuk nilai  $P_u$ , dan 43,86 persen untuk nilai  $P_{rp}$ .

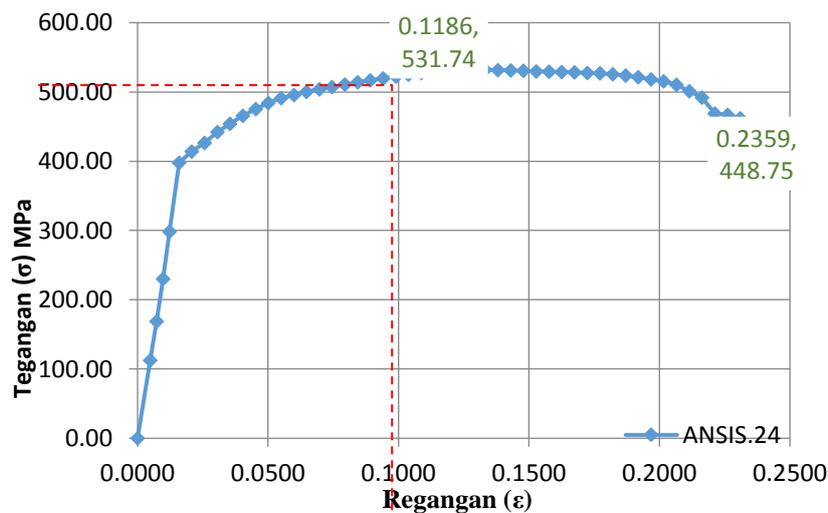
Namun demikian, analisis terhadap tegangan masing-masing elemen penyusun balok menunjukkan keseragaman nilai

keefektifan masing-masing elemen dalam menahan tegangan yang terjadi paling baik terjadi pada model ANSIS.28. Nilai ini adalah nilai pendekatan di mana kehancuran suatu elemen karena tegangan ultimitnya telah tercapai segera diikuti oleh elemen lain yang juga mendekati nilai ultimitnya. Tabel 11 menunjukkan rasio keefektifan tiap elemen balok ANSIS.28 dalam menahan tegangan yang terjadi. Adapun grafik tegangan - tegangan untuk ANSIS.24 dan ANSIS.28 dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7 berikut.

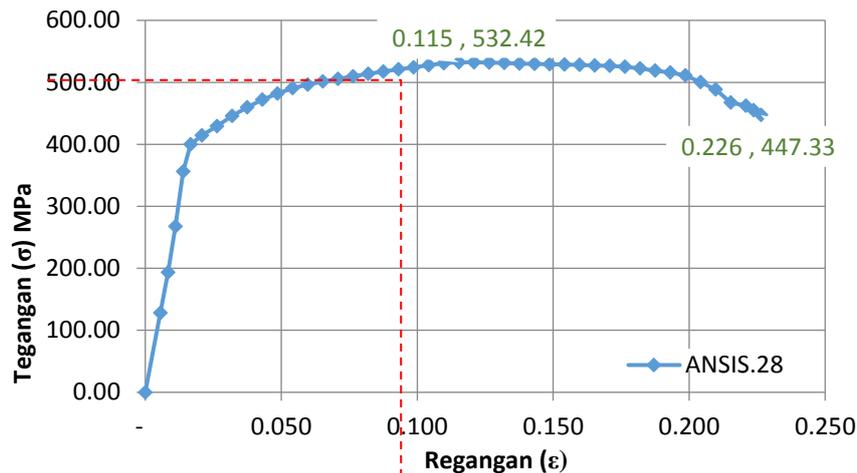
**Tabel 11.** Tegangan Tiap Elemen Model ANSIS.28

No.	Elemen	$f_{maks}$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	Rasio Keefektifan (%)
1	Sayap Atas	566,749	586,000	96,71
2	Badan	423,920	440,000	96,35
3	Sayap Bawah	501,106	586,000	85,51
4	PengakuUtama	438,506	440,000	99,66
5	PengakuSekunder	271,000	440,000	61,59

**Model** ANSIS.28  
 Jarak antar pengaku 437,5 mm  
 $P_{maks}$  1432,15 MPa



**Gambar 6.** Grafik Tegangan-Regangan ANSIS.24



Gambar 7. Grafik Tegangan-Regangan ANSYS.28

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis model FEM menggunakan program ANSYS pada model-model dengan variasi mutu dan ketebalan elemen-elemen balok, serta penambahan pengaku, maka dapat disimpulkan hasil analisis berdasarkan tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Ditinjau dari tegangan, penurunan, dan beban maksimalnya, kekuatan suatu balok meningkat 40 persen setelah diberi pengaku dengan kombinasi mutu dan ketebalan yang sesuai dengan rekomendasi pola-pola pengujian.
2. Sebelum dipasang pengaku, tegangan suatu balok hanya terfokus pada titik-titik kritis yaitu titik tumpuan dan titik pembebanan. Setelah dipasang pengaku maka perilaku tegangan akan menurun karena terdistribusi oleh sekat yang dibuat oleh pengaku. Dengan demikian ternyata penambahan pengaku efektif dalam mencegah *buckling*.
3. Pada kondisi *softening* kenaikan tegangan yang ditinjau dari perubahan nilai beban yang mampu ditahan terjadi secara signifikan yaitu dengan grafik yang tajam, kemudian kelengkungannya menurun hingga tercapai beban maksimal. Selanjutnya tegangan terus menurun drastis secara lengkung pula hingga 8,4 sampai 11,2 persen untuk kemudian menjadi landai mendekati datar. Nilai peralihan dari penurunan drastis menjadi

mendekati datar ternyata masih berada di atas titik tegangan lelehnya.

4. Perilaku penambahan pengaku vertikal terhadap kuat lentur girder *hybrid* profil I adalah peningkatan kekuatan yang besar, walaupun hanya terjadi bila pengaku dipasang pada titik pembebanan dan tumpuan. Ini berarti penambahan pengaku signifikan membantu menaikkan kekuatan.
5. Penambahan pengaku ini hanya bernilai efektif dalam perbandingan spasi antar pengaku tiga kali tinggi balok. Perbandingan efektif ketebalan balok terhadap ketebalan sayap adalah setengahnya. Sedangkan ketebalan pengaku yang efektif adalah sama dengan ketebalan balok. Komposisi mutu *hybrid* bahan pertama terhadap bahan kedua yang efektif diukur berdasar tegangan ultimitnya dibedakan sebesar 30 persen.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Barlat, F. 2012. *Constitutive Modeling for Metals, Alloy Technology and Materials Research Division*, Alcoa Inc., Alcoa Technical Center, 100 Technical Drive, Alcoa Center, PA 15069-0001, USA.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002 *SNI 03-1729-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*, Jakarta.

- Gaylord, E.H. Jr., C.N. Gaylord, J.E. Stallmeyer, 1992, *Design of Steel Structure 3<sup>rd</sup> ed*, McGraw-Hill, Singapore.
- Lew, H.S., A.A. Toprac, 1967, *Static Tests on Hybrid Plate Girders*, Austin, Center for Highway Research, The University of Texas.
- Mangkoesubroto, S.P. 2007, *Bahan Kuliah Struktur Baja*, [www.icfee.info](http://www.icfee.info) (diakses 28 Oktober 2010).
- Sahar, S.S. 2006, *Lateral Stability of Deep-Thin Flanged I-Shaped Beams with Vertical Stiffeners*, HBRC Journal Vol.2 January 2006, Cairo.
- Setiawan, A. 2008, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Tanaka, N., Z. Jian, N. Nakada, K. Akehashi, T. Yomogida, S. Shimizu, and H. Nakai, 2001, *A Design Method of Longitudinal and Transverse Stiffeners in Hybrid Steel Girders*, The Eighth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Nanyang Technological University, Singapore.
- Taufik, S., 2008, *Bahan Kuliah Teori Elastisitas*, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin.
- Taufik, S., 2008, *Behaviour of Bolted Connection with High Strength and Stainless Steel*, PhD Thesis, Swansea University.
- Taufik, S., R.X. Xiao, 2006, *Simplified Finite Element Modelling of Beam-Column Bolted Connections with Shell Elements*, Proceedings of the Eighth International Conference on Computational Structures Technology, Paper 118.
- Vasseghi, A. 2004, *Design Requirements for Plate Girders with Bolted Transverse Stiffeners*, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, I.R. Iran.
- Veljkovic, M., Johansson, B. 2004, *Design of Hybrid Steel Girders*, Division of Steel Structures, Lulea University of Technology, Lulea SE-971 87, Sweden, Elsevier - Journal of Constructional Steel Research 60 2004 535–547.
- Vigh, L.G., L. Dunai, 2005, *Imperfections and Ultimate Behaviour of Multi-Stiffened Welded Plate Girders*, Danubia-Adria.