

ANALISA KAPASITAS SAMBUNGAN KOLOM-BALOK BAJA  
MENGUNAKAN *STIFFENER* PADA BALOK  
DENGAN CBFEM METHOD

Sapta\*, Sari Farlianti\*

\*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas IBA, Jalan Mayor Ruslan, Kota Palembang, Provinsi Sumatera Selatan, Indonesia

\*Email: [saptaanwary@gmail.com](mailto:saptaanwary@gmail.com)

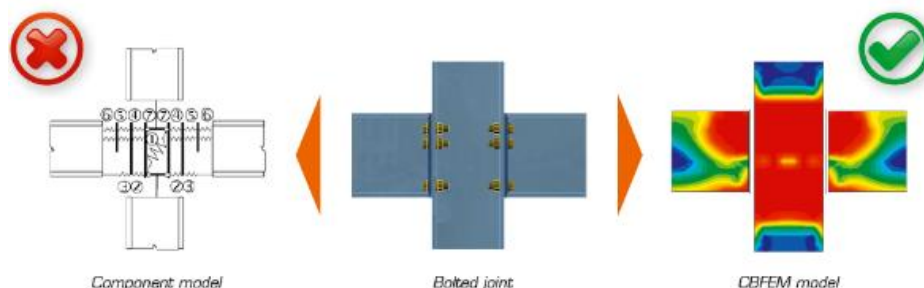
ABSTRAK

CBFEM *method* adalah metode analisa *finite element* untuk menganalisa sambungan kolom-balok dengan memodelkan elemen sambungan secara detail dan presisi, dimana setiap elemen (*plates and bolts*) pada sambungan dihasilkan analisa tersendiri dengan FEA. Pada artikel ini disajikan hasil analisa kapasitas sambungan kolom-balok (sambungan baut) berdasarkan AISC 360-16 (ANSI/AISC 360, 2016) menggunakan CBFEM *method* dengan program bantu yaitu *software IDEA Statica 2.1*. Penentuan elemen-elemen sambungan (dimensi dan ukuran) menggunakan ketentuan dalam ANSI/AISC 358 “*prequalified connections for special and intermediate frame for seismic applications*”. Dari hasil analisa yang dilakukan dengan *software IDEA Statica 2.1*, didapatkan bahwa dengan menggunakan *stiffener* dapat mengurangi tegangan-regangan yang terjadi pada *web* balok, akan tetapi meningkatkan tegangan dan regangan yang terjadi pada *top flange* dan *bottom flange*. Untuk kapasitas sambungan tidak menimbulkan peningkatan yang signifikan.

Kata kunci : CBFEM method, *stiffener*, *web*, *flange*, *vertical bracket*

1. PENDAHULUAN

Dalam perencanaan struktur khususnya pada sambungan kolom-balok (*beam-column joints*) dengan menggunakan metode standar perencanaan yang berlaku seperti SNI 1729, AISC 360, EN 1993-1-8 dan lain sebagainya, memiliki kelemahan dalam menganalisa gaya dalam dan tegangan yang terjadi didalam sambungan akibat beban yang bekerja pada sambungan tersebut, dalam standar peraturan tersebut pada dasarnya hanya menghasilkan kapasitas yang diizinkan sampai dengan batas lelehnya, sebagai solusinya agar dapat menganalisa melampaui batas lelehnya diperlukan analisa lanjutan dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Telah banyak *software FEA* yang secara khusus untuk menganalisa sambungan kolom-balok dengan metode CBFEM (*Column-Beams Finite Element Method*). Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 1, dimana analisa sambungan (*joint*) tidak dimodelkan sebagai komponen-komponen untuk dianalisa akan tetapi dimodelkan satu kesatuan dengan CBFEM model.



Gambar 1. Pemodelan sambungan baut (*bolted joint*)

CBFEM *method* adalah metode analisa *finite element* untuk menganalisa sambungan kolom-balok dengan memodelkan elemen sambungan secara detail dan presisi, dimana setiap elemen (*plates and bolts*) pada sambungan dihasilkan analisa tersendiri dengan FEA.

Pada artikel ini disajikan hasil analisa kapasitas sambungan kolom-balok (sambungan baut) berdasarkan AISC 360-16 (ANSI/AISC 360, 2016) menggunakan CBFEM *method* dengan program bantu yaitu *software IDEA Statica 21.0*.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan untuk menganalisa kapasitas sambungan ini yaitu dengan memodelkan sambungan sebagaimana terlihat pada Gambar 2, kemudian menghitung kapasitas sambungan dengan menggunakan CBFEM *Method* dengan *software IDEA Statica 21.0*.

### 2.1. Data Material

Material poperties yang digunakan pada penelitian ini dapat di jelas sebagai berikut:

- a) Kolom, Balok dan pelat (*end plate, stiffner, bracket*)

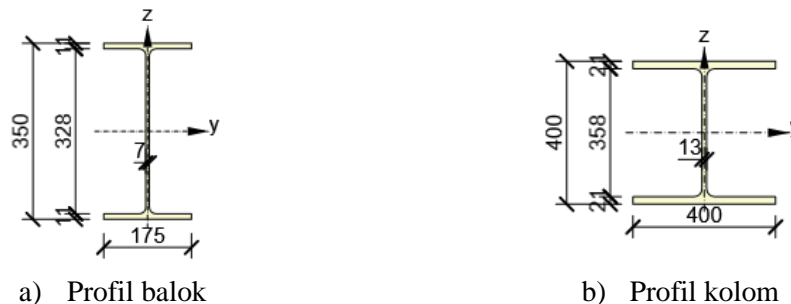
Berat jenis,	$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3$
Modulud elastisitas,	$E = 200.000 \text{ MPa}$
Voison rasio,	$\nu = 0,3$
Modulus geser,	$G = 76923,1 \text{ MPa}$
Kuat leleh,	$f_y = 245 \text{ MPa}$
Kuat putus,	$f_u = 400 \text{ MPa}$
Elongation,	$\epsilon_b = 0,05 \text{ (5\%)}$

- b) Baut A325M

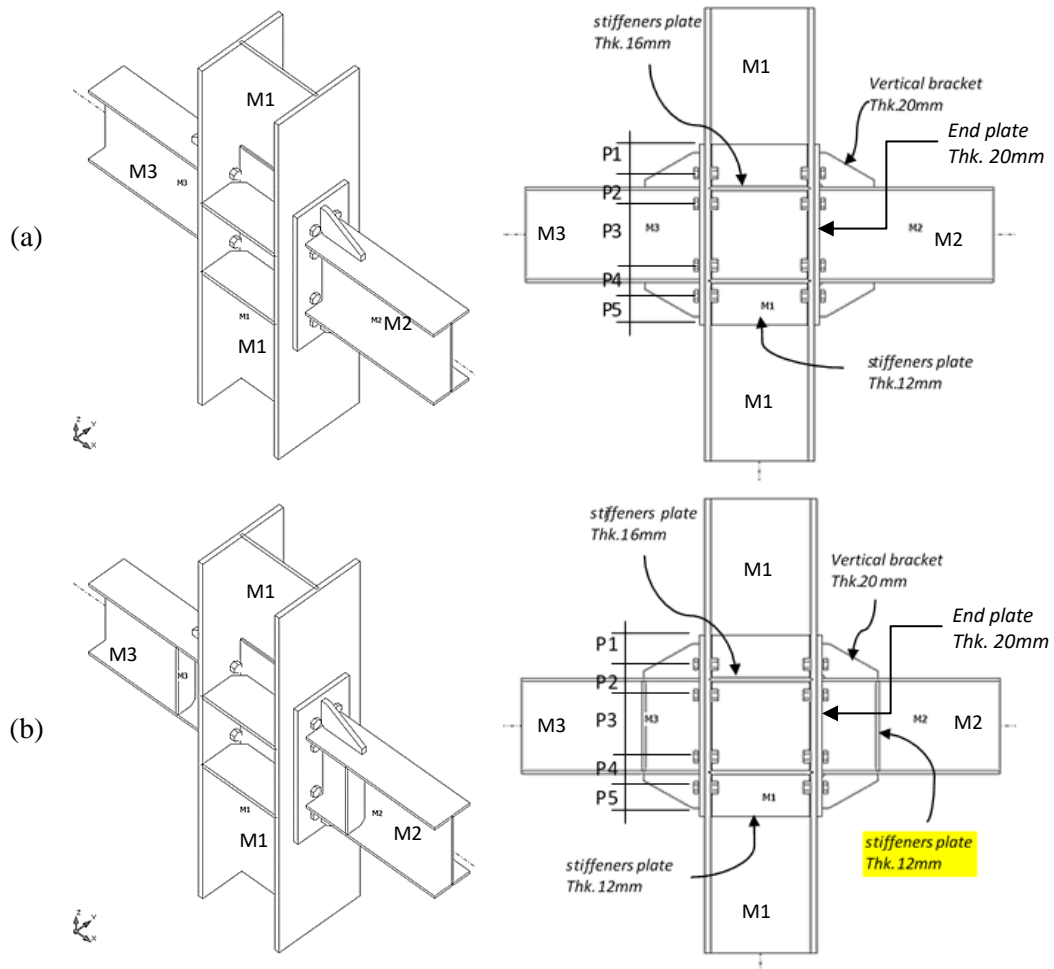
Berat jenis	$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3$
Modulud elastisitas,	$E = 210.000 \text{ MPa}$
Voison rasio,	$\nu = 0,3$
Modulus geser,	$G = 80769,2 \text{ MPa}$
Kuat leleh,	$f_{yb} = 634,3 \text{ MPa}$
Kuat putus,	$f_{ub} = 827,4 \text{ MPa}$
Elongation,	$\epsilon_b = 0,14$

### 2.2. Data sambungan

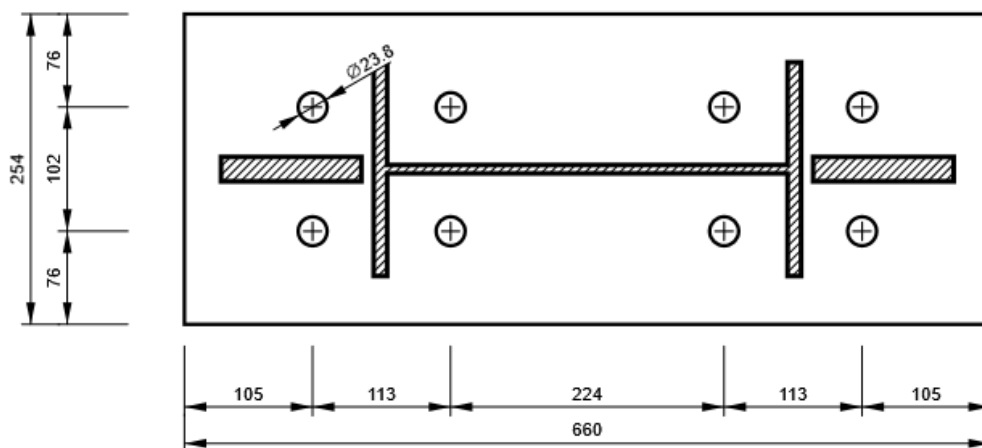
Pada penelitian ini digunakan dua model sambungan sebagaimana terlihat pada Gambar 2: tipe sambungan satu tanpa menggunakan *stiffener* pada badan balok (Gambar 1a), dan tipe sambungan dua dengan menggunakan *stiffener* pada badan balok di ujung *vertical bracket* (Gambar 1b). Profil balok dan kolom dapat dilihat pada Gambar 2, data-data sambungan seperti dimensi dan ukuran dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.



**Gambar 2.** Penampang melintang balok dan kolom



**Gambar 3.** Dua sambungan baut (*bolted joints*): a) sambungan tanpa *stiffener* pada balok (J1); b) sambungan dengan *stiffener* pada balok (J2)



**Gambar 4.** Dimensi pelat ujung (*end plate*)

**Tabel 1**

Dimensi penampang balok dan kolom

Nama penampang	Dimensi Penampang			
	h (mm)	b (mm)	tf (mm)	tw (mm)
Kolom (M1)	400	400	21	13
Balok (M2)	350	175	11	7
Balok (M3)	300	175	11	7

Keterangan:

h = tinggi profil                      b = lebar profil  
tf = tebal sayap                        tw = tebal badan

**Tabel 2**Data *stiffeners* pada balok

Tipe sambungan	Dimensi			
	h <sub>a</sub> (mm)	w <sub>a</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)	chamfer (mm)
J1	-	-	-	-
J2	328	84	12	20

Keterangan:

h<sub>a</sub> = tinggi *stiffener*  
w<sub>a</sub> = lebar *stiffener*  
t<sub>a</sub> = tebal *stiffener*

**Tabel 3**Data *vertical bracket* pada balok

Tipe sambungan	Dimensi			
	h <sub>vb</sub> (mm)	w <sub>vb</sub> (mm)	chamfer (mm)	t <sub>vb</sub> (mm)
J1	200	125	25	20
J2	200	125	25	20

Keterangan:

h<sub>vb</sub> = panjang bracket  
w<sub>vb</sub> = tinggi bracket  
t<sub>vb</sub> = tebal vertikal bracket

**Tabel 4**Data *end plate* dan *bolts hole*

Tipe sambungan	Dimensi								
	h <sub>p</sub> (mm)	b <sub>p</sub> (mm)	t <sub>p</sub> (mm)	d <sub>b</sub> (mm)	e (mm)	p <sub>1</sub> =p <sub>5</sub> (mm)	p <sub>2</sub> =p <sub>4</sub> (mm)	p <sub>3</sub> (mm)	
J1	660	254	20	23,8	102	105	113	224	
J2	660	254	20	23,8	102	105	113	224	

Keterangan:

hp = tinggi pelat ujung                      bp = lebar pelat ujung  
tp = tebal pelat ujung                        db = diameter lobang baut  
e = jarak baris baut

### 2.3. Konsep perencanaan sambungan

Struktur pada bangunan terdiri dari sistem balok, kolom dan sambungan pemikul momen, di mana kemampuan sambungan dalam menerima beban bolak-balik (siklik) akibat gempa akan menentukan kinerja struktur (Muslinang, 2014).

Kemampuan sambungan sebagai alat sambung elemen pemikul beban gempa harus dibuktikan melalui salah satu metode berikut (Muslinang, 2014),

- 1) Uji kualifikasi terhadap benda uji yang mempresentasikan sambungan yang didesain:
  - Melakukan uji siklik sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku
  - Menggunakan hasil uji dari laporan penelitian yang dilakukan
- 2) Menggunakan ketentuan dalam:
  - ANSI/AISC 358 –“*prequalified connections for special and intermediate frame for seismic applications*”

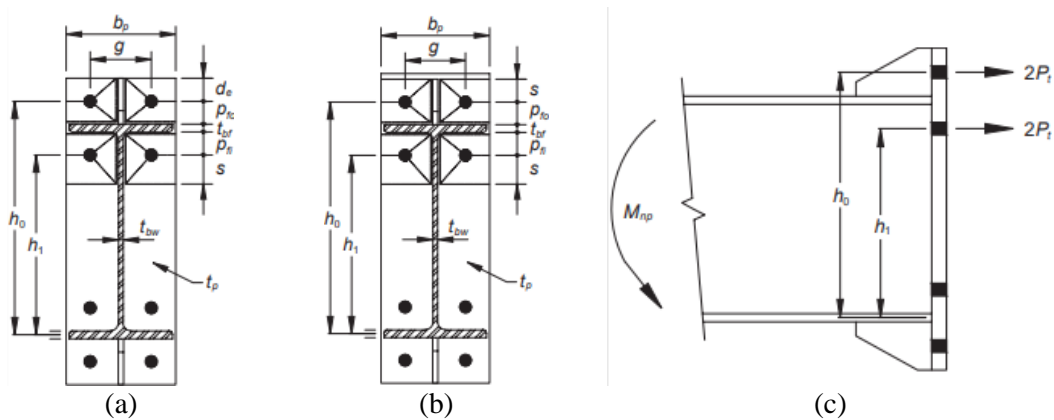
Pada kasus ini menggunakan ketentuan dalam ANSI/AISC 358 –“*prequalified connections for special and intermediate frame for seismic applications*”, yaitu *Four-bolt stiffened*, dengan batasan tertera pada Tabel 5 dan Gambar 5.

**Tabel 5**  
*Parametric limitations on prequalification*

Parameter	Four-bolt unstiffened (4E)		Four-bolt stiffened (4ES)		Eight-bolt Stiffened (8ES)	
	Maximum (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Minimum (mm)
$t_{bf}$	19	10	19	10	25	14
$b_{bf}$	235	152	229	152	311	190
$d$	1400	349	610	349	914	457
$t_p$	57	13	38	13	64	19
$b_p$	273	178	273	178	381	229
$g$	152	102	152	83	152	127
$p_{fi}, p_{fo}$	114	38	140	44	51	41
$p_b$	-	-	-	-	95	89

Keterangan:

- $b_{bf}$  = lebar flange balok (mm)
- $d$  = tinggi balok (mm)
- $t_{bf}$  = tebal flange balok (mm)
- $p_b$  = jarak vertikal antar baut bagian dalam dan luar dalam baris untuk sambungan 8ES (mm)
- $p_{fi}$  = jarak vertikal as baut terdekat terhadap sisi dalam flange yang mengalami tegangan tarik (mm)
- $p_{fo}$  = jarak vertikal as baut terdekat terhadap sisi luas flange yang mengalami tegangan tarik (mm)
- $b_p$  = lebar end-plate (mm)
- $g$  = jarak horizontal antar baut (mm)
- $t_p$  = tebal pelat ujung (mm)



**Gambar 5.** Summary of four-bolt extended stiffened end-plate yield line mechanism parameter: a) case 1 ( $d_e \leq s$ ), b) case 1 ( $d_e > s$ ), (c) bolt force model

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tegangan dan regangan pada sambungan J1

Dari analisa dengan menggunakan *Idea Statica* dengan pembebanan momen sebesar 279,8 kN.m (100%), 349,75 kN (125%), 419,70 kN.m (150%) didapatkan nilai tegangan ekuivalen dan regangan plastis seperti tertera pada Tabel 5.

Tabel 6

Tegangan ekuivalen-regangan plastis elemen balok M2 pada sambungan J1

Elemen sambungan tanpa <i>stiffener</i> pada balok (J1)	Beban 100%		Beban 125%		Beban 150%	
	$\sigma_{Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{pl}$ (%)	$\sigma_{Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{pl}$ (%)	$\sigma_{Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{pl}$ (%)
<i>Web</i>	<b>256,40</b>	<b>18,00</b>	<b>328,90</b>	<b>54,20</b>	<b>403,80</b>	<b>91,50</b>
<i>Top flange</i>	234,50	7,00	249,20	14,30	280,40	29,90
<i>Bottom flange</i>	234,10	6,80	248,10	13,80	280,20	29,80
<i>Top vertikal bracket</i>	221,10	0,30	252,80	16,10	303,60	41,50
<i>Bottom vertikal bracket</i>	222,00	0,80	255,70	17,60	307,00	43,20
<i>Stiffener beam</i>	-	-	-	-	-	-

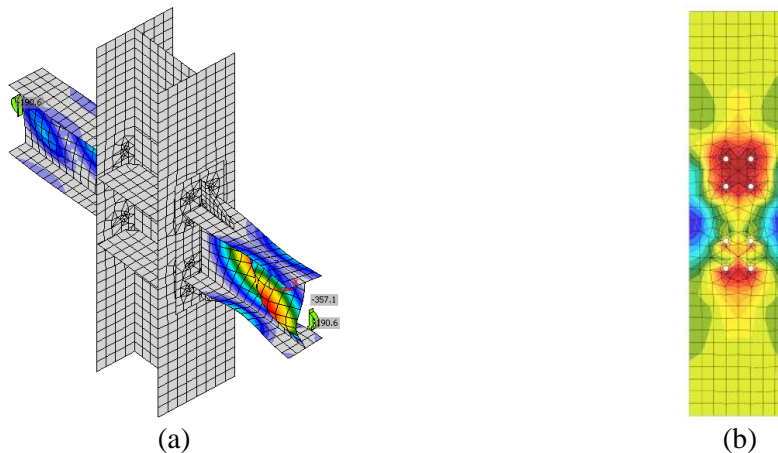
Pada Tabel 6 terlihat nilai tegangan ekuivalen-regangan plastis pada balok (M2) terbesar terjadi pelat pada *web*, secara visual dapat dilihat pada Gambar 6 dominan warna merah. Salah satu penyebabnya adalah terjadinya tekuk lokal pada *web* (lihat Gambar 6a).

Tabel 7

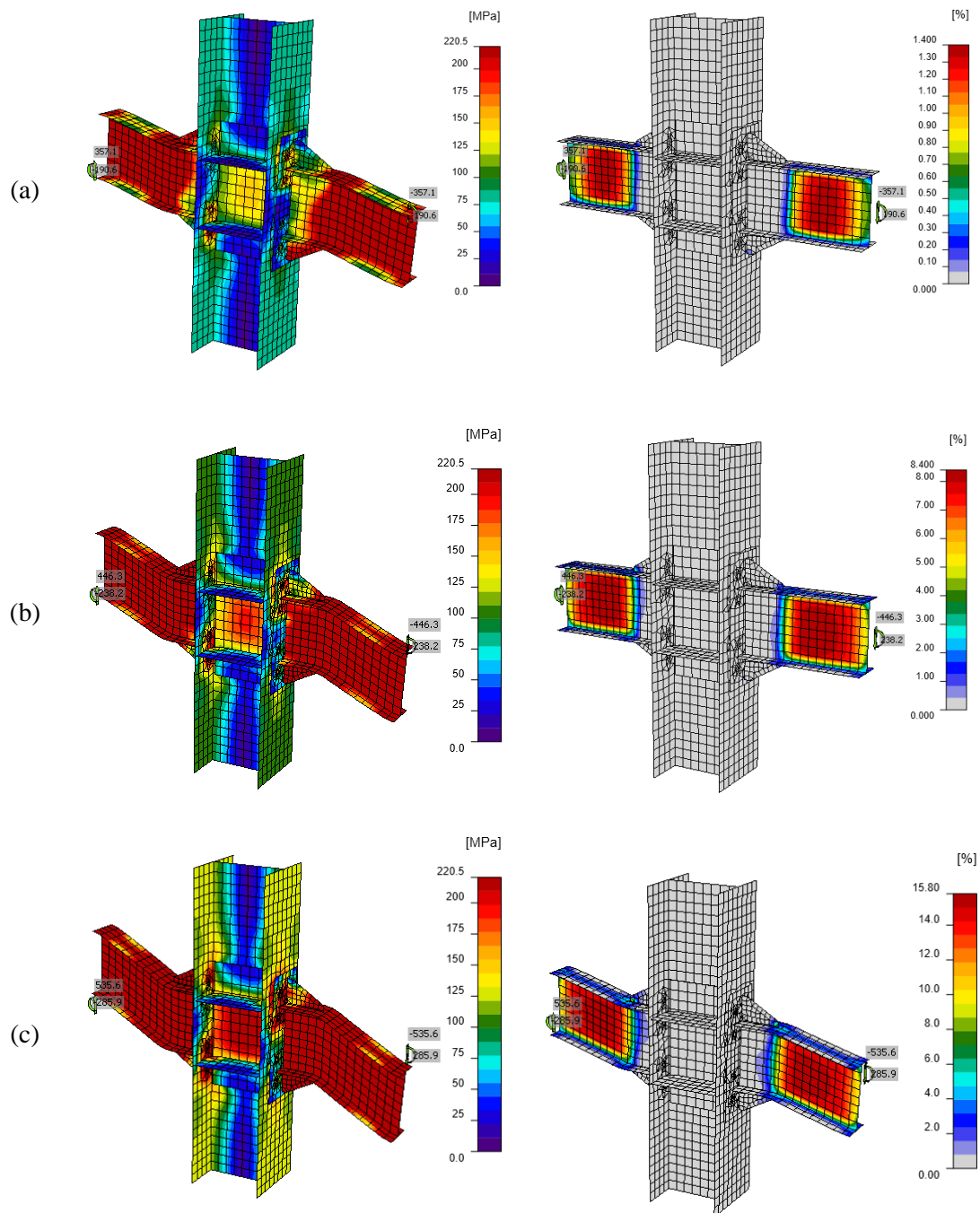
Tegangan ekuivalen-regangan plastis pada kolom (M1) sambungan J1

Elemen sambungan tanpa <i>stiffener</i> pada balok (J1)	Beban 100%		Beban 125%		Beban 150%	
	$\sigma_{Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{pl}$ (%)	$\sigma_{Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{pl}$ (%)	$\sigma_{Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{pl}$ (%)
<i>Web</i>	<b>122,80</b>	<b>0,00</b>	<b>156,20</b>	<b>0,00</b>	<b>189,80</b>	<b>0,00</b>
<i>Flange</i>	220,80	0,10	221,00	0,30	221,70	0,60
<i>Web stiffener</i>	133,70	0,00	170,10	0,00	207,60	0,00
<i>Flange stiffener</i>	142,10	0,00	185,90	0,00	220,50	0,00

Berbeda dengan balok pada Tabel 7 terlihat nilai tegangan ekuivalen dan regangan plastis terbesar terjadi pada kolom. Secara visual dapat dilihat pada Gambar 7. Besarnya tegangan-regangan pada *flange*, salah satu penyebabnya adalah terjadinya konsentrasi tegangan pada lobang baut akibat melenturnya balok (lihat Gambar 6b).

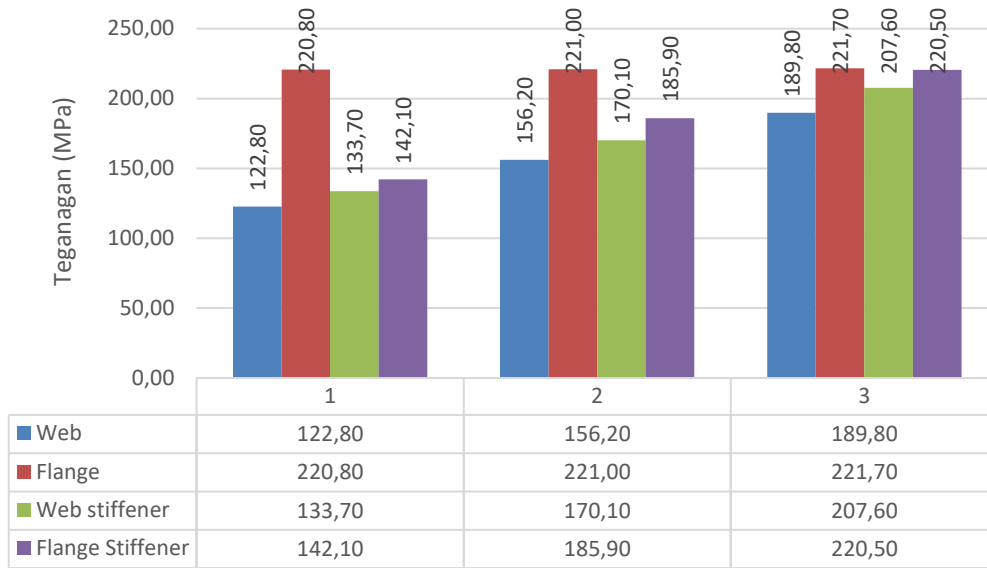


Gambar 6. Sambungan J1: a) Tekuk lokal pada *web*, b) konsentrasi tegangan pada lobang baut



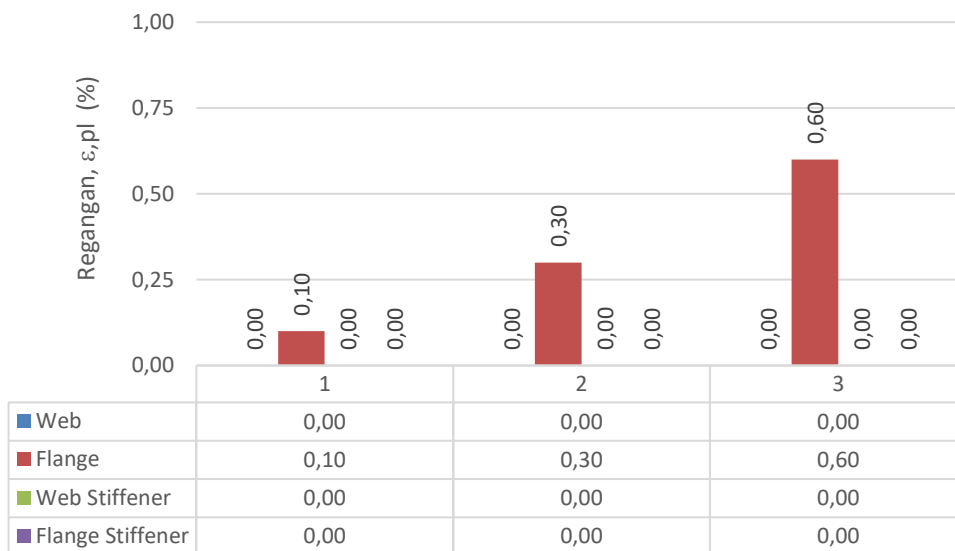
**Gambar 7.** *Equivalent stress dan plastic strain pada sambungan J1: a) tegangan ekuivalen-regangan plastis pada pembebanan 100%, b) tegangan ekuivalen-regangan plastis pada pembebanan 125%, c) tegangan ekuivalen-regangan plastis pada pembebanan 150%,*

A. Tegangan ekuivalen-regangan plastis pada kolom (sambungan J1)



Gambar 8. Grafik tegangan ekuivalen yang terjadi pada kolom sambungan J1

Pada saat pembebanan 100%, tegangan ekuivalen terkonsentrasi pada *flange*, ini disebabkan *flange* kolom terhubung langsung pada *end plate*, pada saat beban dinaikan sampai dengan 150%, tegangan ekuivalen naik 0,41% pada *flange*, dan terlihat konsentrasi tegangan terdistribusi ke seluruh elemen kolom (*web* dan *stiffener*).

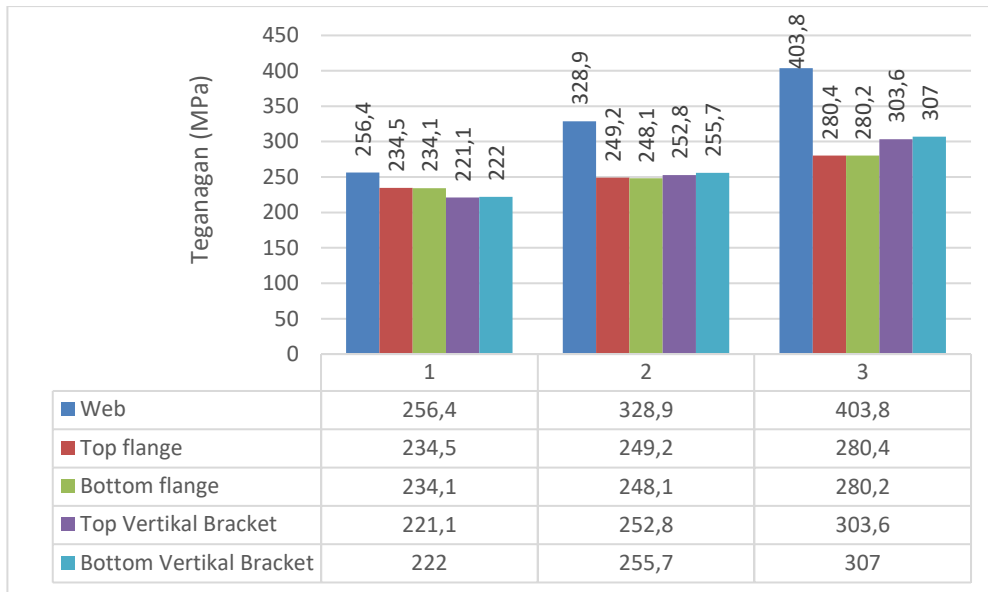


Gambar 9. Grafik regangan plastis yang terjadi pada kolom sambungan J1

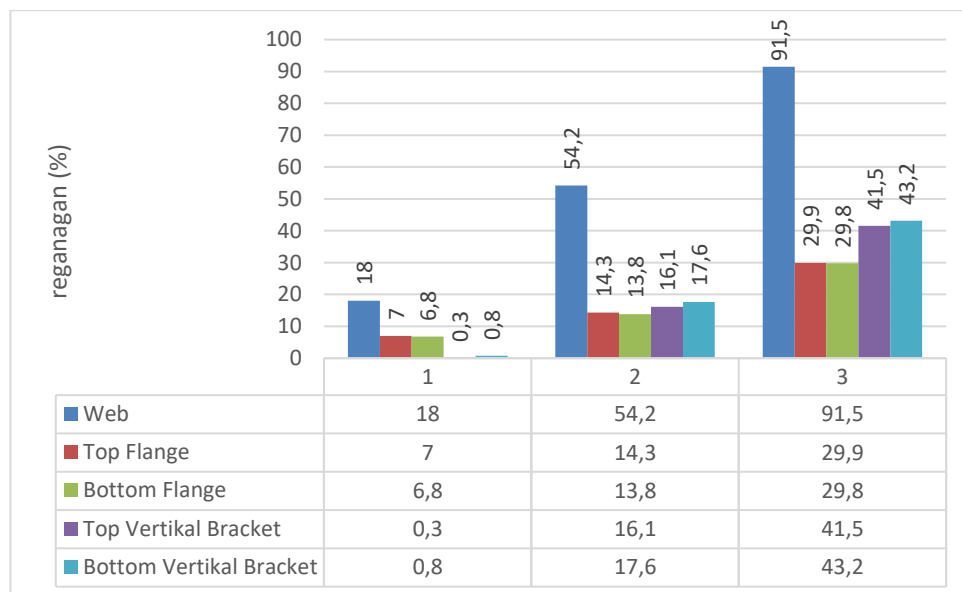
Sedangkan untuk regangan plastis pada pembebanan 100% sampai dengan 150%, tetap terkonsentrasi pada *flange* ( $\epsilon, pl < 5\%$ ).



B. Tegangan ekuivalen-regangan plastis pada balok (sambungan J1)



Gambar 10. Grafik tegangan ekuivalen yang terjadi pada balok sambungan J1



Gambar 11. Grafik regangan plastis yang terjadi pada balok sambungan J1

Terlihat pada Gambar 10 dan 11, tegangan ekuivalen terkonsentrasi pada pelat *web*, di mana tegangan naik 1,57 kali terhadap tegangan awal, sebanding dengan naiknya pembebanan 150%, sedangkan untuk regangan plastis terjadi kenaikan 18,3 kali.

### 3.2. Tegangan-regangan pada sambungan J2

Dengan metode yang sama dengan memberikan pembebanan sebesar 279,8 kN.m (100%), 349,75 kN (125%), 419,70 kN.m (150%) didapatkan nilai tegangan dan regangan seperti tertera pada Tabel 8.

**Tabel 8**

Tegangan ekuivalen-regangan plastis balok (M2) sambungan J2

Elemen sambungan tanpa <i>stiffener</i> pada balok (J2)	Beban 100%		Beban 125%		Beban 150%	
	$\sigma_{,Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{,pl}$ (%)	$\sigma_{,Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{,pl}$ (%)	$\sigma_{,Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{,pl}$ (%)
<i>Web</i>	<b>256,30</b>	<b>17,90</b>	<b>327,80</b>	<b>53,60</b>	<b>400,10</b>	<b>89,70</b>
<i>Top flange</i>	235,00	7,20	266,00	22,70	307,00	43,20
<i>Bottom flange</i>	234,80	7,10	264,70	22,10	303,00	41,20
<i>Top vertikal bracket</i>	204,10	0,00	221,20	0,40	239,40	9,50
<i>Bottom vertikal bracket</i>	221,10	0,30	223,70	1,60	248,10	13,80
<i>Stiffener beam</i>	134,10	0,00	221,10	0,30	226,60	3,10

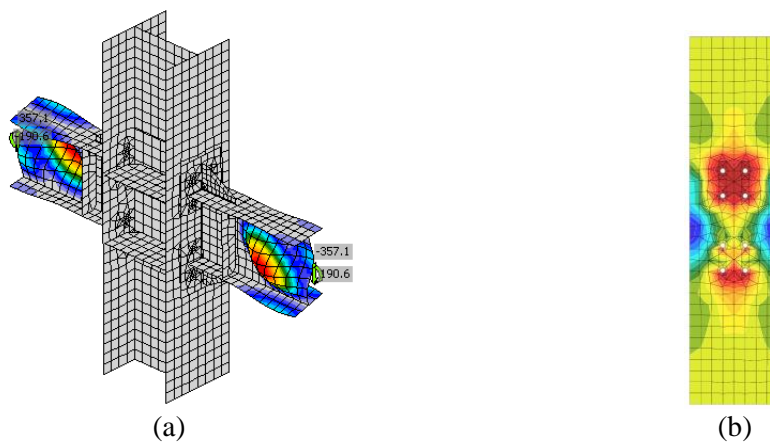
Pada Tabel 8 terlihat nilai tegangan ekuivalen-regangan plastis pada balok (M2) sambungan J2 terbesar terjadi pelat pada *web*, sama seperti pada sambungan J1, secara visual tegangan dan regangan yang terjadi pada sambungan J2, dapat dilihat pada Gambar 13 dominan warna merah pada *web*, salah satu penyebabnya adalah terjadinya tekuk lokal pada *web* (lihat Gambar 12a).

**Tabel 9**

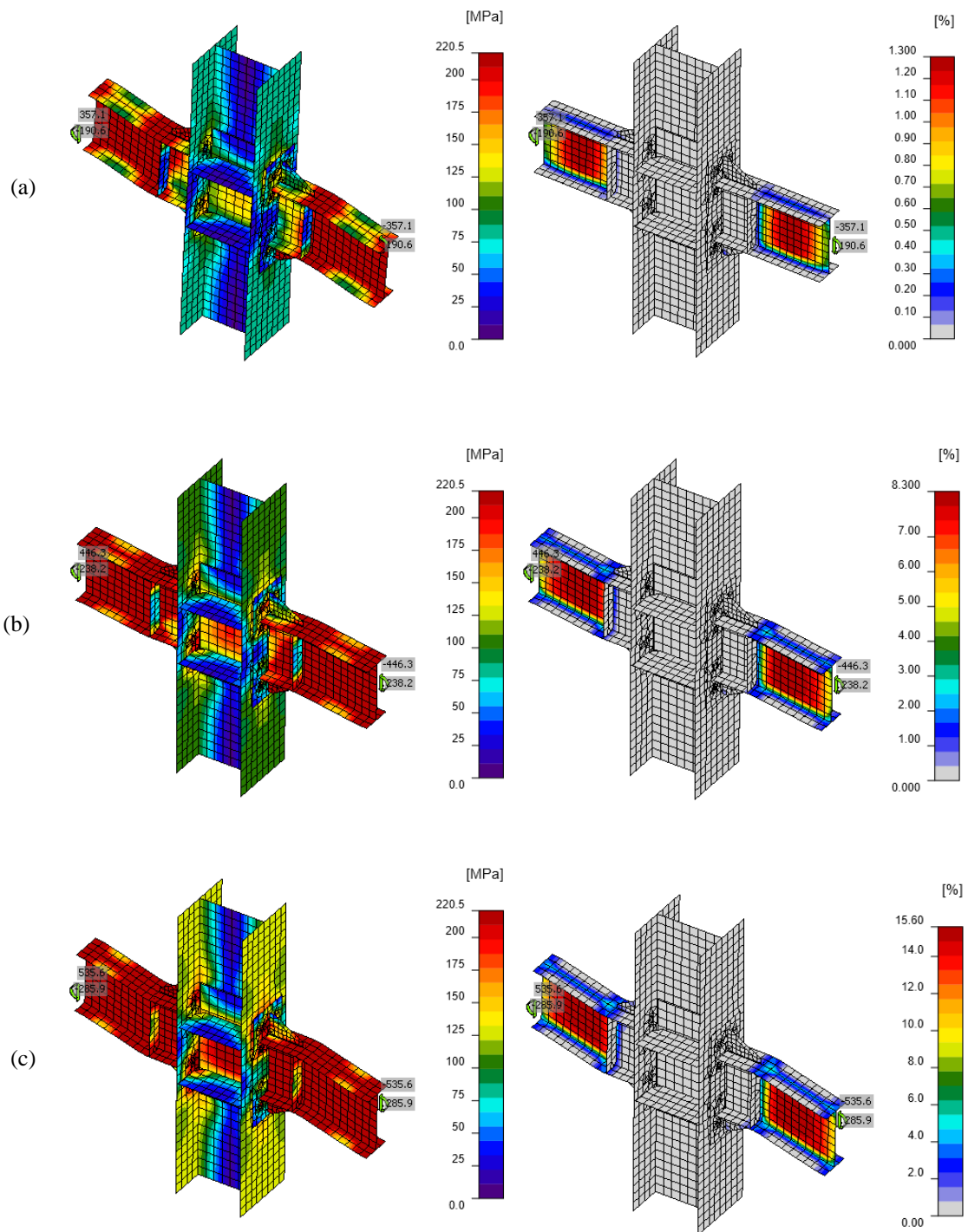
Tegangan ekuivalen-regangan plastis kolom (M1) pada sambungan J2

Elemen sambungan tanpa <i>stiffener</i> pada balok (J1)	Beban 100%		Beban 125%		Beban 150%	
	$\sigma_{,Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{,pl}$ (%)	$\sigma_{,Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{,pl}$ (%)	$\sigma_{,Ed}$ (MPa)	$\epsilon_{,pl}$ (%)
<i>Web</i>	<b>122,10</b>	<b>0,00</b>	<b>154,10</b>	<b>0,00</b>	<b>189,90</b>	<b>0,00</b>
<i>Flange</i>	220,80	0,10	221,10	0,20	221,60	0,50
<i>Web stiffener</i>	131,00	0,00	167,40	0,00	207,40	0,00
<i>Flange stiffener</i>	137,60	0,00	174,20	0,00	220,50	0,00

Nilai tegangan dan regangan tertera pada Tabel 9 merupakan tegangan ekuivalen-regangan plastis yang terjadi pada kolom pada sambungan J2. Terlihat nilai tegangan terbesar pada kolom terjadi pada pelat *flange*, salah satu penyebabnya adalah terjadinya konsentrasi tegangan pada lobang baut (lihat Gambar 12b).

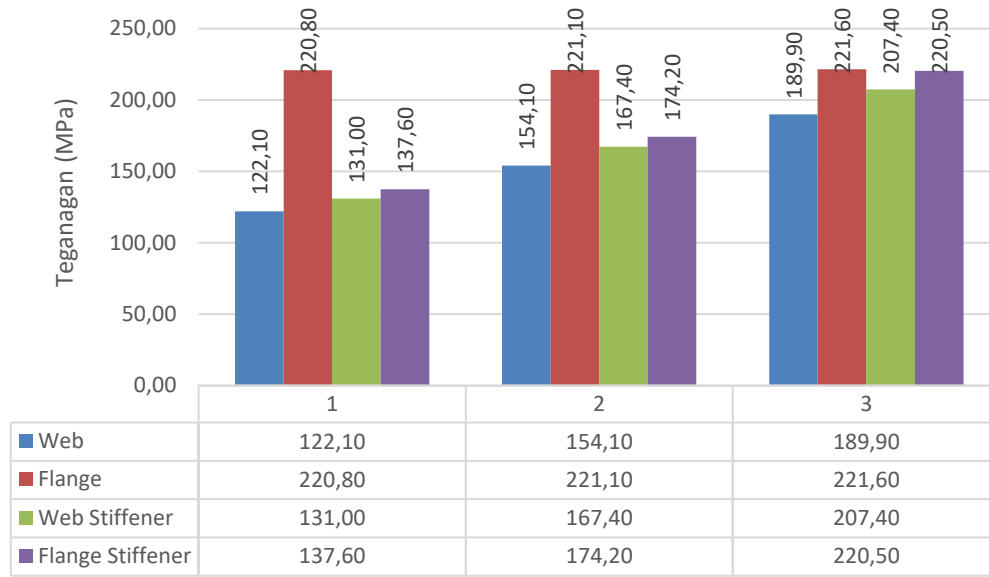


**Gambar 12.** Sambungan J2: a) Tekuk lokal pada *web* dengan *stiffener*, b) konsentrasi tegangan pada lobang baut.



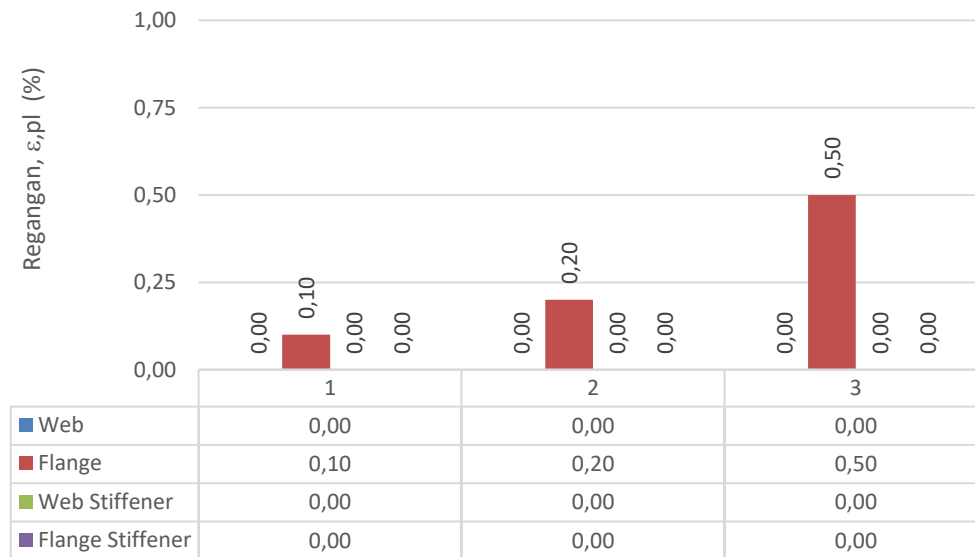
**Gambar 13.** *Equivalent stress dan plastic strain pada sambungan J2: a) tegangan ekuivalen-regangan plastis pada pembebanan 100%, b) tegangan ekuivalen-regangan plastis pada pembebanan 125%, c) tegangan ekuivalen-regangan plastis pada pembebanan 150%,*

A. Tegangan ekivalen-regangan plastis pada kolom (sambungan J2)



Gambar 14. Tegangan yang terjadi pada kolom pada kolom tanpa stiffener pada balok

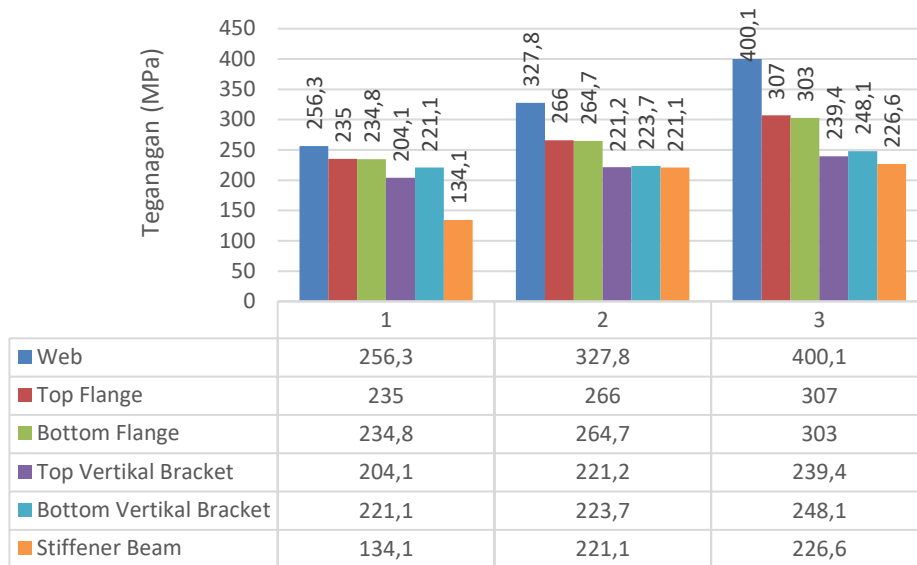
Pada saat pembebanan 100%, tegangan ekivalen terkonsentrasi pada *flange*, ini disebabkan *flange* kolom terhubung langsung pada *end plate*, pada saat beban dinaikan sampai dengan 150%, tegangan ekivalen naik 0,36% pada *flange*, dan juga terlihat konsentrasi tegangan hampir terbagi rata ke seluruh elemen kolom.



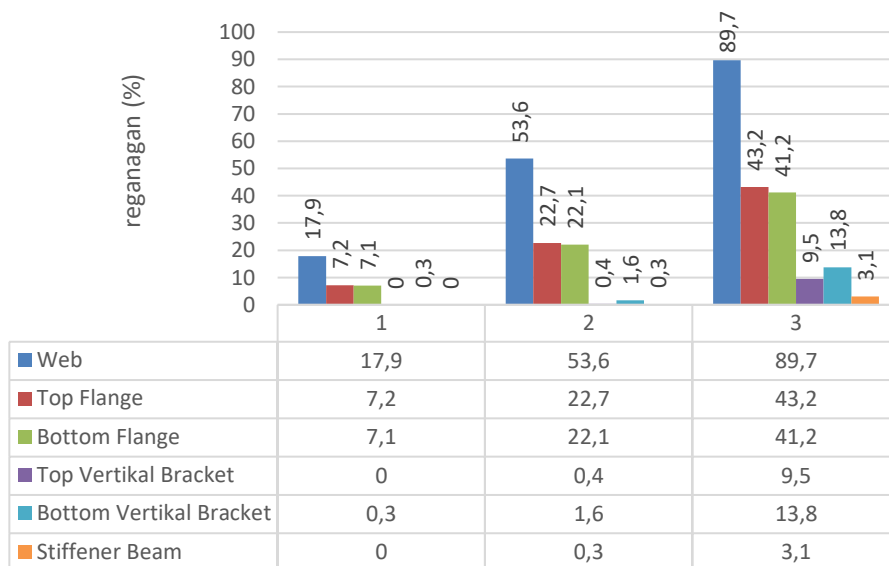
Gambar 15. Regangan yang terjadi pada kolom pada kolom tanpa stiffener pada balok

Sedangkan untuk regangan plastis pada pembebanan 100% sampai dengan 125%, tetap terkonsentrasi pada *flange* ( $\epsilon_{pl} < 5\%$ ), pada saat pembebanan 150% pelat *web* mengalami regangan plastis sebesar regangan yang terjadi pada *flange*, nilainya kurang dari 5%. Menunjukkan bahwa dengan penambahan stiffener pada balok tidak begitu berpengaruh signifikan pada elemen kolom.

B. Tegangan ekivalen-regangan plastis pada balok (sambungan J2)



Gambar 16. Grafik tegangan ekivalen yang terjadi pada balok sambungan J2



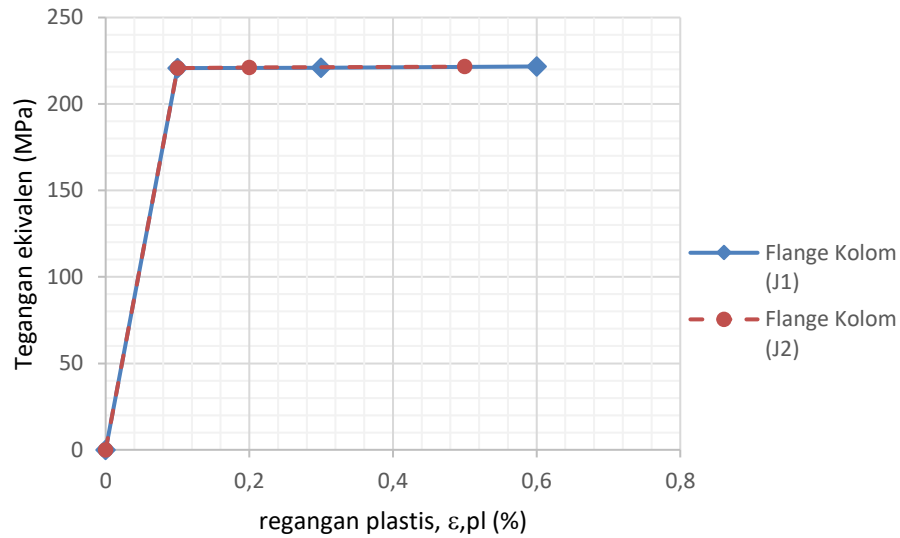
Gambar 17. Grafik regangan plastis yang terjadi pada balok sambungan J2

Terlihat pada Gambar 16 dan 17, tegangan ekivalen terkonsentrasi pada *web*, akan tetapi tegangan ekivalen belum mencapai tegangan putus 400 MPa dan lebih rendah 0,65% (2,6 MPa) dari sambungan J1, sedangkan untuk regangan plastis turun 1,9% (0,3 ) dari sambungan J1.

3.3. Kapasitas Sambungan

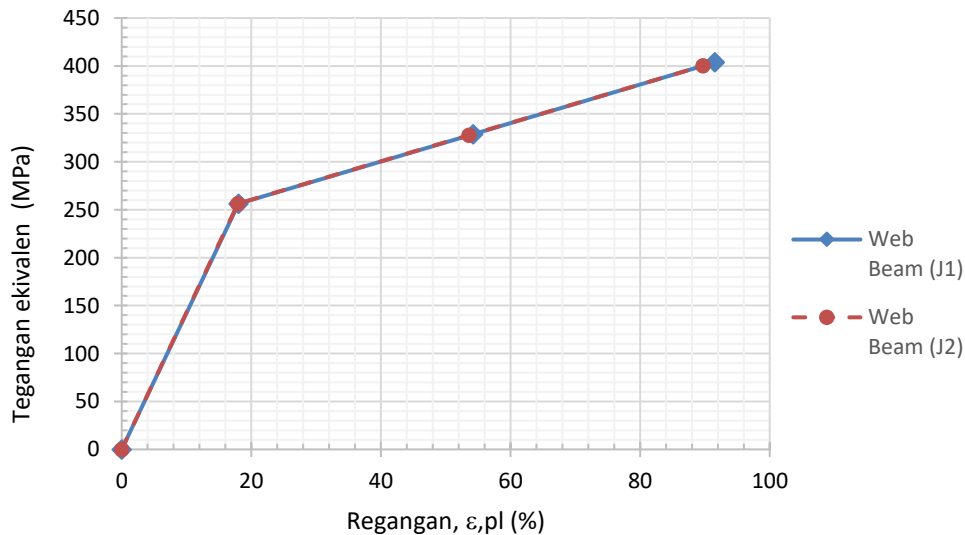
Kapasitas sambungan ditentukan berdasarkan elemen sambungan yang memiliki kapasitas terkecil, elemen sambungan yang dimaksud adalah profil balok, profil kolom, pelat ujung, *stiffener*, *vertical bracket*, sambungan las dan baut. Pada kasus ini untuk *stiffener*, *vertikal*

bracket, dan alat penyambung yaitu las dan baut telah direncanakan lebih kuat dari profil balok dan kolom, sehingga pada pemeriksaan kapasitas tidak menentukan.



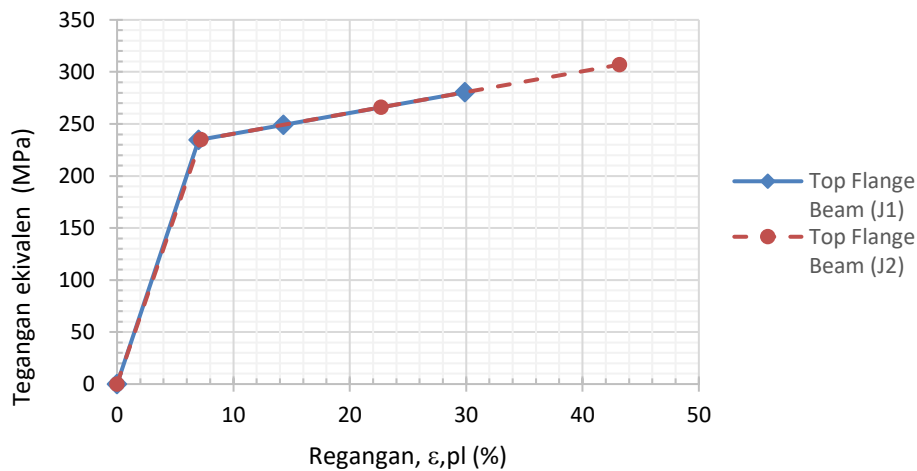
**Gambar 18.** Kurva hubungan tegangan ekuivalen dan regangan plastis (*flange kolom*)

Terlihat pada Gambar 18 kurva hubungan tegangan ekuivalen dan regangan plastis berhimpit satu sama lain, ini mengindikasikan bahwa dengan adanya penambahan pelat *stiffener* pada balok tidak berpengaruh signifikan terhadap kapasitas tegangan kolom, akan tetapi terjadi penurunan regangan plastis sebesar 0,1%.

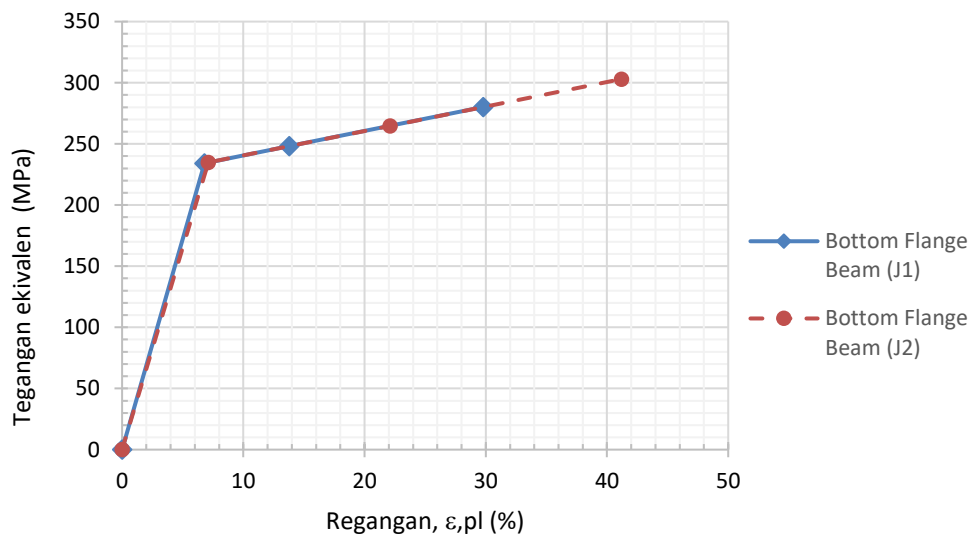


**Gambar 19.** Kurva hubungan tegangan ekuivalen dan regangan plastis pada *web* balok

Terlihat pada Gambar 19 kurva hubungan tegangan ekuivalen dan regangan plastis berhimpit satu sama lain, ini mengindikasikan bahwa dengan adanya penambahan pelat *stiffener* pada balok tidak berpengaruh signifikan terhadap kapasitas *web* balok akan tetapi mengurangi tegangan ekuivalen 0,92% dan regangan plastis 1,8% pada *web* balok.



Gambar 20. Kurva hubungan tegangan ekuivalen dan regangan plastis pada *flange* balok



Gambar 21. Kurva hubungan tegangan ekuivalen dan regangan plastis (*flange* balok)

Lihat dari kurva pada Gambar 20 dan 21, dengan adanya penambahan *stiffener* pada balok meningkatkan tegangan dan regangan pada *flange* (*top* dan *bottom*) pada balok, kondisi ini mengindikasikan dengan adanya penambahan *stiffener* pada balok akan mengurangi tegangan-regangan pada *web* dan akan meningkatkan tegangan-regangan pada *top flange* dan *bottom flange* balok.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan, bahwa dengan adanya penambahan *stiffener* pada balok mengakibatkan beberapa kondisi sebagai berikut:

- 1) Tidak mempengaruhi kapasitas tegangan pada kolom
- 2) Mengurangi tegangan-regangan yang terjadi pada *web* balok
- 3) Meningkatkan tegangan-regangan yang terjadi pada *top flange* dan *bottom flange*

**DAFTAR PUSTAKA**

- ANSI/AISC 360-2016 (2016), Specification for Structural Steel Buildings; AISC Committee on Specifications, 130 East Randolph Street, Suite 2000, Chicago, Illinois 60601-6204 <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16-spec-and-commentary.pdf> / diakses 22 Juni 2021
- ANSI/AISC 358-2016 (2016), *prequalified connections for special and intermediate frame for seismic applications*, 130 East Randolph Street, Suite 2000, Chicago, Illinois 60601-6204 <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a358-18w.pdf> / diakses 22 Juni 2021
- Dewobroto, W. (2016), Struktur Baja-Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Edisi ke-2, ISBN: 978-979-1053-05-1, Jurusan Teknik Sipil UPH, Kampus UPH, Lippo Karawaci, Tangerang.
- IDEA STATICA 21.0 (2020), *Theoretical Backround-CBFEM versus AISC 360, Developed bay IDEA StatiCa, Software Copyright 2010-2021.*
- Muslinang, M. (2014), Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa, ISBN: 978-602-8605-09-0, *Short Course HAKI 2014*, Hotel Borobudur, Jakarta