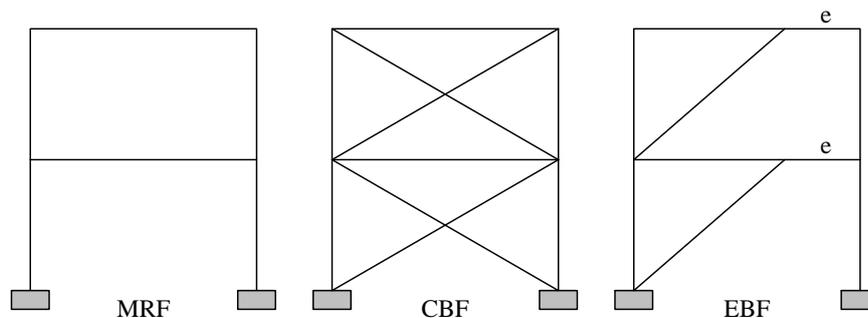


KAJIAN NUMERIK PERILAKU LINK PANJANG DENGAN PENGAKU DIAGONAL BADAN PADA SISTEM RANGKA BAJA BERPENGAKU EKSENTRIS

Nidiasari, Bambang Budiono

1 PENDAHULUAN

Baja merupakan alternatif bangunan tahan gempa yang sangat baik. Jika dibandingkan dengan struktur beton, baja dinilai memiliki sifat daktilitas yang dapat dimanfaatkan pada saat struktur memikul beban akibat gempa. Gempa Northridge pada tahun 1994 dan Kobe pada tahun 1995 menunjukkan bahwa material baja tidak serta – merta membuat struktur menjadi daktil. Untuk menjamin struktur bersifat daktil, maka selain daktilitas material (baja) maka hal lain yang tidak dapat diabaikan adalah menjamin sambungan agar tidak gagal pada saat terjadi gempa. Desain sistem portal baja untuk bangunan tahan gempa yang telah dikembangkan yaitu Moment-Resisting Frames (MRF), Concentrically Braced Frames (CBF) serta Eccentrically Braced Frames (EBF). Konfigurasi ketiga sistem portal baja untuk bangunan tahan gempa diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Sistem portal baja struktur tahan gempa

Desain struktur rangka baja dengan konsep *Momen Resisting Frames (MRF)* memiliki kapasitas energy disipasi cukup baik terhadap kebutuhan daktilitas struktur, namun penggunaan konsep ini mengharuskan penggunaan elemen struktur yang besar dan mahal agar persyaratan *drift* pada struktur dapat dipenuhi. Pada sistem *Concentrically Braced Frames (CBF)*, batasan *drift* dapat dipenuhi dengan lebih mudah namun tidak memberikan mekanisme yang stabil untuk memberikan energi disipasi yang baik. Karena keterbatasan pada kedua system tersebut, maka berkembang sistem ketiga yaitu *Eccentrically Braced Frames (EBF)*. Pada sistem EBF, penopang diagonal (*diagonal braces*) didisain eksentris terhadap joint kolom. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode ini memberikan kombinasi kekuatan dan kekakuan dari system CBF dalam kondisi inelastik dengan kapasitas energi disipasi dari system MRF.

Elemen yang sangat penting dalam desain EBF adalah bagian yang terletak antara *joint* pengaku diagonal dengan *joint* kolom-balok yang disebut dengan elemen *link*. Element

link merupakan elemen yang diharapkan sebagai elemen yang menyerap energi gempa dan mengalami proses plastifikasi pada bagian elemen yang rusak tersebut sebagai sarana pemencaran energi, hal ini dikarenakan area plastis tersebut memiliki rentang regangan energi yang begitu besar untuk bisa dimanfaatkan.

Penelitian tentang link yang banyak dilakukan sampai saat ini baik secara eksperimental maupun analitis didominasi oleh link geser. Hal ini disebabkan karena link geser memperlihatkan perilaku yang baik dalam hal kekakuan, kekuatan dan energi disipasi. Sehingga dalam desain lebih direkomendasikan penggunaan link geser pada *Eccentrically Braced Frames (EBF)*. Namun deformasi pada link pendek ditandai dengan sudut deformasi yang besar yang erat kaitannya dengan *drift* yang terjadi pada struktur dan berpotensi menyebabkan kerusakan terhadap elemen-elemen non-struktural. Pada sisi lain, link panjang terbukti mempunyai sudut deformasi yang lebih kecil dari link pendek, tetapi mempunyai tingkat daktilitas yang lebih rendah. Dilihat dari segi arsitektural pemasangan link yang lebih panjang akan memberikan ruang yang lebih luas untuk dimanfaatkan sebagai area bukaan seperti pintu dan jendela.

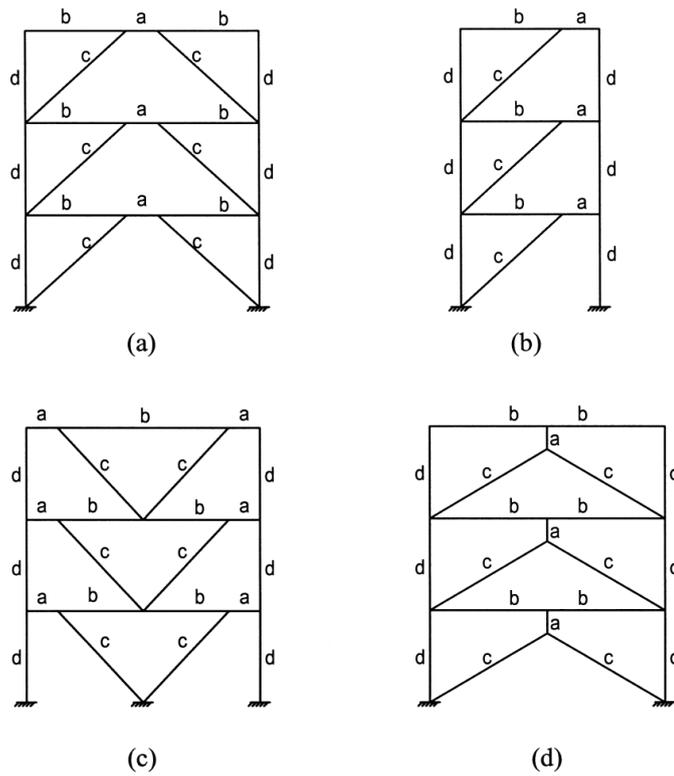
2 ECCENTRICALLY BRACED FRAME

Karakteristik yang membedakan EBF dengan desain struktur tahan gempa MRF dan CBF adalah adanya penghubung yang terdapat pada setidaknya salah satu ujung dari bracing yang disebut sebagai link. Link berfungsi sebagai sekering (*fuse*) yang membatasi distribusi gaya pada bracing dan elemen struktur lainnya sehingga struktur stabil dan perilaku histerisis akibat beban siklik dapat diramalkan. Konfigurasi sistem EBF dan lokasi link pada beberapa system portal baja diperlihatkan pada Gambar 2. (Engelhart dan Popov, 1989, 1992).

Penelitian berkelanjutan pada Struktur Rangka Baja Eksentrik atau *Eccentrically Braced Frames (EBF)* mulai berkembang pada pertengahan tahun 1970-an. Kemudian berlanjut dengan dibangunnya struktur dengan konsep desain EBF sebagai bagian dari desain bangunan tahan gempa untuk pertama kalinya pada awal tahun 1980. Hingga saat ini system EBF dinilai sebagai sistem yang paling efektif dalam menahan gaya gempa lateral. (Engelhart dan Popov, 1989).

2.1 Elemen Link

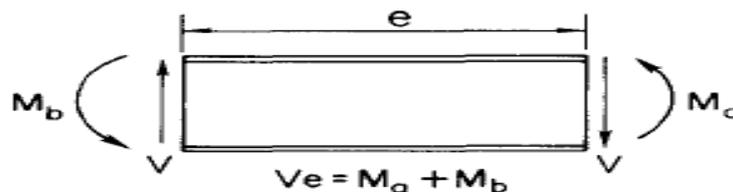
Pada desain EBF, kondisi inelastik dibawah pembebanan siklik dibatasi hanya terjadi pada link, dengan desain dan detailing yang menyebabkan link mampu menahan deformasi yang besar tanpa kehilangan kekuatan. Link berperan sebagai *ductile fuse*, mendisipasi energi sepanjang perilaku histerisis yang stabil dan membatasi gaya terhadap *brace*, kolom dan balok diluar link. Dengan membuat elemen link sebagai elemen yang terlemah dari struktur, pelaku desain (*designer*) dapat memastikan kelelahan muncul pada elemen link dan menjaga tidak terjadi kegagalan pada elemen *non-ductile* seperti tekuk pada *brace* (Engelhart dan Popov, 1989).

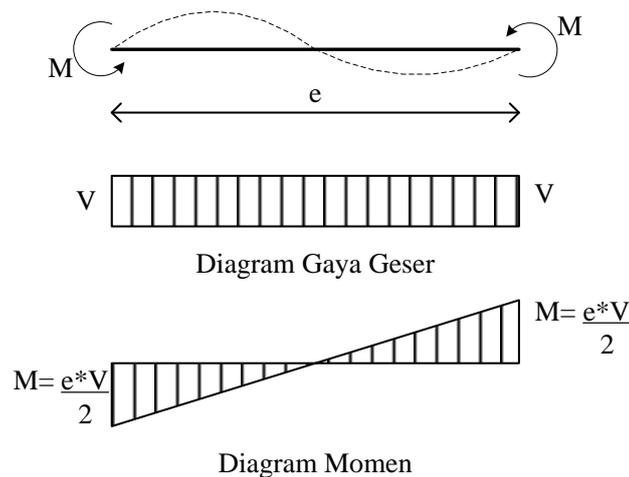


a = Link
 b = beam segment outside of Link
 c = diagonal brace
 d = column

Gambar 2 Konfigurasi link pada beberapa sistem portal (AISC, 2005)

Link berperilaku sebagai balok pendek dengan gaya geser yang bekerja berlawanan arah pada kedua ujungnya. Karena adanya gaya geser yang bekerja pada kedua ujung balok, maka momen yang dihasilkan pada kedua ujung balok mempunyai besar dan arah yang sama. Deformasi yang dihasilkan berbentuk S dengan titik balik pada tengah bentang dan besarnya momen yang bekerja adalah sebesar 0.5 kali besar gaya geser dikali dengan panjang link. Plastifikasi yang terjadi pada suatu elemen link disebabkan karena kedua gaya tersebut. Gambaran gaya yang bekerja pada elemen link diperlihatkan pada Gambar 3.





Gambar 3 Gaya yang bekerja pada link
(Engelhart dan Popov, 1988 ;R. Becker dan M. Ishler, 1996)

2.2 Perencanaan Elemen Link

Sesuai dengan fungsinya sebagai sekering (*fuse*) yang mendisipasikan energi lewat mekanisme sendi plastik (*fully plastic hinge mechanism*) maka link tidak boleh mengalami tekuk elastik dan tekuk inelastik (*partially plastic buckling*) sebelum kapasitas rotasi sendi plastik yang disyaratkan dalam peraturan tercapai. Oleh karena itu dalam pemilihan penampang link yang akan dipakai sesuai dengan modulus elastisitas (E) dan mutu baja yang dipakai (f_y) telah ditetapkan batasan kelangsingan yang harus dipenuhi sesuai dengan peraturan yang berlaku. Setelah terpenuhinya syarat kelangsingan suatu profil link yang dipilih dalam disain maka tahapan selanjutnya yang harus di perhitungkan adalah syarat panjang tekuk elastik dan inelastik dari link.

Pengecekan kapasitas geser plastis pada link dilakukan sesuai dengan rumus (1) dan (2) :

$$V_p = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \tag{1}$$

$$A_w = t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f) = t_w \cdot h_w \tag{2}$$

dimana :

- A_w = Luas efektif pelat badan
- t_w = Tebal pelat badan
- t_f = Tebal pelat sayap
- h = Tinggi profil

Perumusan diatas berlaku langsung apabila nilai efek dari gaya aksial berfaktor (P_u) yang terjadi pada elemen link dalam kondisi $P_u \leq 0.15 P_y$, sedangkan apabila kondisi yang terpenuhi adalah $P_u > 0.15 P_y$ maka persyaratan tambahan yang harus dipenuhi sesuai dengan ketentuan pada peraturan yang berlaku.

Tahapan selanjutnya adalah penentuan apakah link termasuk jenis link geser atau link lentur berdasarkan perbandingan antara momen plastis (M_p) dengan geser plastis (V_p). Momen plastis (M_p) dirumuskan sebagai berikut :

$$M_p = F_y \cdot Z \quad (3)$$

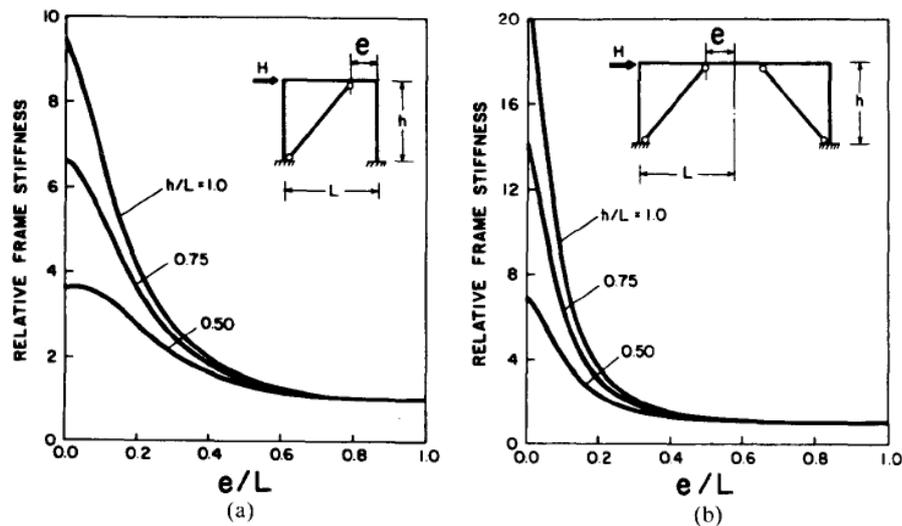
dimana :

- F_y = Tegangan leleh baja
- Z = Modulus palstik baja

Panjang link yang disyaratkan (e_{all}) disesuaikan dengan klasifikasi link berdasarkan perbedaan panjang berdasarkan AISC, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (2005).

2.3 Pengaruh Panjang Link

Link merupakan elemen kritis yang berpengaruh terhadap perilaku inelastik pada desain EBF. Perilaku inelastik pada link dipengaruhi oleh panjangnya. Mekanisme kelelahan link, kapasitas energi disipasi dan mode kegagalan sangat erat hubungannya dengan faktor panjang dari link. Untuk link pendek, perilaku inelastik dominan terhadap gaya geser, sebaliknya untuk link panjang perilaku inelastik didominasi oleh lentur. Untuk link antara (*intermediate* link), kelelahan dipengaruhi oleh geser dan lentur. (R. Becker dan M. Ishler, 1996).



Gambar 4 Variasi kekakuan elastic terhadap variasi e/L pada dua konfigurasi EBF. (Engelhart dan Popov, 1988)

Kekakuan link juga sangat dipengaruhi oleh faktor panjang link. Link panjang memiliki kekakuan yang lebih rendah dari link pendek. Gambar 4. (a) dan (b) memperlihatkan bahwa link dengan rasio $e/L = 0$ memiliki kekakuan yang tinggi sesuai dengan konsep desain CBF, sedangkan link dengan rasio $e/L = 1$ memiliki kekakuan elastis yang rendah

sesuai dengan konsep desain MRF. Agar kekakuan dan deformasi inelastik link tidak berlebihan, maka panjang link harus dibatasi (Engelhart dan Popov, 1988).

Kapasitas rotasi dan penempatan pengaku antara (intermediate stiffeners) pada link juga tergantung pada panjang link seperti yang diperlihatkan pada table 1. Klasifikasi link berdasarkan perbedaan panjang berdasarkan AISC, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* adalah sebagai berikut. (AISC, 2005):

- a. Link geser murni, $e \leq 1.6 M_p/V_p$
Kelelahan pada link jenis ini didominasi oleh geser.
- b. Link dominan geser, $1.6 M_p/V_p \leq e \leq 2.6 M_p/V_p$
Kelelahan pada link jenis ini merupakan kombinasi antara geser dan lentur
- c. Link dominan lentur $2.6 M_p/V_p < e \leq 5 M_p/V_p$
Kelelahan pada link jenis ini merupakan kombinasi antara geser dan lentur
- d. Link lentur murni $e \geq 5 M_p/V_p$
Kelelahan pada link jenis ini didominasi oleh lentur

2.4 Mode Keruntuhan Link

Semakin pendek link, maka semakin besar pengaruh gaya geser terhadap perilaku inelastik. Kelelahan geser terjadi seragam sepanjang link. Untuk link yang sangat pendek gaya geser link mencapai kapasitas geser plastis $V_p = 0.6.d.t_w.F_y$, sebelum momen ujung mencapai momen plastis $M_p = Z_x.F_y$, dan link leleh akibat geser membentuk sebuah sendi geser. Link geser mempunyai sifat sangat daktil dengan kapasitas inelastik yang melebihi kapasitas geser badan, sehingga kegagalan *buckling* terjadi pada *web*.(Yurisman, 2010)

Untuk link yang lebih panjang, momen ujung mencapai M_p membentuk sendi-sendi lentur sebelum terjadinya kelelahan geser. Mekanisme keruntuhan yang terjadi pada link panjang disebabkan karena deformasi lentur yang menyebabkan terjadinya kegagalan yang merupakan kombinasi dari terjadinya *buckling* pada sayap (*flens*), *compression buckling* pada badan (*web*) dan/atau *lateral torsional buckling*. Sebagai tambahan, akibat regangan yang sangat besar pada kedua ujung link maka besar kemungkinan terjadinya fracture pada sambungan las ujung pada saat terjadi mode keruntuhan batas (*the ultimate failure mode*).

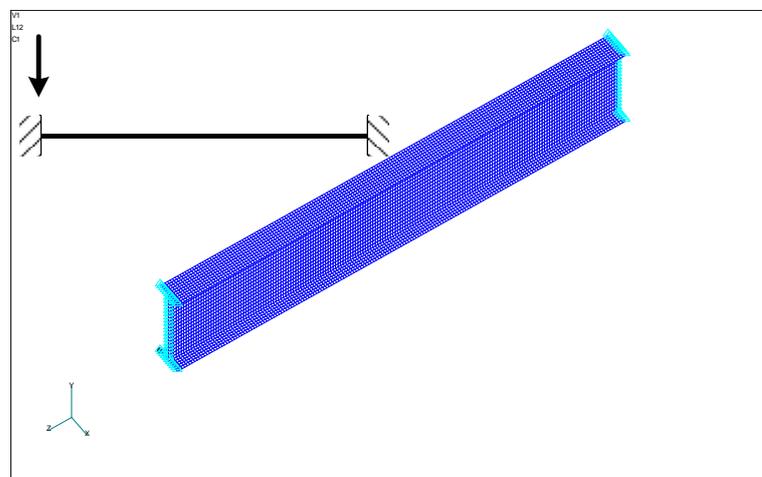
Tabel 1 Klasifikasi jarak pengaku antara (*intermediate stiffener*) dan kapasitas rotasi link. (AISC, 2005)

No	Panjang Link	Jenis Link	Rotasi	Jarak Pengaku Maximum
1	$e \leq 1.6 \frac{M_P}{V_P}$	Geser murni	0.08	$30.t_w - d/5$
			< 0.02	$52.t_w - d/5$
2	$1.6 \frac{M_P}{V_P} < e \leq 2.6 \frac{M_P}{V_P}$	Dominan geser		1 dan 3 dipenuhi
3	$2.6 \frac{M_P}{V_P} < e \leq 5 \frac{M_P}{V_P}$	Dominan lentur	0.02	$1.5 b_f$ dari tiap ujung link
4	$e > 5 \frac{M_P}{V_P}$	Lentur murni		Tidak memerlukan pengaku antara

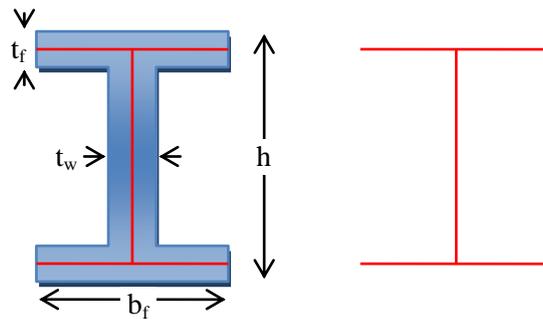
3 PEMODELAN NUMERIK

Elemen Link pada rangka baja berpengaku eksentrik pada dasarnya adalah merupakan balok yang menahan momen, gaya geser atau gaya aksial. Untuk mempelajari perilaku elemen tersebut dilakukan pemisahan dari rangka induknya (*subassembly*) dan dalam analisisnya dianggap sebagai balok tunggal.

Program berbasis elemen hingga MSC/ NASTRAN digunakan untuk memodelkan elemen link. Link dimodelkan sebagai elemen *shell* yang memiliki empat nodal dan masing – masing nodal memiliki enam derajat kebebasan. Sebagai pendekatan terhadap gaya – gaya yang bekerja pada link, maka pada salah satu ujung link dimodelkan sebagai elemen yang terjepit (terdiri atas enam derajat kebebasan) sedangkan pada ujung lainnya dimodelkan sebagai elemen yang terjepit tapi diberi kebebasan untuk bergerak dalam arah transversal (terdiri atas lima derajat kebebasan).



Gambar 5 Pemodelan *finite element* link



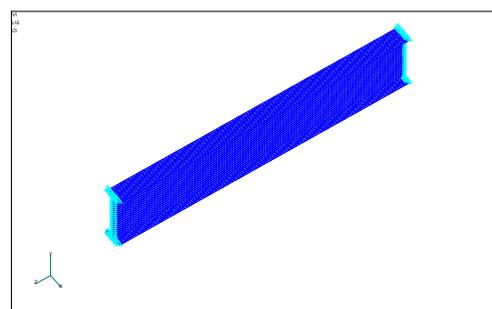
Gambar 6 Pemodelan geometri link

Profil yang digunakan dalam penelitian ini adalah profil I 200.100.5,5.8 dengan data tegangan leleh, $\sigma_y = 240$ MPa dan modulus elastisitas, $E = 200000$ MPa. Fungsi material yang digunakan dalam analisis sama untuk setiap bagian sayap (*flens*), badan (*web*), pengaku badan (*web stiffener*) maupun pada bagian pengaku diagonal (*diagonal stiffener*). Adapun ketebalan pengaku badan (*web stiffener*) dan pengaku diagonal (*diagonal stiffener*) adalah 10 mm dan kedua jenis pengaku tersebut dipasang pada kedua sisi link. Geometri link diambil berdasarkan *centerline* dari profil seperti diperlihatkan pada Gambar 6 dan panjang link yang dianalisa adalah 1800 mm.

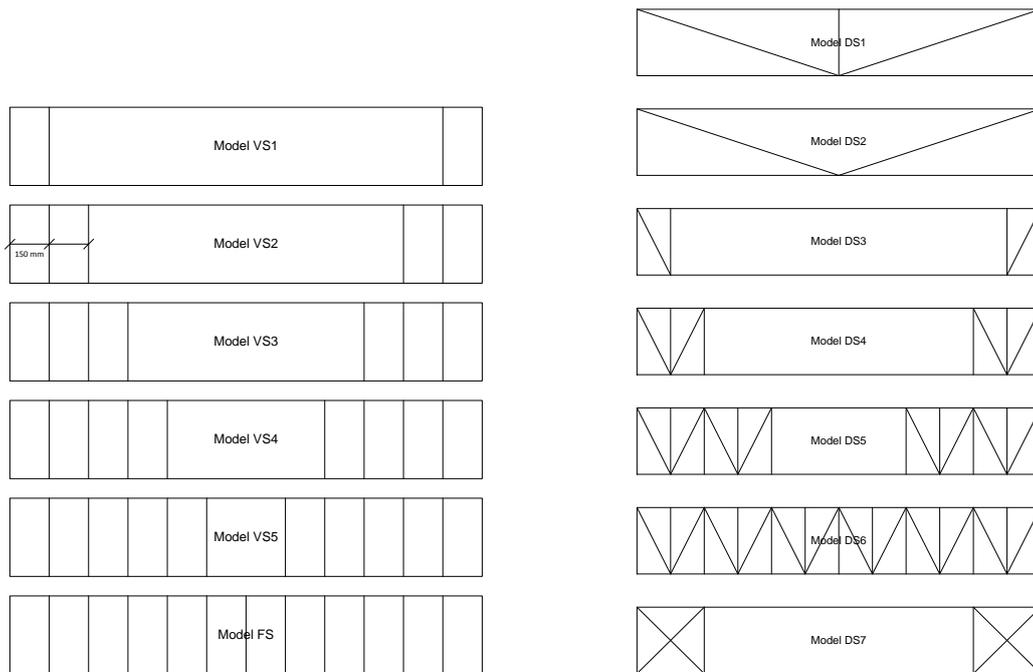
Link diberi pembebanan siklik dengan control displacement untuk mendapatkan kurva *hysteresis*.. Siklus pembebanan yang dilakukan pada penelitian ini diadopsi dari ketentuan AISC 2005 namun dengan modifikasi setiap rotasi hanya dilakukan 1 siklus pembebanan untuk mengatasi keterbatasan waktu dan kemampuan software melakukan iterasi. Dalam analisis siklus maksimum yang dapat diterima oleh link dibatasi hanya sampai siklus 7 yaitu pada $\gamma_{total} = 0.03$ radian dengan perpindahan sebesar ± 54 mm.

4 ANALISIS

Pemodelan link panjang dilakukan dengan membandingkan kinerja dan perilaku link pada tiga kondisi yaitu link tanpa pengaku badan (Gambar 7.(a)), link dengan beberapa variasi pengaku vertikal badan (Gambar 7.(b)) serta link dengan kombinasi pengaku badan dan pengaku diagonal (Gambar 7.(c)).

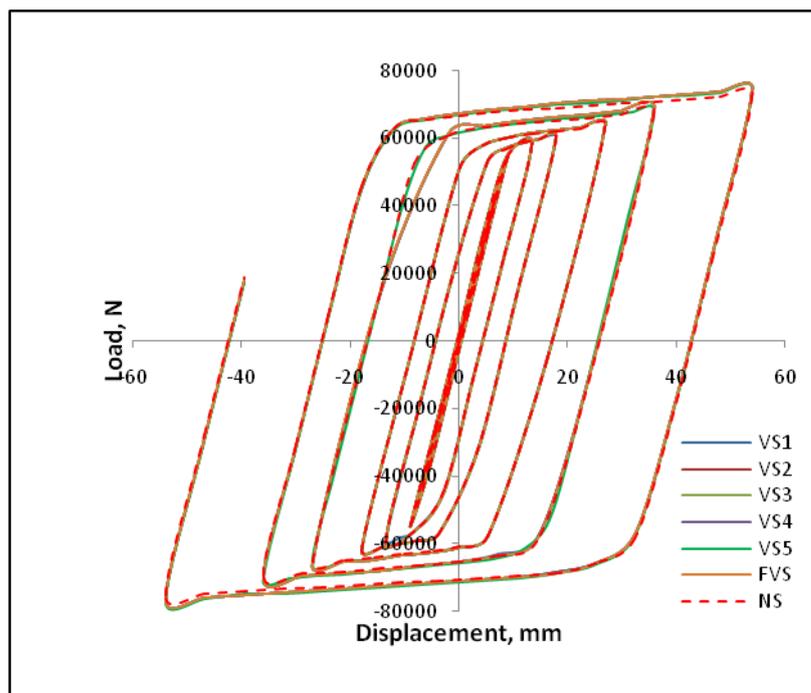


a. Model link tanpa pengaku badan

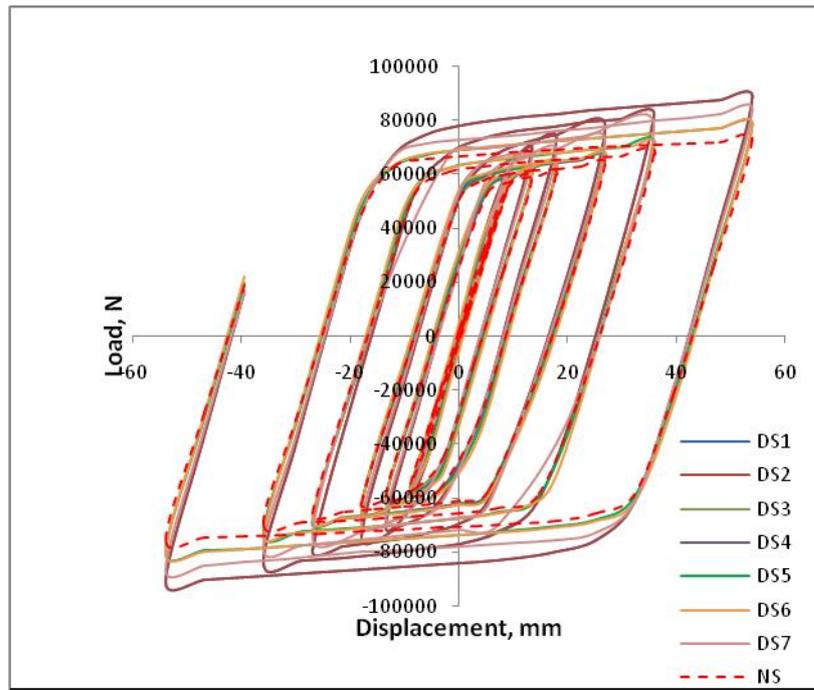


(b). Model link dengan pengaku vertikal badan (c). Model link dengan pengaku diagonal badan

Gambar 7 Konfigurasi pengaku badan yang dianalisa pada link panjang



Gambar 8. Perbandingan kurva beban – perpindahan link dengan pengaku vertikal badan dengan link tanpa pengaku badan



Gambar 9 Perbandingan kurva beban – perpindahan link dengan pengaku diagonal badan dengan link tanpa pengaku badan

Berdasarkan kurva beban – perpindahan diatas maka diperoleh hasil perbandingan nilai beban maksimum, kekakuan dan energi disipasi dari setiap model sebagai berikut :

Tabel 2 Beban maksimum dan daktilitas pada link dengan pengaku vertikal badan

Lokasi stiffener	P_y N	$P_{max(+)}$ N	$P_{max(-)}$ N	$P_{max(+)}$ Norm.	$P_{max(-)}$ Norm.	θ_y rad	θ_u rad	μ
V1	4.30E+04	7.44E+04	7.66E+04	1.02	1.02	0.00375	0.03	8.00
V2	4.30E+04	7.45E+04	7.67E+04	1.02	1.02	0.00375	0.03	8.00
V3	4.31E+04	7.45E+04	7.67E+04	1.02	1.02	0.00375	0.03	8.00
V4	4.31E+04	7.45E+04	7.67E+04	1.02	1.02	0.00375	0.03	8.00
V5	4.31E+04	7.42E+04	7.70E+04	1.02	1.02	0.00375	0.03	8.00
FV	4.31E+04	7.45E+04	7.67E+04	1.02	1.02	0.00375	0.03	8.00
NS	4.29E+04	7.27E+04	7.53E+04	1.00	1.00	0.00375	0.03	8.00

Tabel 3 Normalisasi kekakuan per siklus pada link dengan pengaku badan terhadap link tanpa pengaku badan.

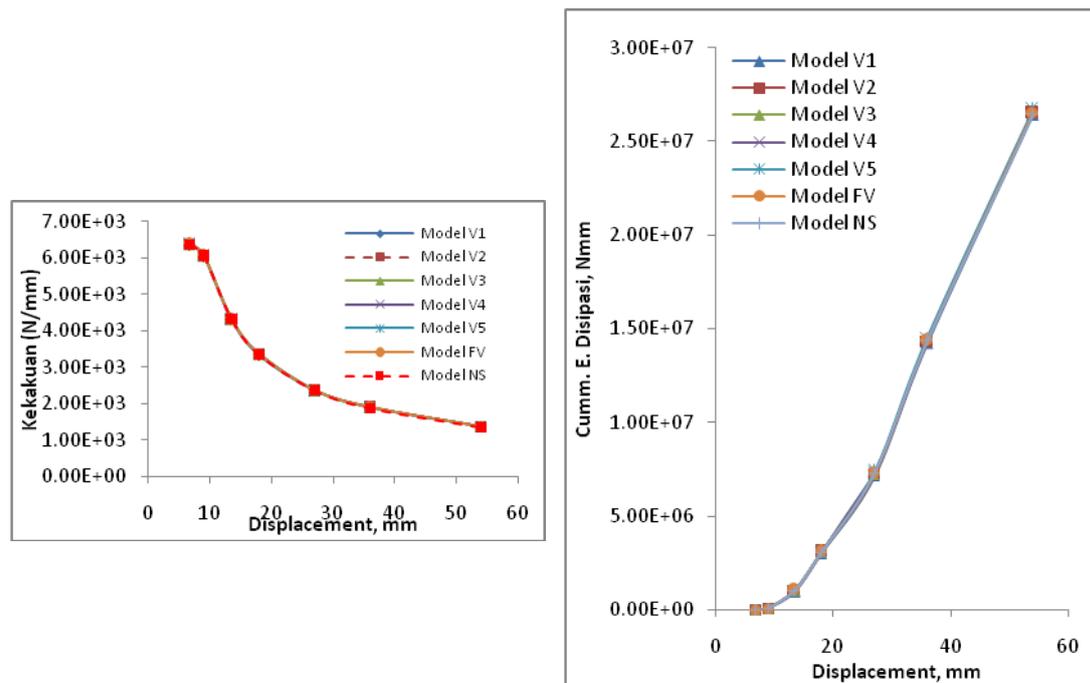
Siklus	Model V1		Model V2		Model V3		Model V4		Model V5		Model FV	
	Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)	
	Tarik (+)	Tekan (-)										
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00
5	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
6	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.01
7	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
NS	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabel 4 Normalisasi energi disipasi pada link dengan pengaku badan terhadap link tanpa pengaku badan.

Siklus	Energi Disipasi (Nmm)						
	Model V1	Model V2	Model V3	Model V4	Model V5	Model FV	Model NS
1	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.00
2	1.03	1.05	1.07	1.08	1.08	1.08	1.00
3	0.91	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00
5	0.98	0.98	0.98	0.98	1.02	0.98	1.00
6	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
7	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00

Tabel 5 Beban maksimum dan daktilitas pada link dengan pengaku diagonal badan

Lokasi Stiffener	P_y N	$P_{max(+)}$ N	$P_{max(-)}$ N	$P_{max(+)}$ Norm.	$P_{max(-)}$ Norm.	θ_y rad	θ_u rad	μ
D1	4.87E+04	8.82E+04	9.11E+04	1.21	1.21	0.00375	0.03	8.00
D2	4.87E+04	8.82E+04	9.11E+04	1.21	1.21	0.00375	0.03	8.00
D3	4.36E+04	6.61E+04	6.81E+04	1.04	1.04	0.00375	0.015	4.00
D4	4.44E+04	6.30E+04	5.83E+04	0.99	0.89	0.00375	0.015	4.00
D5	4.57E+04	7.79E+04	8.02E+04	1.07	1.06	0.00375	0.03	8.00
D6	4.69E+04	7.81E+04	8.04E+04	1.07	1.07	0.00375	0.03	8.00
D7	6.10E+04	8.36E+04	8.62E+04	1.15	1.14	0.005	0.03	6.00
NS	4.29E+04	7.27E+04	7.53E+04	1.00	1.00	0.00375	0.03	8.00



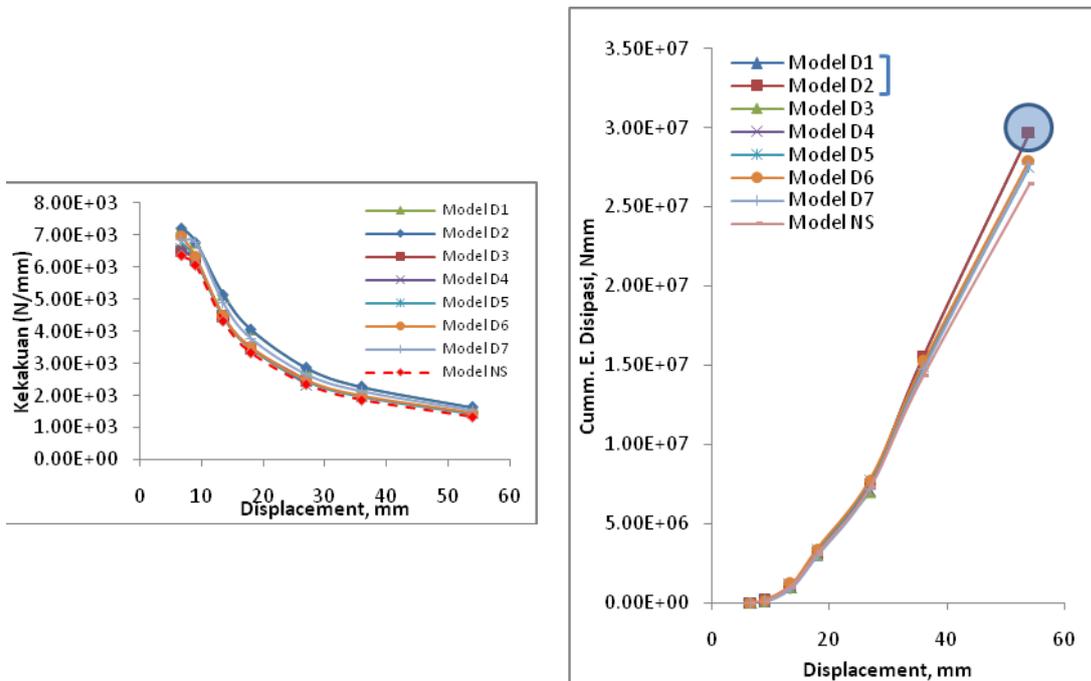
Gambar 10 Perbandingan kekakuan dan energi disipasi untuk setiap model link dengan pengaku vertikal badan

Tabel 6. Normalisasi energi disipasi pada link dengan pengaku diagonal badan terhadap link tanpa pengaku badan.

Siklus	Energi. Disipasi (Nmm)							
	Model D1	Model D2	Model D3	Model D4	Model D5	Model D6	Model D7	Model NS
1	1.43	1.42	1.09	1.10	1.13	1.33	1.28	1.00
2	1.49	1.49	0.88	1.15	1.62	2.10	0.24	1.00
3	0.91	0.91	0.91	0.95	1.01	1.06	0.92	1.00
4	0.99	0.99	1.01	1.02	1.05	1.08	1.00	1.00
5	1.06	1.06	0.94	0.95	1.04	1.04	1.01	1.00
6	1.15	1.15			1.04	1.05	1.07	1.00
7	1.17	1.17			1.04	1.05	1.07	1.00
Total	1.12	1.12	0.26	0.27	1.04	1.06	1.05	1.00

Tabel 7. Normalisasi kekakuan per siklus pada link dengan pengaku badan terhadap link tanpa pengaku badan.

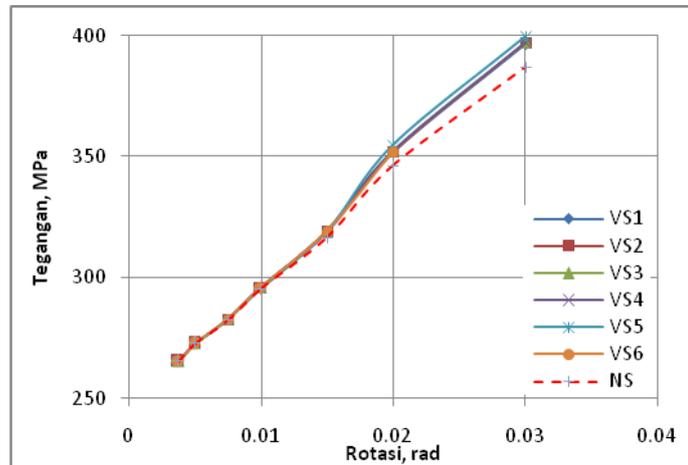
Siklus	Model D1		Model D2		Model D3		Model D4		Model D5		Model D6		Model D7	
	Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)	
	Tarik (+)	Tekan (-)												
1	1.14	1.14	1.14	1.14	1.02	1.02	1.03	1.03	1.06	1.06	1.09	1.09	1.08	1.08
2	1.12	1.12	1.12	1.12	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.12	1.12
3	1.19	1.18	1.19	1.18	1.03	1.02	1.03	1.02	1.03	1.03	1.04	1.03	1.13	1.12
4	1.21	1.20	1.21	1.20	1.04	1.03	1.04	1.03	1.04	1.03	1.05	1.04	1.13	1.12
5	1.21	1.21	1.21	1.21	1.04	1.04	0.99	0.89	1.04	1.05	1.05	1.05	1.13	1.13
6	1.21	1.21	1.21	1.21					1.06	1.06	1.06	1.06	1.14	1.14
7	1.21	1.21	1.21	1.21					1.07	1.06	1.07	1.07	1.15	1.14



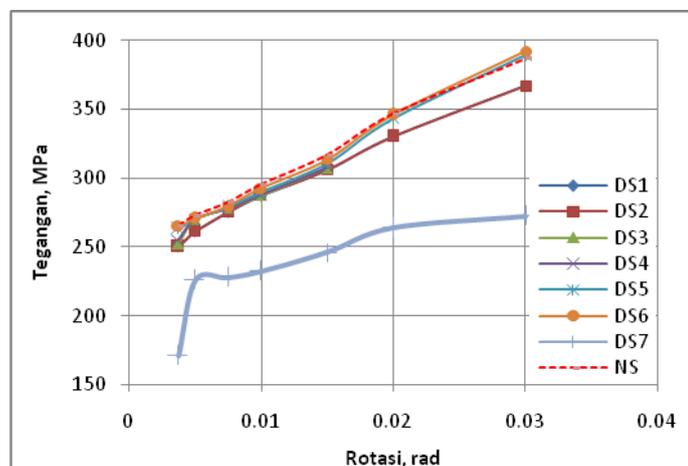
Gambar 11 Perbandingan kekakuan dan energi disipasi untuk setiap model link dengan pengaku diagonal badan

Selain faktor kekuatan, kekakuan dan energi disipasi, maka dapat dilihat distribusi tegangan yang terjadi selama terjadi pembebanan siklik. Distribusi tegangan yang diamati adalah pada elemen didaerah sekitar tumpuan. Berdasarkan analisis diperoleh

bahwa link tanpa pengaku memiliki tegangan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi pengaku diagonal pada link.



Gambar 12 Perubahan tegangan pada link dengan pengaku badan



Gambar 13 Perubahan tegangan pada link dengan pengaku diagonal

5 KESIMPULAN HASIL ANALISIS

Berdasarkan hasil analisa terhadap kekuatan, kekakuan, energi disipasi dan perubahan tegangan selama terjadi siklus pembebanan maka dapat dijelaskan perilaku link panjang dengan beberapa konfigurasi pengaku sebagai berikut :

- Konfigurasi pengaku vertikal pada badan link panjang tidak menyebabkan peningkatan kekuatan, kekakuan dan energi disipasi pada elemen link, pengaku vertikal pada link hanya berfungsi untuk mencegah terjadinya tekuk pada badan. Perilaku ini dapat dijelaskan dengan melihat distribusi tegangan yang terjadi selama pembebanan siklik dimana pengaku vertikal tidak ikut memikul gaya yang bekerja. Kegagalan link disebabkan karena leleh pada sayap link pada daerah tumpuan.

- Model D1 () dan model D2 () dapat meningkatkan nilai kekuatan, kekakuan, energi disipasi disebabkan pengaku diagonal link mampu mendistribusikan tegangan dengan baik sepanjang elemen link selama terjadi pembebanan siklik. Kelelahan link ditandai dengan kelelahan pada bagian sayap link pada daerah tumpuan.
- Model D3 () dan model D4 () dapat meningkatkan nilai kekuatan, kekakuan pada setiap siklus namun tidak meningkatkan energi disipasi. Penurunan kemampuan link disebabkan karena pengaku diagonal yang diberikan sejarak $1.5b_f$ (150 mm) dikedua ujung link menyebabkan elemen link bersifat *brittle* yang ditandai dengan kelelahan pada bagian sayap disepanjang daerah perletakan dan berpengaruh terhadap kemampuan link dalam menahan beban siklik.
- Model D5 () dan D6 () kembali dapat meningkatkan nilai kekuatan, kekakuan, energi disipasi yang disebabkan karena pengaku diagonal dapat mendistribusikan gaya – gaya yang bekerja selama link menerima gaya tekan/ tarik (beban siklik) dengan baik hingga mencapai bagian tengah elemen link.
- Model D7 () dapat meningkatkan nilai kekuatan, kekakuan dan energi disipasi meskipun nilai daktilitas yang dimiliki tidak begitu baik dibandingkan model D1 dan D2. Nilai daktilitas yang turun disebabkan elemen link bersifat *ductile* karena penempatan pengaku *cross diagonal* pada badan link sejarak $3b_f$ (300 mm). Disisi lain pengaku *cross diagonal* dapat mendistribusikan gaya yang bekerja pada link dengan lebih baik pada kondisi tarik maupun tekan karena pengaku bersifat simetris pada kedua arah pembebanan. Kelelahan awal muncul pada bagian sayap dan sebagian badan link pada daerah *cross diagonal*.
- Nilai daktilitas yang diperoleh dalam analisis merupakan nilai daktilitas yang disebabkan karena pembatasan kapasitas pembebanan hingga 0.03 rad.

6 PENUTUP

Analisis yang dilakukan terhadap link panjang dengan pengaku diagonal ini merupakan kajian pendahuluan. Berdasarkan analisis dengan pendekatan elemen hingga dapat diketahui pengaruh beberapa konfigurasi pengaku badan terhadap kinerja link panjang.

Pemberian pengaku vertikal badan pada link panjang tidak memperbaiki kinerja link, namun pemberian pengaku diagonal pada badan link memperlihatkan perbaikan kinerja link jika ditempatkan pada lokasi yang tepat agar link tidak berperilaku *brittle*.

DAFTAR PUSTAKA

- Yurisman. (2010), *Perilaku Link dengan Pengaku Diagonal Badan pada Sistem Struktur Rangka Baja Berpenopang Eksentrik (EBF)*, Draft Disertasi Doktorat Teknik Sipil, Pengutamaan Rekayasa Struktur, ITB.
- AISC (2005), *Specification for Structural Steel Building*, Chicago, American Institute of Steel Construction
- Becker, Roy, Ishler, Michael (1996), *Seismic Design Practice For Eccentrically Braced Frames Based on The 1994 UBC*, Steel Tips Journal.

- Engelhardt, Michael D., Popov, Egor P.(1992). *Experimental Performance of Long Link in Eccentrically Braced Frames*. Journal of Strctural Engineering. Vol. 118, No. 11, November.
- Ghobarah. A, Ramadan. T. (1991). *Seismic Analysis of Links of Various Lengths in Eccentrically Braced Frames.*, Journal Civil Engineering. 18, (p. 140-148).
- Ghobarah. A, Ramadan. T. (1991). *Prediction of the Ultimate Capacity of Wide Flange Link Beams Under Cyclic Loading.*, Journal Computer and Structures. Vol.40, No. 2 (p. 409-418).
- Engelhardt, Michael D., Popov, Egor P. (1989) , *Behavior of Long Links in Eccentrically Braced Frames*, Earthquake Engineering Research Center UBC/EERC-89/01, College of Engineering University of California at Barkeley.
- Engelhardt, Michael D., Popov, Egor P. (1989). *On Design of Eccentrically Braced Frames*, Earthquake Spectra Vol. 5, No. 3.
- Popov, Egor P., Engelhardt, Michael D. (1988). *Seismic Eccentrically Braced Frames*, Journal Construction Steel Research 10. P.321-354.
- MSC/NASTRAN, *MSC/NASTRAN Handbook for Non Linear Analysis*, , The MacNeal – Schwendler Corporation.

Makalah ini disampaikan dalam rangka diseminasi informasi melalui Seminar HAKI.

Isi makalah sepenuhnya merupakan tanggung jawab penulis, dan tidak mewakili pendapat HAKI.