



PERMUKHA ALLI  
STRUKTUR TANGGULANG  
DAN SERPIK BANGUNAN  
Indonesia Engineers Society of  
Wind and Earthquake  
Resistance Engineers  
(HASTAG Indonesia)

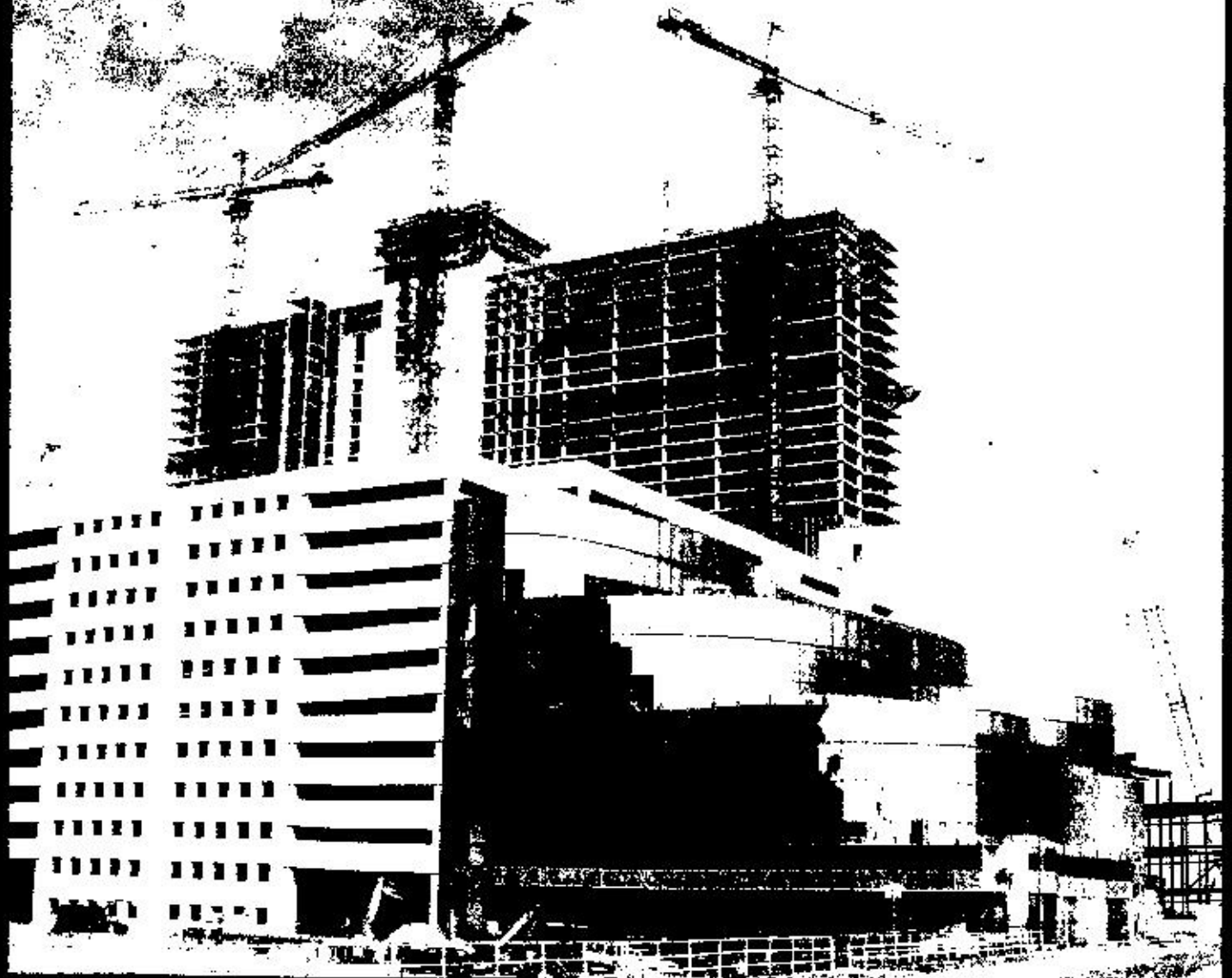
*Proceedings Seminar Nasional  
dan Pameran ke IV HASTAG*

# Penerapan Rekomendasi Sipil

Terhadap  
**Pembangunan**  
Yang Berwawasan  
Pembangunan

HOTEL GRAND ELITE MEDAN  
Sumatera Utara 25 - 26 April 2013

**Berkelanjutan**



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	V
PANITIA SEMINAR DAN PAMERAN .....	VI
JADWAL SEMINAR DAN PAMERAN .....	VII
DAFTAR ISI .....	IX

Makalah	Pembicara	Halaman
A Aerodynamic Behavior of Long-Span Cable Stayed Bridge [Wind Tunnel Test]	F.X. Supartono	1
B Design and Construction Engineering of Long-Span Bridge using Midas Civil Software [Indonesian Case Study]	F.X. Supartono	11
C Penelitian Terhadap Kegagalan Struktur Rangka Atap Kayu Bentang 12 Meter dan Metode Perbaikan Strukturnya	Besman Surbakti, Hardiansyah	34
D Research and Application of Precast Segmental Concrete Bridge Columns in Regions of High Seismicity	Yu-Chen Ou, Andrew C. H. Santoso	43
E Pemodelan Getaran Gempa dan Struktur Beton untuk Analisa Tidak Linear	Ade Faisal	58
F Strategy of Form-Finding Analysis using Nonlinear Analysis Method in Tensioned Fabric Structures	Yee Hooi Min, Choong Kok Keong	74
G Seismic Evaluation of RC Building with Considering the Soil-Structure Interaction	Taksiah A. Majid, Chcc-Ghuan Tan, Norazura Mohamad Bunnori, Kamar Shah Ariffin	86
H Evaluation of Cracking in Concrete Beams by Means of RA Value Analysis	Muhamad Bunnori N., Shahidan S.	95
I Kajian Numerik: Perilaku Link Menengah ( <i>Intermediate Link</i> ) pada Sistem Struktur Baja Tahan Gempa Tipe EBF ( <i>Eccentrically Braced Frame</i> )	Yurisman, Nidiasari, Oni Guspari, Mukhlis, Husni	101



# Kajian Numerik: Perilaku Link Menengah (*Intermediate Link*) pada Sistem Struktur Baja Taban Gempa Tipe EBF (*Eccentrically Braced Frame*)

Yurisman<sup>1</sup>, <sup>2</sup>Nidiasari, <sup>3</sup>Oni Guspari, <sup>4</sup>Mukhlis, <sup>5</sup>Husni

## ABSTRAK

Makalah ini berisikan hasil penelitian terhadap perilaku link menengah sebagai elemen pada sistem struktur rangka baja berpenopang eksentrik (EBF). Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yaitu tentang perilaku link pendek dan link panjang. Materi yang disajikan dalam makalah ini merupakan bagian dari hasil penelitian terhadap perilaku link menengah yang dilakukan secara numeric dan eksperimental. Penelitian numeric dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (software) computer NASTRAN dimana benda uji dimodelkan sebagai elemen shell (CQUAD4) berupa balok tunggal yang dijepit pada kedua ujungnya sedangkan pada ujung yang lain diberikan beban berupa perpindahan secara bertahap (incremental). Pengujian eksperimental dilakukan dengan membuat dua buah benda uji berupa balok baja profil WF 200.100.5,5.8 yang panjangnya 400 mm. Perilaku link dinyatakan dalam bentuk kurva hysteric yang menggambarkan kinerja link menengah yang mencakup : kekuatan (strength), kekakuan (stiffness), daktilitas serta kemampuan dalam dissipasi energi. Untuk meningkatkan kinerja link menengah dilakukan dengan memasang pengaku diagonal pada bagian badan profil WF dimana pengaku tersebut berupa pelat tipis setebal 6 – 8 mm, namun hasil analisis menunjukkan tidak terdapat peningkatan kinerja yang signifikan. Karena keterbatasan kemampuan computer dalam penelitian ini maka belum dapat diambil suatu kesimpulan yang meyakinkan sehingga diperlukan pengujian secara eksperimental untuk melakukan validasi dari hasil kajian numeric.

Kata kunci : link menengah, kekuatan, kekakuan, daktilitas, dissipasi energy.

## 1. Pendahuluan

Elemen struktur yang penting pada sistem rangka baja berpengaku eksentrik (EBF) adalah link. Kinerja link dipengaruhi oleh panjang link yang dibatasi maksimal  $1.6 M_p/V_p$  untuk link pendek,  $1.6 M_p/V_p - 2.6 M_p/V_p$  untuk link menengah serta minimal  $5 M_p/V_p$  untuk link panjang. Penelitian yang terkait perilaku sistem rangka baja berpengaku eksentrik (EBF) didominasi oleh kinerja link pendek yang menunjukkan perilaku yang baik dalam hal kekuatan, kekakuan dan energi disipasi (Roeder dan Popov 1978, Hjelmstad dan Popov 1983, Malley dan Popov 1984, Kasai dan Popov 1986b). Berdasarkan penelitian tersebut perilaku yang diperlihatkan oleh link pendek terutama disebabkan karena kegagalan geser yang terjadi pada badan link.

<sup>1,3,4</sup> Staf Pengajar Politeknik Negeri Padang, Kampus Unand Limau Manis, Email : yurisman\_pda@yahoo.com

<sup>2</sup> Staf Pengajar Fakultas Teknik Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Email : nidiasari@unand.ac.id

<sup>5</sup> Staf Pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara Medan, Email : husni.malik@uisu.ac.id

Berdasarkan analisa diatas, akan dilakukan suatu studi secara numerik menggunakan software MSC/NASTRAN terhadap kinerja link menengah yang diberi pengaku diagonal badan pada kedua sisi link sebagai upaya untuk membuat link menengah mengalami kegagalan pada bagian badan (kegagalan geser) seperti halnya pada link pendek. Selanjutnya akan dianalisa dampak pengaku diagonal terhadap kekuatan,kekakuan dan energi disipasi jika dibandingkan dengan desain link menengah sesuai *Seismic Provision for Structural Steel Buildings*, AISC 2005.

## 2. Signifikansi penelitian

Pengaruh panjang link terhadap kinerja elemen link pada sistem EBF yang dilakukan oleh Hjeltnstad dan Popov tahun 1983 terhadap 15 spesimen link dengan panjang dan konfigurasi pengaku badan yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa link pendek lebih efektif dalam mendisipasi energi jika dibandingkan dengan link yang lebih panjang. Salah satu faktor yang mempengaruhi perilaku link pendek adalah kegagalan geser yang terjadi pada badan link sebelum elemen link *collapse*.

Untuk menjamin kegagalan yang terjadi pada link pendek adalah kegagalan geser, maka Kasai dan Popov pada tahun 1986 merekomendasikan link pendek dibatasi tidak boleh melebihi  $1.6 M_p/V_p$ . Pembatasan rotasi link juga menjadi topik yang dibahas untuk membatasi drift yang terjadi pada struktur, karena semakin pendek link, maka drift yang terjadi pada struktur juga meningkat sehingga resiko kerusakan elemen non struktural menjadi tinggi.

Idealnya kinerja link yang baik dalam hal kekuatan, kekakuan dan energi disipasi diikuti dengan pembatasan rotasi link yang cukup kecil sehingga dapat mengurangi resiko kerusakan elemen non struktural. Selain itu juga dapat mengakomodasi kebutuhan arsitektural maupun fungsi bangunan yang membutuhkan bukaan yang cukup besar yang tidak dapat dicapai jika menggunakan link pendek pada sistem EBF.

Hanya sedikit penelitian terkait mengenai kinerja link dengan panjang melebihi  $1.6 M_p/V_p$  (link menengah dan link pendek) sesuai spesifikasi link yang dituliskan pada *Seismic Provision for Structural Steel Buildings*, AISC 2005 sebagai berikut :

- a. Link geser murni,  $e \leq 1.6 M_p/V_p$

Kelelahan pada link jenis ini didominasi oleh geser murni

- 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 murni

Beberapa penelitian yang membahas mengenai link dengan panjang melebihi  $1.6 M_p/V_p$  adalah penelitian yang dilakukan oleh A. Ghobarah dan T. Ramadhan tahun 1990 serta Engelhart dan Popov tahun 1992. Kedua penelitian ini menunjukkan penurunan kinerja link seiring dengan penambahan panjang link. Selain itu penelitian yang dilakukan A. Ghobarah dan T. Ramadhan menambahkan bahwa kinerja link dapat ditingkatkan dengan penambahan tebal penampang dan tebal pengaku badan.

Peningkatan kinerja link dengan modifikasi penambahan pengaku diagonal badan pada link pendek (Yurisman, 2010) dan link panjang (Nidiasari,2010; B.Budiono dkk., 2011) menunjukkan bahwa kinerja link dapat meningkat secara signifikan pada link pendek,namun tidak mengurangi rotasi yang terjadi pada link tersebut. Pada link panjang peningkatan kinerja link tidak terlalu signifikan terhadap peningkatan daktilitas, namun terdapat indikasi terjadi kelelahan geser pada link panjang yang ditandai dengan terjadi kegagalan pada kedua ujung elemen (kelelahan lentur) serta kegagalan tekuk pada bagian badan (kelelahan geser) dimana pengaku diagonal dipasang.

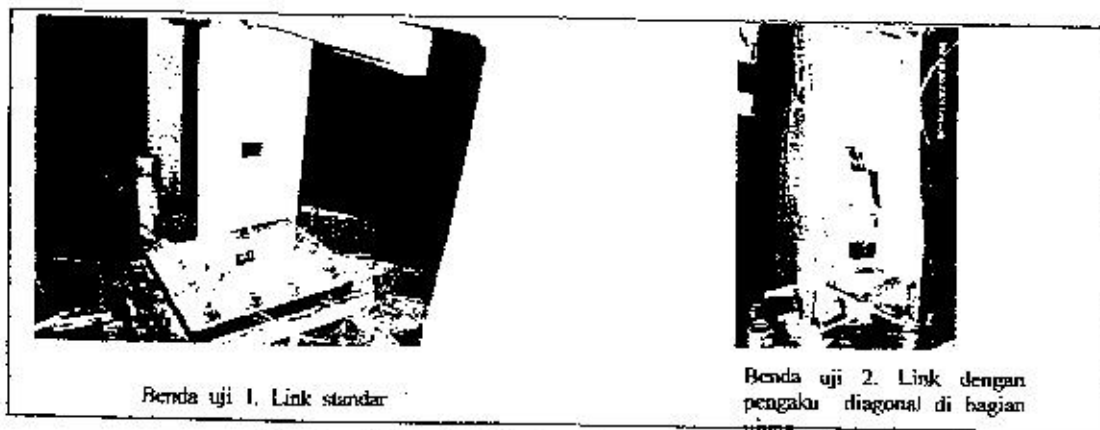
Berdasarkan sejarah penelitian diatas, maka dilakukan suatu studi awal secara numerik untuk melihat perilaku link menengah yang diberi pengaku diagonal badan dengan jarak tertentu dengan mengkondisikan bagian yang tidak diberi pengaku memiliki panjang yang setara dengan link pendek yang telah diuji oleh Yurisman.

### 3. Model Benda Uji

Penelitian ini dilakukan secara numeric dan eksperimental, kajian numeric dilakukan untuk melihat dan memprediksi bagaimana perilaku benda uji melalui simulasi computer. Sedangkan pengujian secara eksperimental dilakukan untuk melihat perilaku benda uji yang sesungguhnya sebagai validasi hasil penelitian numeric. Namun hasil pengujian eksperimental secara keseluruhan belum dapat ditampilkan dalam makalah ini karena masih dalam proses pengujian dan analisa data. Semoga peneliti dapat melakukan publikasi dalam makalah / jurnal yang akan datang.

#### 3.1. Model untuk eksperimental

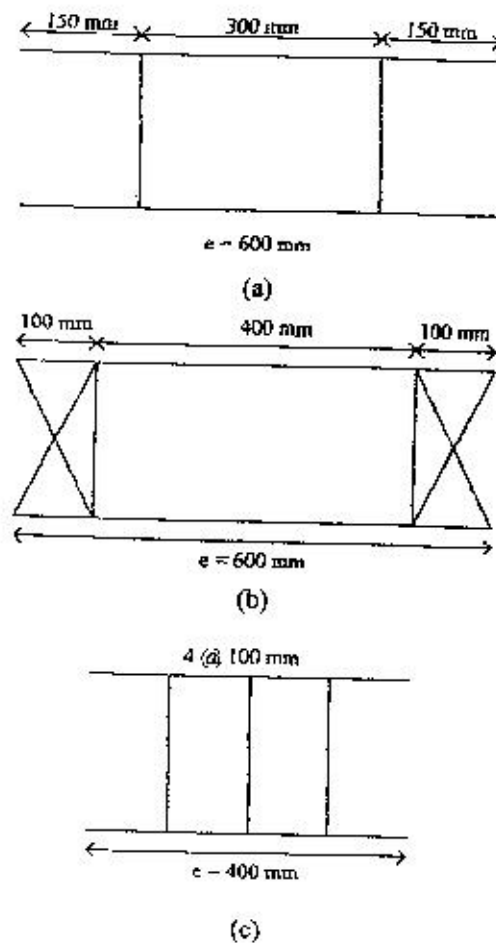
Benda uji (specimen) untuk eksperimental adalah berupa balok baja yang terbuat dari profil WF 200.100.5,5.8 yang panjangnya 600 mm. Benda uji 1 berupa link standar yang didisain sesuai dengan ketentuan AISC 2010. Sedangkan benda uji 2 sama dengan benda uji 1 tetapi telah dilakukan suatu inovasi dengan memasang pengaku berupa pelat tipis pada kedua ujung benda uji.



Gambar 1. Benda uji link untuk pengujian eksperimental

#### 3.2. Model untuk kajian numeric

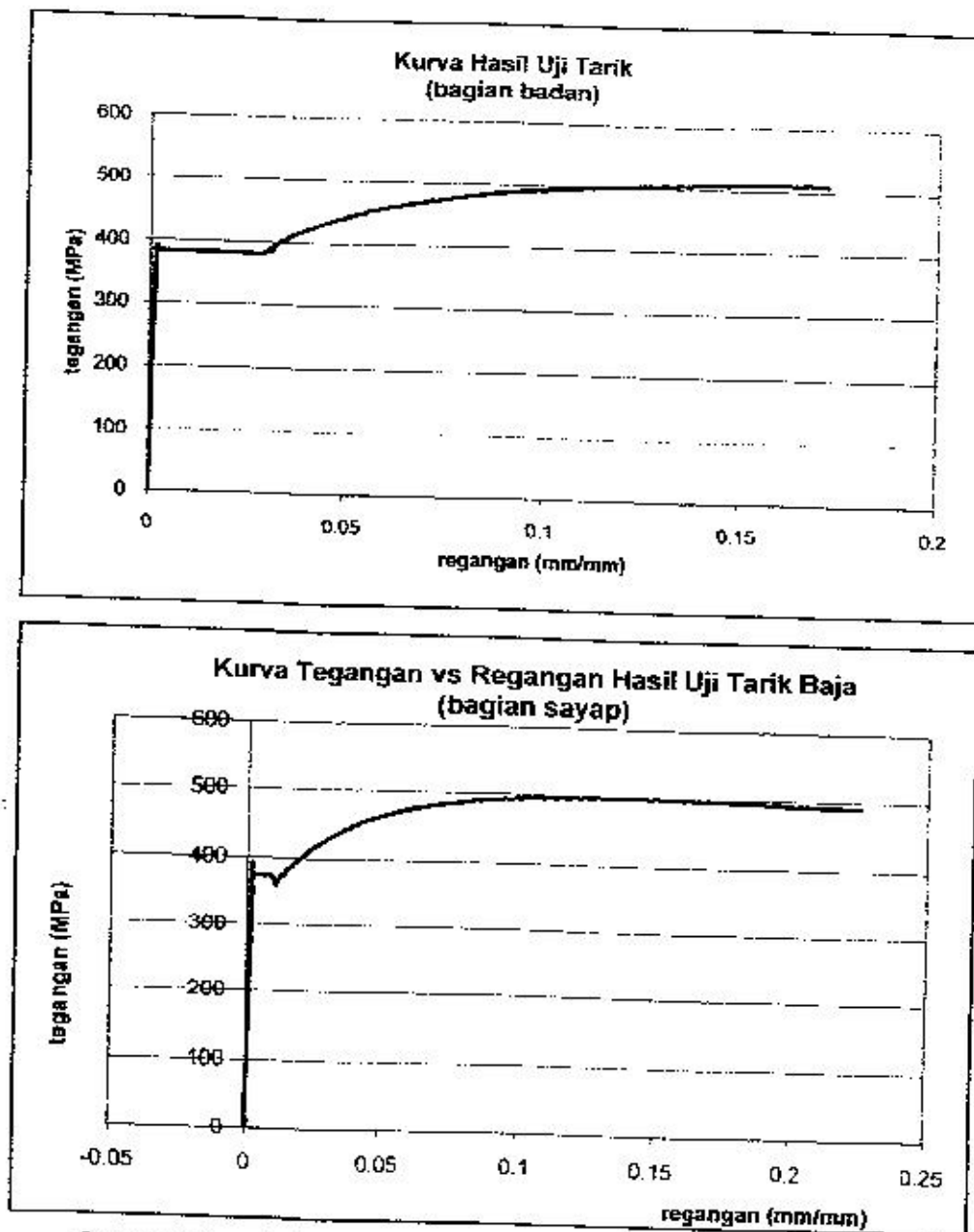
Dalam kajian numeric, elemen link menengah yang dianalisa merupakan link dominan geser,  $1.6 M_p/V_p \leq e \leq 2.6 M_p/V_p$ , menggunakan baja WF 200.100 dengan panjang  $e = 600$  mm. Model geometri link yang dianalisa diperlihatkan pada gambar 2. Tebal pengaku vertikal yang digunakan 10 mm dan tebal pengaku diagonal adalah 6 mm.



Gambar 2. Model geometri (a). Link menengah dengan pengaku vertikal 1.5  $b_f$  standar AISC, (b). Link menengah modifikasi dengan penambahan pengaku diagonal pada jarak 100 mm pada kedua ujung elemen, (c). Link pendek dengan panjang  $e = 400$  mm.

#### 4. Properti material

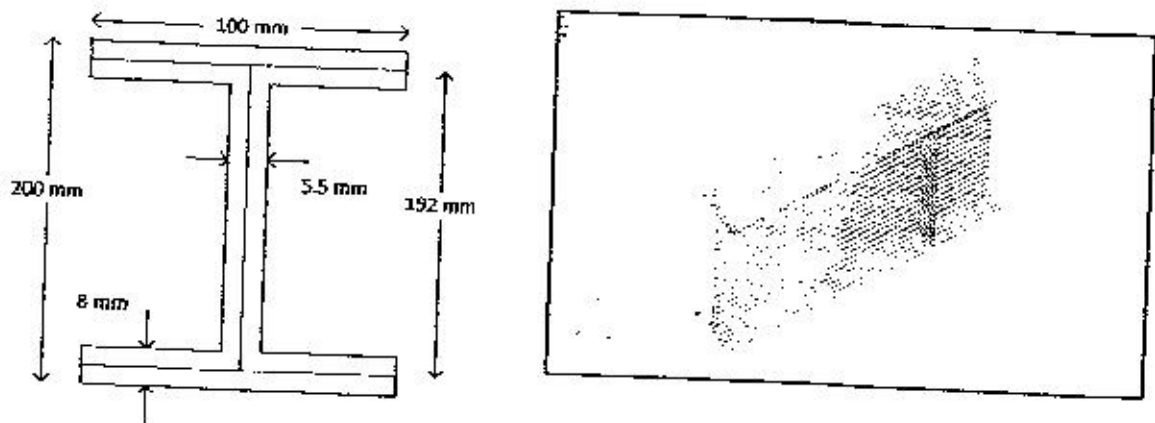
Kurva hubungan tegangan - regangan baja yang digunakan dalam analisa merupakan model material multilinear yang diperoleh dari hasil pengujian tarik di laboratorium. Dari pengujian diperoleh nilai modulus elastisitas,  $E = 200370 \text{ N/mm}^2$ . Sedangkan nilai *poisson ratio*,  $\nu$  digunakan 0.3 untuk semua bagian. Kurva hubungan tegangan vs regangan hasil uji tarik ditunjukkan dalam gambar 3.



Gambar 3. Kurva hubungan tegangan regangan hasil uji tarik material benda uji

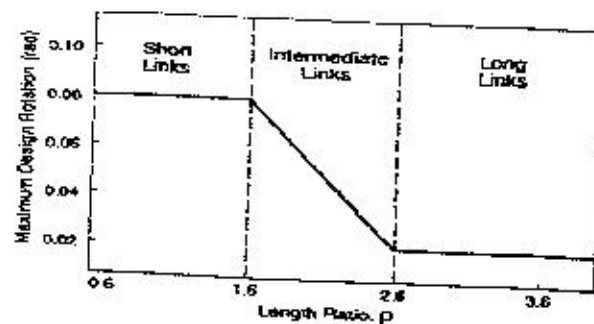
## 5. Model numerik

Untuk mempelajari perilaku elemen tersebut dilakukan pemisahan dari rangka induknya (*subassembly*) dan dalam analisisnya dianggap sebagai balok tunggal. Elemen link dimodelkan sebagai balok yang dijepit pada kedua ujungnya dan diberi perpindahan transversal pada salah satu ujungnya. Hal ini menyebabkan link pada sisi yang diberi beban transversal memiliki lima derajat kebebasan sedang sisi lainnya terjepit sempurna dan memiliki enam derajat kebebasan. Selanjutnya link dibagi menjadi elemen shell melalui pendekatan elemen hingga dimana tiap elemen terdiri dari empat node dan tiap node mempunyai enam derajat kebebasan. Geometri yang digunakan pada model berdasarkan centerline dari profil IWF yang digunakan pada pemodelan link. Gambar 4 memperlihatkan model finite element yang digunakan dalam penelitian ini.

Gambar 4. Model *finite element*

## 6. Analisa dan pembahasan

Penentuan kinerja link dilakukan dengan memberi beban berupa perpindahan yang dilakukan secara bertahap hingga elemen link mencapai kapasitas maksimumnya. Pembebanan bertambah secara bertahap dengan kontrol pertambahan rotasi link seperti yang telah diatur pada bagian S6.3 mengenai *loading sequence* pada *Seismic Provision for Structural Steel Buildings*, AISC 2005. Pertambahan rotasi untuk link menengah dibatasi tidak boleh melebihi 0.06 rad. Nilai ini diperoleh dengan cara interpolasi berdasarkan kurva batas rotasi link yang ditunjukkan oleh Richard P.W dan Uang C.M (2005). Untuk keperluan analisa maka rotasi dibatasi hingga 0.015 rad.

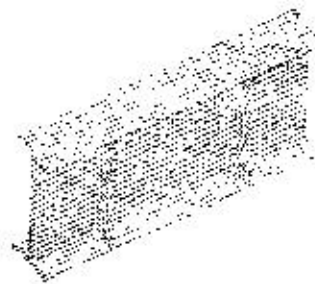
Gambar 5. Hubungan antara rotasi disain maksimum dan *ratio* panjang

Pengujian secara numerik dilakukan terhadap 3 model yaitu link pendek sesuai standar AISC 2005, link menengah dengan lokasi pengaku vertikal sesuai dengan standar AISC 2005, serta link menengah dengan modifikasi penambahan pengaku diagonal badan pada kedua ujung elemen yang selanjutnya secara berurutan disebut sebagai model 1, model 2 dan model 3.

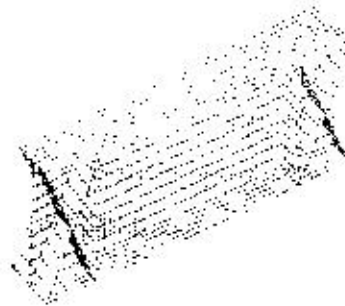




(a). Model 1



(b). Model 2

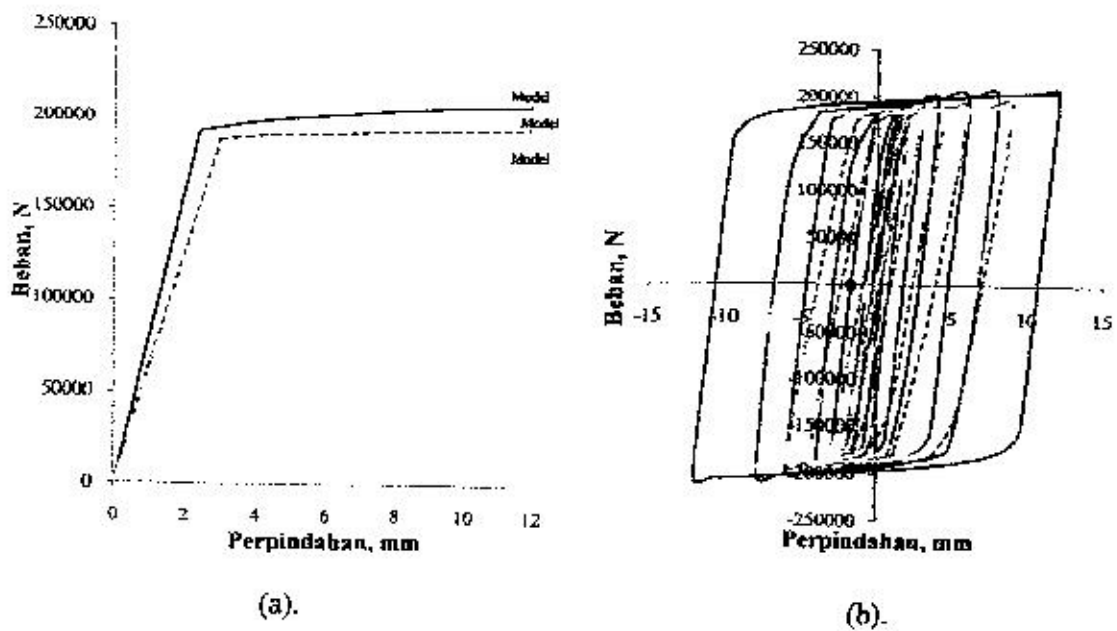


(c). Model 3

Gambar 6. Model *finite element* ketiga benda uji

### 6.1 Analisa terhadap kinerja (kekuatan, kekakuan dan energy disipasi)

Besarnya nilai kekuatan dan kekakuan dapat ditinjau dari kurva beban vs perpindahan yang diperoleh dengan pemberian beban statik monotonik (gambar 7a). Sedangkan kemampuan link dalam mendisipasi energi dapat diketahui dengan memberikan beban siklik pada elemen link (gambar 7b). Nilai beban maksimum yang dicapai pada kondisi leleh pada model 2 dan 3 tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan.



Gambar 7. Perbandingan konfigurasi link beban vs perpindahan akibat (a). beban monotonik dan (b). beban siklik.

Penambahan pengaku diagonal badan pada link menengah hanya meningkatkan kekuatan link sebesar 1.03 terhadap link menengah spesifikasi standar AISC jika dibebani secara monotonik.

Tabel 1. Perpindahan leleh dan kapasitas beban pada saat leleh pada link menengah dengan beban monotonik.

Model	$\delta_y$ (mm)	$P_y$ (N)
1	2.4	192620.5
2	3.0	182306.6
3	3.0	187303.4

Perbandingan kekuatan, kekakuan dan energy disipasi untuk setiap model dapat dilihat pada table 2, 3 dan 4 sbb :

Tabel 2. Beban maksimum tiap siklus pembebanan

Siklus	MODEL 1		Siklus	MODEL 2		Siklus	MODEL 3	
	$P_{max}$ (N)			$P_{max}$ (N)			$P_{max}$ (N)	
	Tarik (+)	Tekan (-)		Tarik (+)	Tekan (-)		Tarik (+)	Tekan (-)
1	1.86E+05	1.86E+05	1	1.74E+05	1.74E+05	1	1.81E+05	1.81E+05
2	1.91E+05	1.91E+05	2	1.83E+05	1.84E+05	2	1.87E+05	1.88E+05
3	1.95E+05	1.95E+05	3	1.88E+05	1.88E+05	3	1.90E+05	1.90E+05
4	1.99E+05	1.98E+05	4	1.89E+05	1.91E+05	4	1.91E+05	1.92E+05
5	2.01E+05	2.01E+05	5	1.90E+05	1.90E+05	5	1.91E+05	1.93E+05

**Tabel 3. Kekakuan tiap siklus pembebanan**

Siklus	MODEL 1		MODEL 2		MODEL 3	
	Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)		Kekakuan (N/mm)	
	Tarik (+)	Tekan (-)	Tarik (+)	Tekan (-)	Tarik (+)	Tekan (-)
1	1.24E+05	1.24E+05	7.74E+04	77412.38	8.05E+04	8.06E+04
2	9.55E+04	9.55E+04	6.09E+04	61229.16	6.24E+04	6.25E+04
3	6.51E+04	6.49E+04	4.17E+04	41853.10	4.22E+04	4.22E+04
4	4.98E+04	4.94E+04	3.15E+04	31764.93	3.18E+04	3.19E+04
5	3.35E+04	3.35E+04	2.11E+04	21065.33	2.13E+04	2.15E+04

**Tabel 4. Energi disipasi tiap siklus pembebanan**

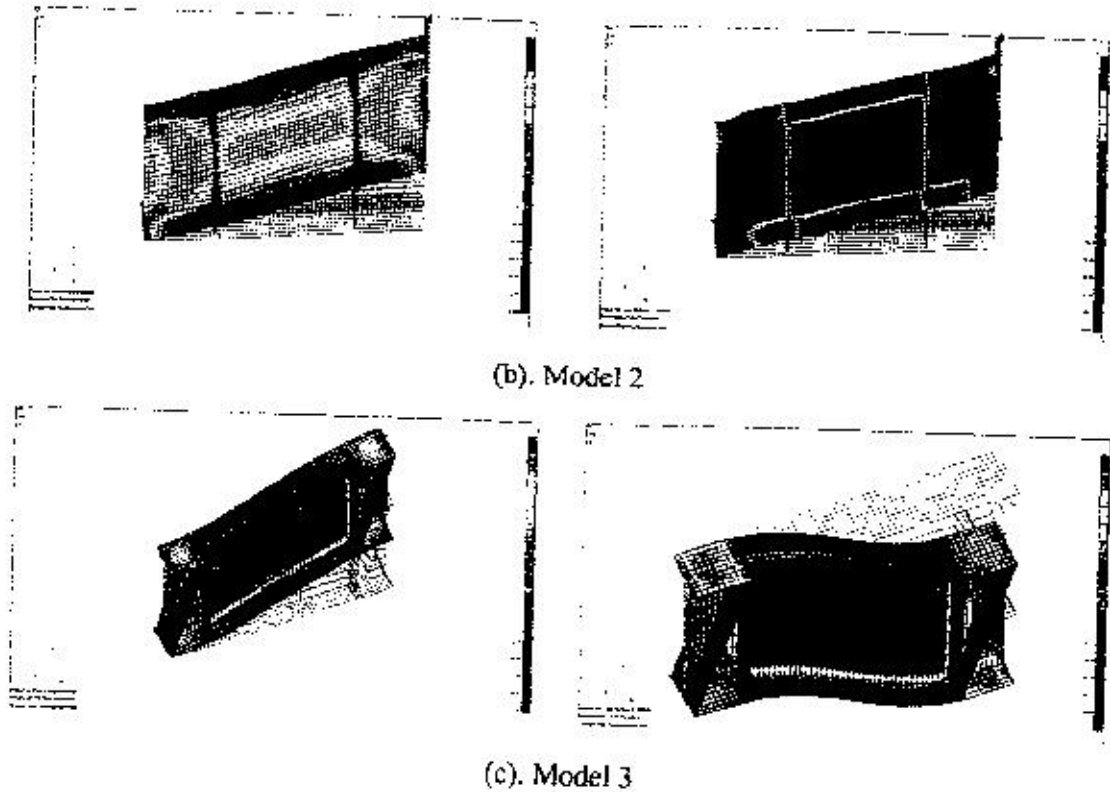
Siklus	Energi Disipasi (Nmm)		
	Model 1	Model 2	Model 3
1	1.87E+05	3.39E+04	1.61E+05
2	5.38E+05	3.65E+05	4.97E+05
3	1.03E+06	1.35E+06	1.37E+06
4	1.97E+06	2.21E+06	2.32E+06
5	3.61E+06	2.43E+06	2.56E+06
Total	2.10E+07	6.39E+06	6.91E+06

Data yang ditunjukkan pada table 2,3 dan 4 menunjukkan bahwa pengaku diagonal badan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja link menengah. Kesimpulan ini diperoleh melalui analisa pembebanan hingga siklus kelima.

**6.2. Analisa terhadap lokasi keletihan**



(a). Model 1



Gambar 8. Kondisi tegangan pada saat leleh awal dan kondisi maksimum

Salah satu penyebab kegagalan pada link menengah adalah kombinasi kelelahan lentur dan geser (gambar 8b). Terjadinya kelelahan lentur pada link dapat mempercepat terjadinya kegagalan pada elemen link, karena kelelahan lentur ditandai dengan tercapainya tegangan maksimum pada daerah sayap di kedua ujung elemen (daerah sambungan). Jika tegangan maksimum pada ujung elemen muncul lebih lebih dahulu daripada bagian badan, maka elemen tersebut dapat dipastikan tidak dapat mengatasi pertambahan siklus pembebanan. Modifikasi dengan penambahan pengaku diagonal pada badan link memperlihatkan indikasi perubahan konsentrasi tegangan pada elemen link. Dimana pada model 2 dapat dilihat bahwa konsentrasi tegangan terdapat pada bagian sayap dan badan, namun dengan penambahan pengaku diagonal badan, konsentrasi tegangan bergeser ke bagian badan link dimana tidak terdapat pengaku pada daerah tersebut.

## 7. Penutup

Pengaku diagonal pada bagian badan link tidak menunjukkan perilaku yang signifikan terhadap kinerja link jika pembebanan dibatasi sampai siklus ke-5 ( $\gamma_{total} = 0.015\text{rad}$ ). Namun jika ditinjau dari segi lokasi kelelahan, dapat diketahui bahwa terjadi pergeseran lokasi konsentrasi tegangan. Diharapkan jika dilakukan pengujian secara eksperimental dapat menambah siklus pembebanan hingga maksimum  $\gamma_{total} = 0.06\text{ rad}$  yang akan berpengaruh terhadap pertambahan nilai energi disipasi. Pembatasan pembebanan yang dilakukan pada analisa numerik disebabkan keterbatasan software yang tidak dapat memprediksi batas terjadinya kegagalan.

Pada saat ini pengujian secara eksperimental sedang dilaksanakan sebagai verifikasi terhadap analisa numerik yang diharapkan dapat membuktikan hipotesa awal yang disebutkan diatas. Demi kemajuan riset ini, kami sangat mengharapkan masukan-masukan dari teman-teman Peneliti, Praktisi dan Mahasiswa.

8. **Ucapan terima kasih**

Peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada program riset unggulan politeknik Tahun Anggaran 2012 (Kontrak no : 009/PL.9-PG/11/2012) yang telah membiayai penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. B. Budiono, Nidiasari, Yurisman (2011), *Behaviour of Long Link with The Diagonal Web Stiffener on Earthquake Resistant Steel Structure System*, IMHERE Project B.2C, Institut Teknologi Bandung.
2. Nidiasari. (2010), *Kajian Numerik Perilaku Link Panjang dengan Pengaku Diagonal Badan pada Sistem Rangka Baja Berpengaku Eksentris*, Tesis Magister Teknik Sipil, Pengutamaan Rekayasa Struktur, ITB.
3. Yurisman. (2010), *Perilaku Link dengan Pengaku Diagonal Badan pada Sistem Struktur Rangka Baja Berpenopang Eksentrik (EBF)*, Draft Disertasi Doktoral Teknik Sipil, Pengutamaan Rekayasa Struktur, ITB.
4. Novan, Andre (2008), *Peningkatan Kinerja Link Geser dengan Sambungan Baut Tipe Flush yang Memikul Beban Siklik*, Tesis Magister Teknik Sipil, Pengutamaan Rekayasa Struktur, ITB.
5. Guo-Qiang Li, Jin-Jun Li. (2007). *Advanced Analysis and Design of Steel Frames*. John Wiley & Sons Ltd.
6. AISC (2005), *Specification for Structural Steel Building*, Chicago, American Institute of Steel Construction.
7. Richard P.W, Uang C.M.(2005). *Effect of Flange Width-Thickness Ratio on Eccentrically Braced Frames Link Cyclic Rotation Capacity*, Journal of Structural Engineering, Vol 131, No. 10, Oktober 1.
8. Becker, Roy, Ishler, Michael (1996), *Seismic Design Practice For Eccentrically Braced Frames Based on The 1994 UBC*, Steel Tips Journal.
9. Engelhardt, Michael D., Popov, Egor P.(1992). *Experimental Performance of Long Link in Eccentrically Braced Frames*. Journal of Structural Engineering. Vol. 118, No. 11, November.
10. 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 Berkeley.
11. Engelhardt, Michael D., Popov, Egor P. (1989). *On Design of Eccentrically Braced Frames*, Earthquake Spectra Vol. 5, No. 3.
12. Popov, Egor P., Engelhardt, Michael D. (1988). *Seismic Eccentrically Braced Frames*, Journal Construction Steel Research 10. P.321-354.
13. MSC/NASTRAN, *MSC/NASTRAN Handbook for Non Linear Analysis*, The MacNeal - Schwendler Corporation.