

Studi Numerik Usulan Jarak Pengaku Badan Diagonal Link Geser pada Struktur Baja Eccentrically Braced Frame Type-D

Kurdi

Program Doktor Bidang Keahlian Rekayasa Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan - Institut Teknologi Bandung. E-mail: kurdi1206@gmail.com

Bambang Budiono

Kelompok Keahlian Rekayasa Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan - Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, E-mail: b.budiono@lapi.itb.ac.id

Yurisman

Staf Pengajar Politeknik Negeri Padang, Kampus Politeknik Limau Manis Padang, E-mail: yurisman_pdg@yahoo.com

Abstrak

Struktur portal baja Eccentrically Braced Frame type-D (EBF-D) dengan link geser berpengaku badan dimodelkan dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak MSC Nastran. Pembebanan diberikan secara monotonik dan siklik dengan kontrol perpindahan. Model struktur link geser berpengaku badan vertikal didesain dengan jarak pengaku sesuai dengan ketentuan AISC 2005. Model yang lain didesain menggunakan link geser berpengaku badan diagonal dengan jarak pengaku antara $30t_w-d/5$ sampai dengan panjang link (e) atau didesain tidak memenuhi syarat AISC 2005. Parameter konfigurasi pengaku badan diagonal, jarak pengaku (a), panjang link (e), tebal badan link (t_w), tebal sayap link (t_f) dan tebal pengaku vertikal (t_{sv}) maupun diagonal (t_{sd}) diteliti dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan kinerja struktur portal EBF-D link geser berpengaku badan diagonal lebih baik dibandingkan dengan berpengaku vertikal dari segi kekuatan, kekakuan, daktilitas maupun penyerapan energi dissipasi akibat beban gempa. Jarak optimal antara pengaku badan vertikal yang menggunakan pengaku diagonal diusulkan sebesar 1,6 ($30t_w-d/5$) dengan ketebalan minimum pengaku badan diagonal 5,5 mm atau sama dengan tebal badan dan 8 mm untuk tebal minimum pengaku vertikal.

Kata-kata Kunci: Eccentrically Braced Frame type-D (EBF-D), link geser, beban monotonik, beban siklik, pengaku badan diagonal, pengaku badan vertikal, kekuatan, kekakuan, daktilitas dan energi dissipasi.

Abstract

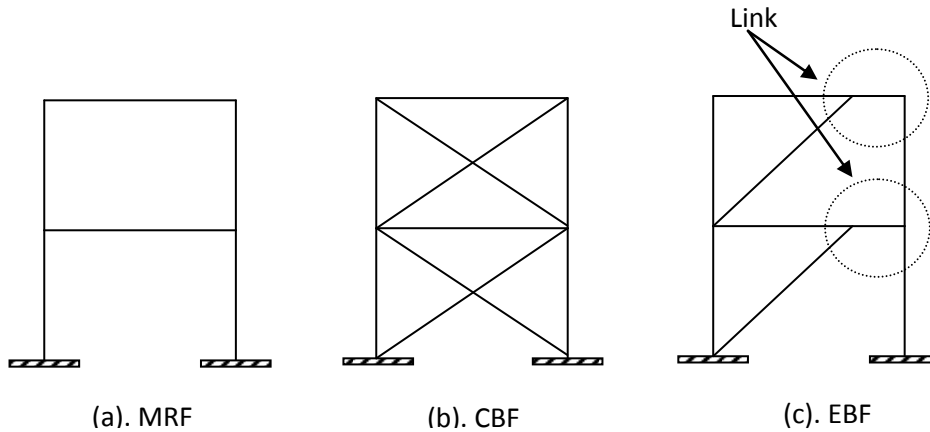
Eccentrically braced frame type-D (EBF-D) of steel structure with shear link web stiffener is modeled in this study using MSC Nastran software. The monotonic and cyclic loading is given under the displacement control. The shear link structure model with the vertical web stiffeners are designed with the spacing accordance to the provisions of AISC 2005. Other model is designed with shear link web stiffener diagonal with spacing between $30t_w-d/5$ to length of link (e) or designed ineligible to AISC 2005. The parameters of EBF-D with web stiffeners will be measured to : configuration of the web stiffeners, the space of stiffener (a), length of the link (e), thickness of web link (t_w), thickness of flange link (t_f) and the thickness vertical web stiffeners (t_{sv}) and diagonal (t_{sd}). The results show that the performance of the portal structure of EBF-D shear link diagonal of web stiffener is better than vertical web stiffener both in terms of strength, stiffness, ductility and the absorption of energy dissipation due to earthquake loads. Optimal space between vertical web stiffeners using diagonal web stiffener is 1.6 by $(30t_w-d/5)$ with minimum thickness of diagonal web stiffener is 5.5 mm or equal which thickness web link and thickness minimum vertical web stiffeners is 8 mm.

Keywords: Eccentrically braced frame type-D (EBF-D), shear link, monotonic loading, cyclic loading, diagonal web stiffener, vertical web stiffeners, strength, stiffness, ductility and energy of dissipations.

1. Pendahuluan

Penelitian yang pernah dilakukan (Gobarah & Ramadan, 1991; Kurdi, 2002 juga Popov, 1983) menunjukkan bahwa sistem Eccentrically Braced Frames (EBF) memiliki respons yang lebih baik dari sistem *Concen-*

trically Braced Frame (CBF) maupun sistem *Moment Resisting Frame (MRF)* ketika menerima beban gempa (siklik) pada saat struktur sudah leleh inelastik. Konfigurasi ketiga struktur portal MRF, CBF dan EBF ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Konfigurasi portal MRF, CBF dan EBF

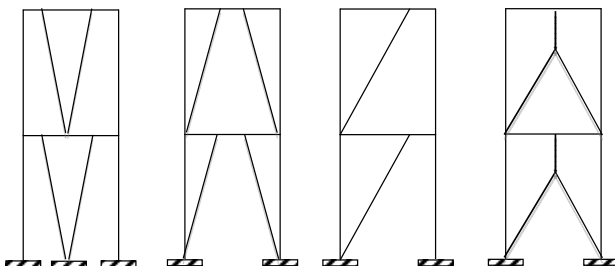
Respon yang baik dari struktur portal EBF disebabkan kemampuan menyerap energi yang sangat besar dan konsisten tanpa terjadi pengurangan kekakuan sampai sejumlah putaran (cycle) yang cukup tinggi (Hjelmstad dan Popov, 1983).

Sistem EBF penyerapan energi melalui mekanisme pembentukan sendi plastis pada elemen *active link*. Kelelahan yang terjadi pada *active link* ini dapat berupa kelelahan geser atau lentur dan diijinkan deformasi yang cukup besar. Prilaku elemen link dipengaruhi panjang-pendeknya dimana link berperilaku sebagai link momen (*moment link*) atau geser (*shear link*).

Berdasarkan studi yang telah dilakukan prilaku link sebagai link geser (*shear link*) dengan jarak dan tebal pengaku badan didesain sesuai ketentuan *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* terbukti memberikan tingkat dissipasi energi yang tinggi serta kapasitas inelastik yang lebih tinggi pula. Selanjutnya, dengan kombinasi parameter panjang elemen link dan konfigurasi pengaku badan baik vertikal maupun diagonal diharapkan diperoleh suatu sistem struktur portal EBF-D yang handal dari segi kekuatan, kekakuan, daktilitas maupun energi dissipasi saat menerima beban gempa.

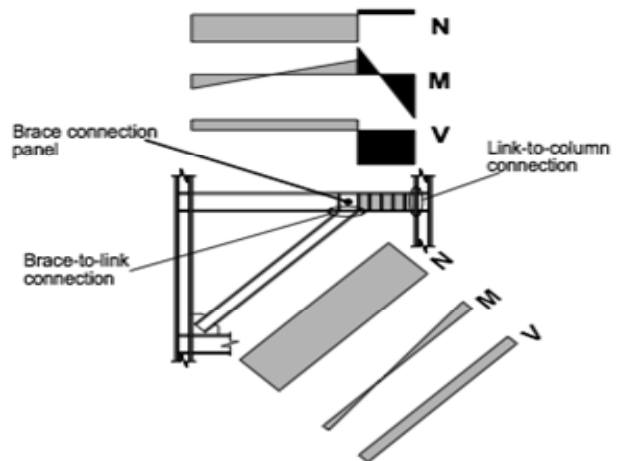
2. Sistem Struktur Berpenopang Eksentrik (EBF)

Berdasarkan *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* terdapat beberapa bentuk sistem portal EBF yang umum digunakan seperti pada Gambar 2.

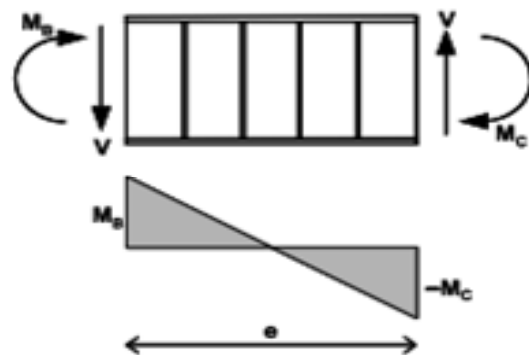


Gambar 2. Konfigurasi struktur portal EBF

Penyerapan energi gempa pada sistem EBF-D dilakukan melalui mekanisme pembentukan sendi plastis pada elemen link. Distribusi gaya struktur portal EBF-D dapat dilihat pada Gambar 3. Gaya geser pada link konstan sepanjang elemen link sedangkan momen dan gaya aksial cukup kecil. Dari gambar menunjukkan indikasi bahwa daerah ujung link yang merupakan pertemuan link dan kolom harus menjadi perhatian khusus demikian juga daerah sepanjang badan link (Okazaki et.al, 2005).



Gambar 3. Distribusi gaya geser, momen dan aksial pada EBF (Okazaki, et.al, 2005)



Gambar 4. Distribusi gaya geser, momen pada link EBF

2.1 Elemen link

Elemen link merupakan bagian dari balok yang direncanakan untuk mendissipasi energi saat terjadinya gempa kuat. Kelelahan yang terjadi pada elemen link berupa kelelahan geser atau kelelahan lentur. Tipe kelelahan ini sangat tergantung pada panjang link tersebut (Engelhardt dan Popov, 1989 serta Hashemi, 2011). **Gambar 4** menunjukkan distribusi gaya pada elemen link. Dari gambar, M_B dan M_C adalah momen pada ujung balok dan kolom link. Dan V adalah gaya geser link. Gaya aksial karena sangat kecil dapat diabaikan. Di dalam kasus ini, dimana persamaan momen ujung sama besarnya sehingga $M_B=M_C=M$. Persamaan statik dari link menjadi $V_e = 2M$. Untuk link dengan elastis-plastis sempurna dengan tidak ada interaksi antara momen dan geser, $e = 2 M_p/V_p$ dapat membagi panjang link antara link geser dengan link momen. Dimana M_p and V_p adalah momen dan kekuatan geser plastis sesuai dengan persamaan berikut :

$$V_p = 0.60 f_y (d - 2t_f) t_w \quad (1)$$

$$M_p = f_y Z_p \quad (2)$$

Dari persamaan, f_y adalah tegangan leleh baja, d adalah tinggi penampang link, t_w adalah tebal badan, t_f adalah tebal sayap dan Z_p adalah modulus plastis penampang (Okazaki et.al, 2005).

2.2 Pengaku badan (*web stiffener*)

Struktur dikatakan mempunyai perilaku yang baik pada kondisi inelastik jika struktur mampu menyerap/memancarkan energi dalam jumlah yang besar secara terus menerus tanpa mengalami kehilangan kekuatan dan kekakuan sampai siklus pembebanan yang tinggi. Tekuk badan yang terjadi pada link geser (*shear link*) menimbulkan sejumlah kehilangan kemampuan mendissipasi energi dan kapasitas daya dukung beban. Gejala ini dapat dikontrol dan diperlambat dengan penambahan pengaku badan.

a. Pengaku badan vertikal

Menurut *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* perencanaan pengaku badan vertikal link meliputi :

1. Pengaku pelat badan pada kedua ujung link.

Dititik pertemuan dengan batang bresing, pada link harus dipasang pengaku setinggi badan link dan berada dikedua sisi pelat badan link. Pengaku tersebut harus mempunyai lebar total tidak kurang dari $(bf - 2tw)$ dan ketebalan yang tidak kurang dari nilai terbesar dari $0,75tw$ atau 10 mm, dengan bf dan tw adalah lebar pelat sayap dan tebal pelat badan link.

1. Pengaku badan antara link

Selain pada kedua ujung link, disepanjang link juga dibutuhkan pengaku badan antara (link

intermediate web stiffeners) dengan besar spasi tergantung pada sudut rotasi yang terjadi pada link. Untuk panjang link $(e) \leq 1,6 M_p/V_p$ jarak pengaku badan $30tw - d/5$ dengan rotasi sebesar 0,08 rad dan jarak pengaku $52tw-d/5$ dengan rotasi $\leq 0,02$ rad.

Berdasarkan hasil penelitian (Gobarah dan Ramadan, 1991) terhadap link pendek terbukti bahwa link dengan pengaku badan menghasilkan kemampuan geser yang lebih besar dengan *loop hysteretic* yang lebih gemuk dan stabil. Beberapa peneliti lain (Kasai dan Popov, 1986) telah menetapkan beberapa ketentuan sederhana tentang hubungan antara jarak pengaku badan (*web stiffener spacing*) dengan sudut rotasi inelastik maksimum (γ_p) hingga awal terjadinya tekuk badan. Peneliti lain (Richards dan Uang, 2002, 2005) juga telah meneliti pengaruh rotasi link dan juga ketebalan dari sayap link dari struktur EBF.

Peneliti lain (Bulić et.al., 2011) melakukan pengujian secara eksperimental dengan penambahan pengaku vertikal pada link geser yang menghasilkan peningkatan gaya geser antara 15% s.d 40% pada daerah inelastik. Penelitian secara eksperimental (Hjelmstad dan Popov, 1983 serta Malley and Popov, 1983) dengan variasi panjang link akibat beban gempa menunjukkan bahwa pengaku link menjadi elemen penting untuk mengontrol dan membatasi tekuk awal pada sayap saat badan sudah dalam keadaan *inelastic*.

b. Pengaku badan diagonal

Penelitian elemen link dengan pengaku badan diagonal (Yurisman dkk, 2010) baik secara numerik maupun secara eksperimental mulai diteliti. Hasil penelitian dihasilkan bahwa penambahan pengaku diagonal secara signifikan berpengaruh kepada kinerja *link* baik kekakuan, kekuatan maupun energi dissipasi. Disamping itu ketebalan pengaku dan bentuk geometri juga berpengaruh pada kinerja *link*. Dimana pengujian dilakukan hanya untuk model elemen link dan belum menggunakan struktur EBF disamping itu usulan jarak pengaku diagonal juga belum diusulkan dalam penelitian tersebut. Hal ini yang mendorong peneliti untuk melakukan penelitian kinerja struktur EBF-D dengan link geser berpengaku badan diagonal.

3. Kajian Numerik

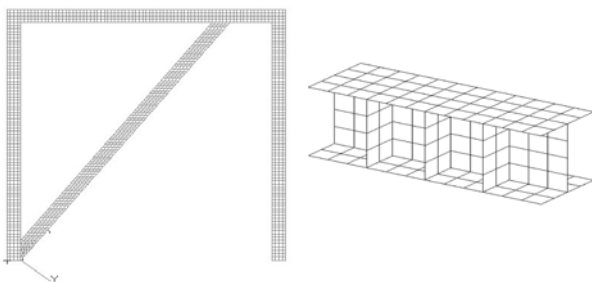
Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan metode elemen hingga non linear. Struktur dimodelkan sebagai elemen shell CQUAD dengan menggunakan perangkat lunak komputer MSC/ NASTRAN dan dijepit pada kedua ujungnya dalam 6 derajat kebebasan : 3 rotasi (Rx, Ry, Rz) dan 3 translasi (Tx, Ty, Tz). Pada salah satu ujung balok diberi beban perpindahan secara bertahap (*incremental*). Asumsi yang digunakan dalam model menggunakan struktur portal EBF-D dengan link geser. Kriteria leleh

menggunakan *Von Mises* dengan *hardening rule* merupakan kombinasi antara *isotropic* dan *kinematic*. Deformasi besar pada sambungan antara balok dan kolom dipertimbangkan dalam model.

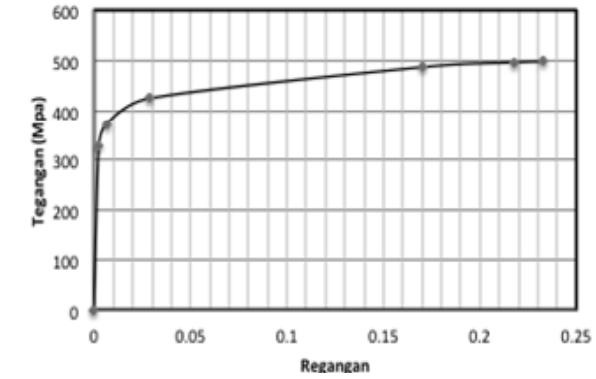
Untuk mengontrol akurasi dari model yang dibuat dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan hasil uji eksperimen dari peneliti Bulić et.al, 2011. Model struktur EBF-D dimodelkan dengan panjang dan tinggi masing-masing 2 meter serta panjang link 300 mm. Profil yang digunakan profil HEA ukuran 100.100.5.8 mm dengan tebal pengaku badan vertikal antara 10 mm dan pengaku pada ujung link setebal 15 mm serta jarak pengaku 75 mm. Pemodelan struktur dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Kurva tegangan dan regangan model diambil dari kurva pengujian yang dilakukan oleh peneliti Yurisman dkk, 2010 sebagaimana **Gambar 6**. Pembebanan dilakukan secara monotonik dan siklik dengan pola pembebanan sesuai AISC 2005 sebagaimana **Gambar 7**.

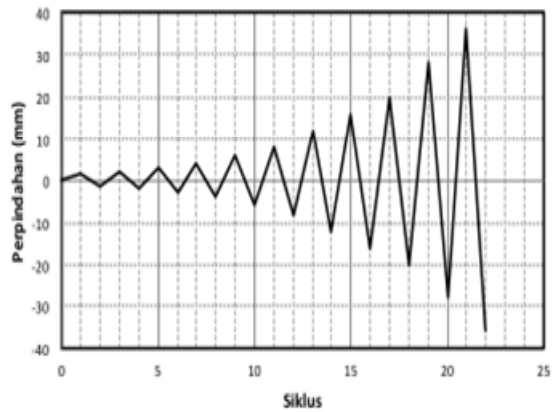
Selanjutnya dilakukan usulan pemodelan struktur menggunakan model link yang diuji secara eksperimental oleh peneliti Yurisman dkk., 2010. Struktur di modelkan seperti **Gambar 8** menggunakan profil WF 200.100. 5,5.8 mm dengan panjang link 400 mm dan tebal pengaku vertikal 8 mm dan pengaku badan diagonal 5,5 mm. *Modulus elastis* (E) yang digunakan sebesar 133.082 Mpa dengan *poison ratio* (ν) sebesar 0,3. Parameter konfigurasi model pengaku diagonal diteliti pertama dalam penelitian ini. Selanjutnya diusulkan jarak optimal pemasangan pengaku bandan diagonal.



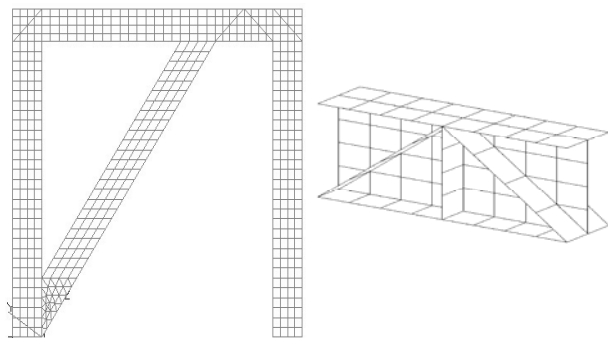
Gambar 5. Pemodelan struktur dan elemen link



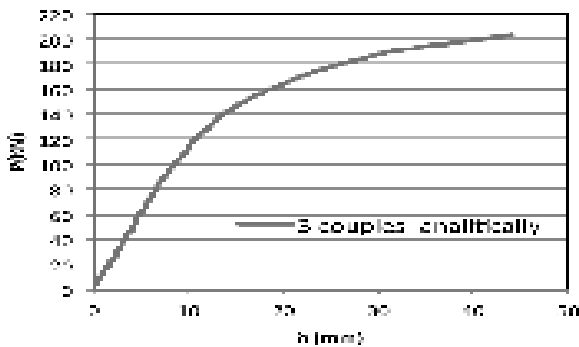
Gambar 6. Kurva tegangan dan regangan untuk model numerik



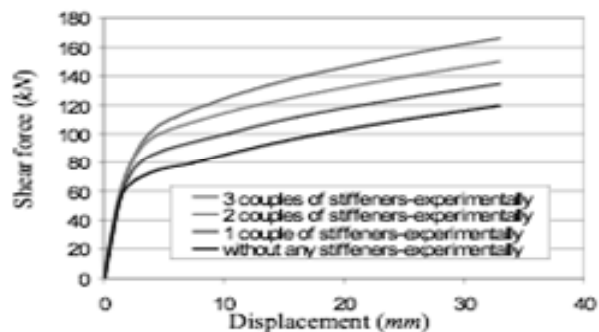
Gambar 7. Pola pembebanan siklik sesuai AISC 2005



Gambar 8. Usulan pemodelan struktur dan elemen link EBF-Type D



a. Numerik



b. Eksperimen (Bulić et.al, 2011)

Gambar 9. Perbandingan kurva beban (P) dengan perpindahan (δ) antara numerik dengan eksperimental

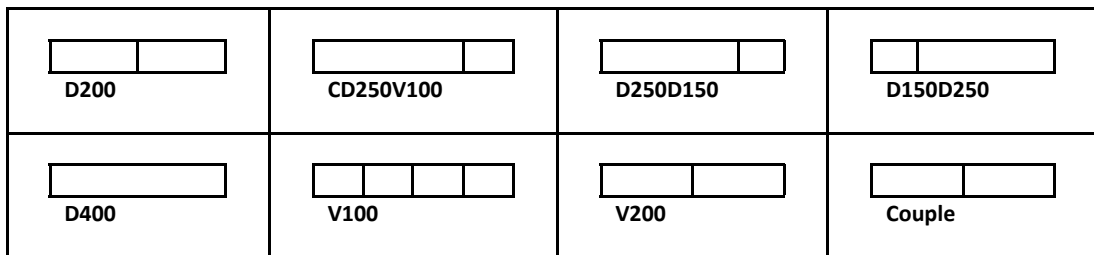
3.1 Pengaruh konfigurasi model pengaku elemen link

Elemen link yang digunakan pada model struktur **Gambar 5** dimodelkan dengan berbagai variasi model menggunakan pengaku badan vertikal dan diagonal. Gambar konfigurasi elemen link dengan pengaku badan vertikal dan diagonal dapat dilihat pada **Gambar 10**. Kinerja masing-masing struktur EBF-D ditunjukkan pada **Gambar 11**. Seluruh model yang menggunakan pengaku badan diagonal didesain dengan jarak pengaku tidak memenuhi jarak yang disyaratkan oleh AISC 2005 atau lebih besar dari $30t_w - 5/d$. Dari gambar secara umum penambahan pengaku diagonal badan pada daerah pengaku vertikal meningkatkan kinerja struktur. Dari delapan model elemen link terlihat kinerja terbaik dari segi kekuatan, kekakuan serta kestabilan elemen link di tunjukkan oleh elemen link dengan pengaku diagonal model D200 yang ditempatkan sejauh 1,6 ($30t_w - d/5$) antara jarak pengaku vertikal. Selanjutnya

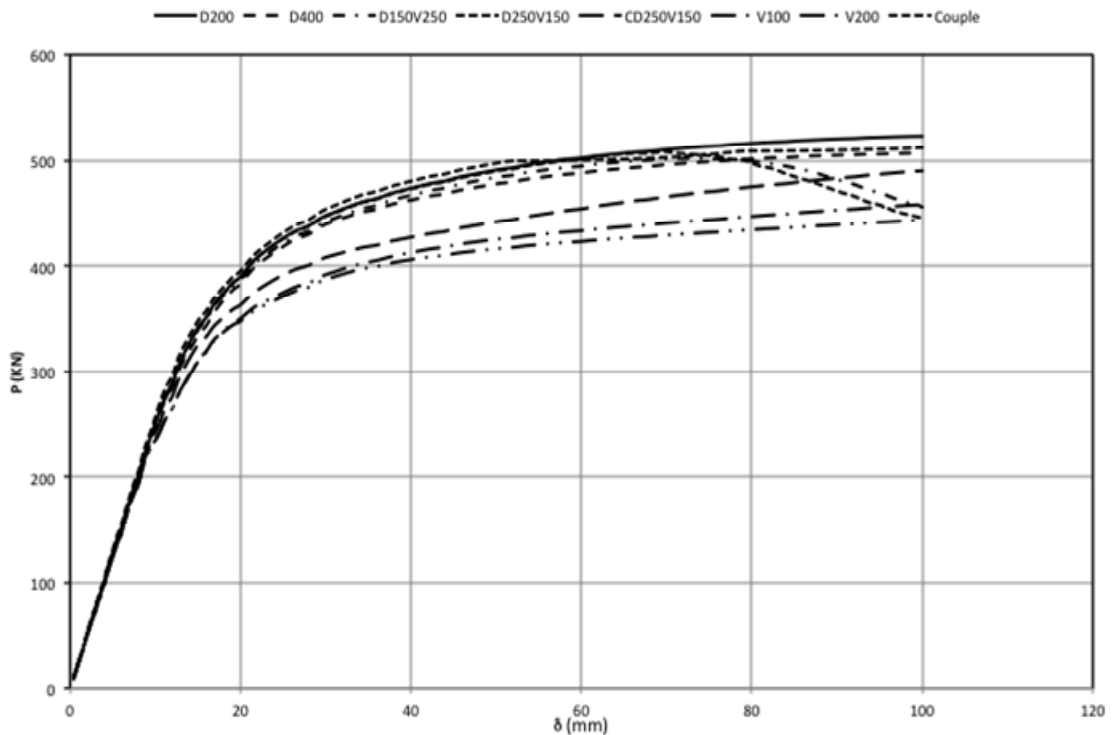
model ini digunakan untuk membandingkan kinerja struktur portal dengan link berpengaku vertikal yang didesain sesuai dengan syarat AISC 2005.

3.2 Perbandingan kinerja antara struktur portal EBF-D berpengaku badan vertikal dengan diagonal

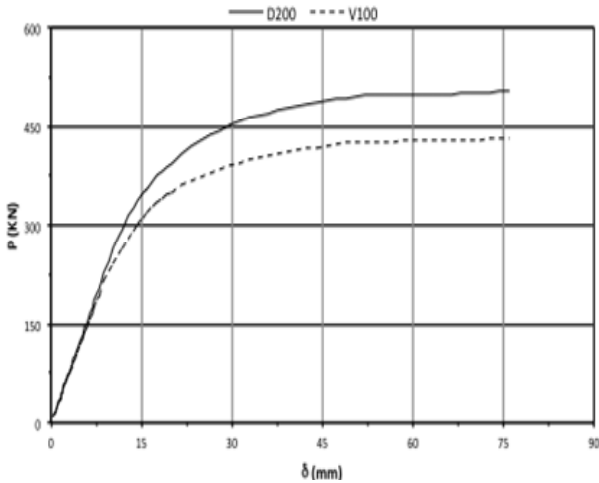
Kinerja struktur EBF-D dengan link geser berpengaku badan diagonal yang didesain tidak memenuhi syarat ketentuan AISC 2005 yang selanjutnya disebut model D200 dibandingkan dengan struktur EBF-D dengan link geser berpengaku badan vertikal yang selanjutnya disebut model V100 dapat dilihat pada **Gambar 12** untuk hubungan antara gaya dengan perpindahan. Dari gambar terlihat bahwa model D200 dengan penambahan pengaku diagonal pada daerah pengaku vertikal menyebabkan peningkatan gaya pada daerah elastis maupun plastis setelah badan elemen link leleh yang diikuti dengan leleh pengaku badan diagonal. Penambahan pengaku badan diagonal juga meningkatkan kekakuan struktur pada daerah elastis maupun plastis sebagaimana **Gambar 13**.



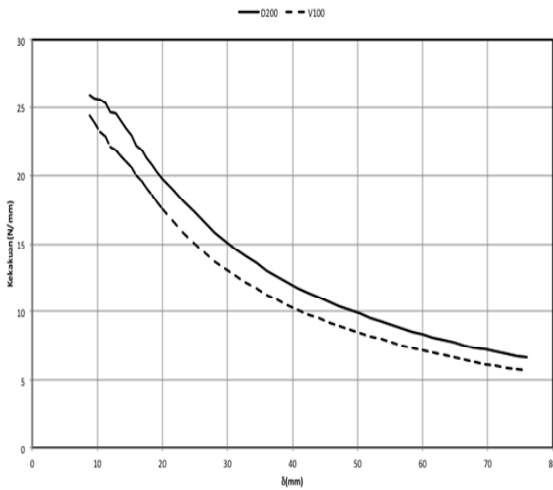
Gambar 10. Konfigurasi model elemen link geser berpengaku badan vertikal dan diagonal



Gambar 11. Kurva pengaruh konfigurasi model pengaku badan elemen link



Gambar 12. Kurva beban dan perpindahan untuk struktur model D200 dan V100



Gambar 13. Kurva perbandingan kekakuan struktur portal model D200 dengan V100

Kestabilan model D200 juga sangat baik dimana rotasi link yang disyaratkan sebesar 0,08 rad pada saat perpindahan 36 mm dapat dicapai tanpa terjadi tekuk pada link dan pengu-rangan beban yang ditahan struktur sebagaimana dapat

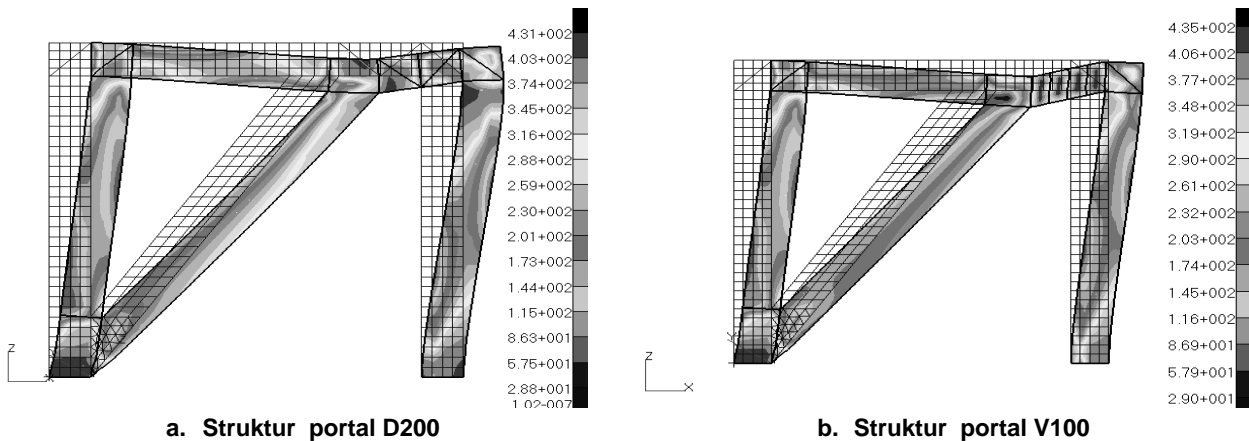
dilihat pada Gambar 14 distribusi tegangan Von Mises pada saat struktur berotasi sebesar 0,08 rad.

Nilai daktilitas (μ) yang diperoleh juga sangat baik sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa struktur portal model D200 lebih baik dibandingkan dengan struktur portal V100 baik dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitas.

Struktur portal model D200 mempunyai kemampuan dissipasi energi gempa cukup baik hal ini dapat dilihat dari kurva *hysteretic* yang dihasilkan cukup gemuk, stabil tanpa ada pincing dan terlihat efek dari *baushinger* sebagaimana terlihat pada Gambar 15 untuk kurva hubungan antara gaya dengan perpindahan. Pada pembebanan siklik rotasi link sebesar 0,08 rad sebagaimana yang disyaratkan dapat dicapai sehingga struktur dapat dikatakan cukup baik untuk menyerap energi gempa. Besarnya energi dissipasi dapat dilihat pada Gambar 16. Pengaruh panjang link (e), tebal pengaku vertikal (t_{sv}), tebal pengaku diagonal (t_{sd}), tebal badan dan tebal sayap diteliti dari model D200 ini.

3.3 Pengaruh panjang elemen link

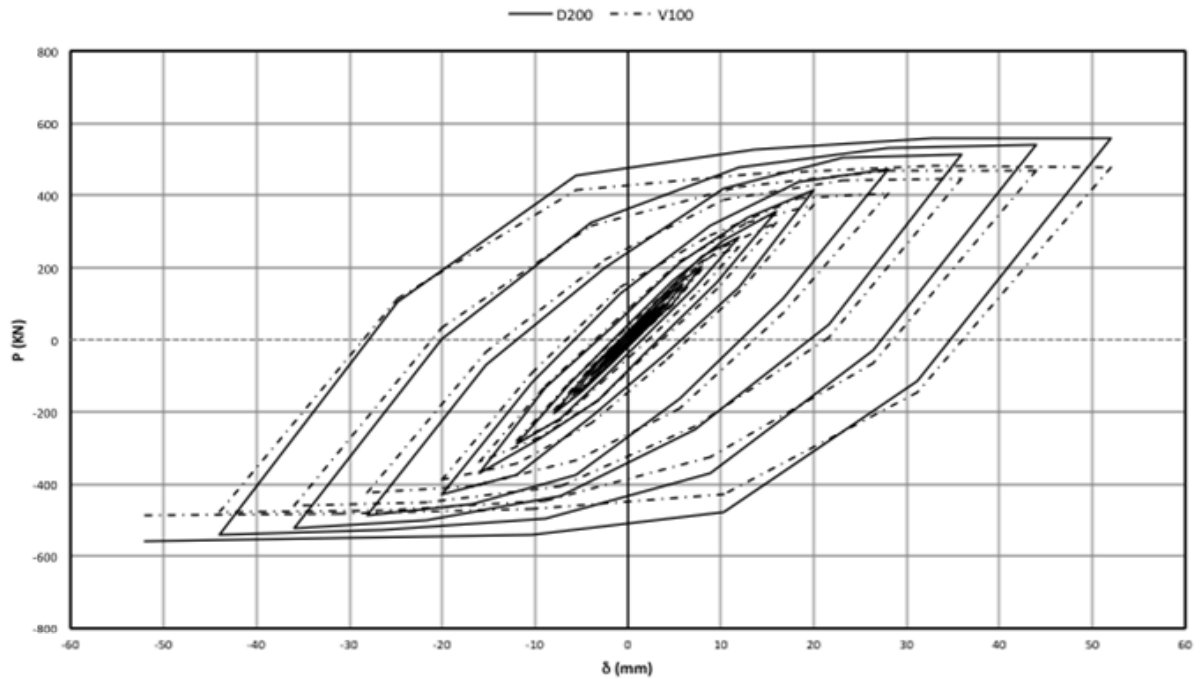
Panjang elemen link divariasikan antara 300 sampai dengan 400 mm dimana panjang ini masih dalam batasan sebagai panjang elemen link geser. Elemen link dimodelkan dengan penambahan pengaku badan diagonal pada daerah antara pengaku badan vertikal yang diletakkan pada posisi setengah dari panjang link. Jarak pengaku vertikal pada link yang menggunakan pengaku badan diagonal didesain tidak memenuhi jarak yang disyaratkan AISC 2005 untuk melihat kinerja struktur dengan penambahan pengaku diagonal. Hasil perbandingan panjang link dengan pengaku badan diagonal dapat dilihat pada Gambar 17 dimana kinerja terbaik dihasilkan pada elemen link dengan jarak 200 mm (model D200) dengan panjang link mendekati nilai 1,6 Mp/Vp dan kinerja terendah ditunjukkan untuk jarak 175 mm (model D175) yang merupakan jarak antara link terpendek dengan link terpanjang.



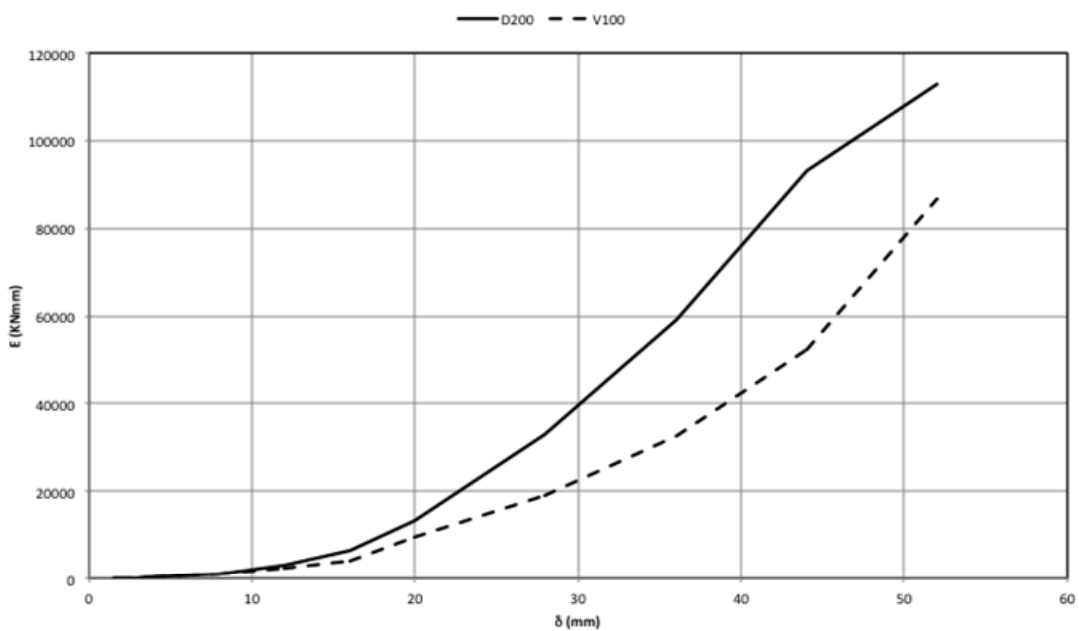
Gambar 14. Pola keruntuhan dan distribusi tegangan vonmises model D200 dan V100 saat rotasi struktur 0,08 rad

Tabel 1. Tegangan leleh, ultimit dan daktilitas

Model	Monotonik					Gaya	Siklik				
	P_y	δ_y	P_u	δ_u	μ		P_y	δ_y	P_u	δ_u	μ
V100	30.8	1.3	434.2	90.4	70.6	Tarik	30.8	1.3	478.1	76.0	84.4
						Tekan	25.4	0.9	487.1	76.0	58.5
D200	32.5	1.3	506.3	82.4	64.6	Tarik	32.6	1.3	558.0	52.0	40.6
						Tekan	26.8	0.9	559.3	52.0	57.8



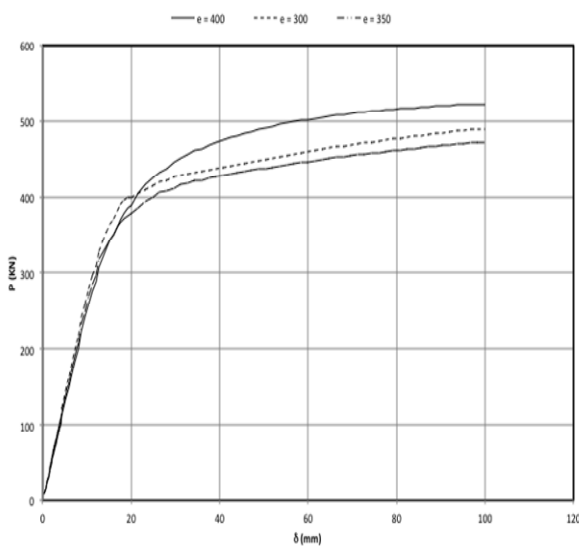
Gambar 15. Kurva *hysteretic* struktur model D200 dengan V100



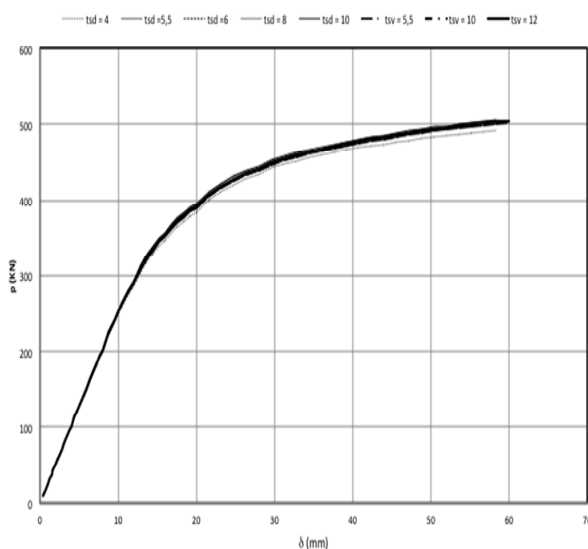
Gambar 16. Perbandingan penyerapan energi struktur portal model D200 dengan V100

3.4 Pengaruh ketebalan pengaku link

Variasi ketebalan pengaku badan baik vertikal yang divariasikan dari 5,5 sampai dengan 12 mm dan diagonal yang divariasikan dari 4 sampai dengan 10 mm di tunjukkan pada **Gambar 18**. Terlihat bahwa perubahan ketebalan pengaku baik vertikal maupun diagonal tidak mempengaruhi penambahan beban yang dapat ditahan oleh struktur secara signifikan karena fungsi dari pengaku untuk mencegah terjadinya tekuk awal pada sayap sehingga elemen link mampu berotasi dengan deformasi yang cukup besar tanpa kehilangan gaya. Namun demikian ketebalan link tetap harus dibatasi untuk mencegah tekuk awal dimana kinerja terbaik dihasilkan dengan ketebalan pengaku badan diagonal 5,5 mm atau sama dengan ketebalan badan link dan ketebalan pengaku badan vertikal sebesar 8 mm.



Gambar 17. Kurva variasi panjang link antara 300 sampai dengan 400



Gambar 18. Kurva variasi tebal pengaku badan vertikal (tsv) dan diagonal (tsd)

3.5 Pengaruh ketebalan badan link

Variasi badan link diteliti dari 4 sampai dengan 10 mm sebagaimana ditunjukkan **Gambar 19**. Ketebalan link berpengaruh terhadap peningkatan gaya struktur hal ini disebabkan link pendek pola keruntuhan atau kelelahan terjadi pada badan link. Semakin tebal elemen badan link semakin memperlambat laju kelelahan badan yang selanjutnya meningkatkan gaya yang dapat ditahan oleh struktur.

3.6 Pengaruh ketebalan sayap link

Variasi ketebalan sayap diteliti dari 8 sampai dengan 12 mm sebagaimana ditunjukkan **Gambar 20**. Pengaruh ketebalan sayap juga sangat kecil terhadap kinerja struktur karena kelelahan elemen link terjadi pada badan link dan pengaku badan baik vertikal maupun diagonal menjaga link agar tidak terjadi tekuk pada sayap link.

4. Kesimpulan

1. Kinerja struktur EBF-D dengan pengaku badan diagonal lebih baik dibandingkan dengan pengaku vertikal dari segi kekuatan, kekakuan, daktilitas maupun energi dissipasi.
2. Penggunaan pengaku badan diagonal pada struktur EBF-D yang ditempatkan di daerah untuk jarak pengaku vertikal antara $30t_w-d/5$ sampai dengan panjang link (e), menghasilkan kinerja struktur yang optimal jika ditempatkan pada $1,6 (30t_w-d/5)$ dimana ketebalan pengaku badan diagonal sama dengan badan link atau 5,5 mm dan pengaku badan vertikal minimum 8 mm.
3. Parameter tebal sayap (t_f), tebal pengaku baik vertikal (t_{sv}) atau diagonal (t_{sd}) tidak berpengaruh signifikan terhadap kinerja struktur.
4. Parameter konfigurasi pengaku diagonal, panjang link (e), dan tebal badan (t_w) serta tebal sayap di luar link berpengaruh signifikan terhadap kinerja struktur.

Daftar Pustaka

- American Institute of Steel Construction, 2005, *Seismic Provision for Structural Steel Buildings*, AISC, Inc.
- Bulić, M., Androić, B., Čaušević, M., 2011, Experimental Investigation of Short Links in Shear, *Jurnal EUROSTEEL*, Budapest, Hungary.
- Engelhardt, M.D. and Popov, E.P., 1989, *Behavior of Long Links in Eccentrically Braced Frame*, Report No. UCB/EERC-89/01. Berkeley: Earthquake Engineering Research Centre, University of California.

- Gobarah, A. and Ramadan, T., 1991, Seismic Analysis of Links of Various Lengths in Eccentrically Braced Frames, *Can. Journal of Civ. Eng.*, 140-148.
- Hashemi, S.H., 2011, *Ductility and ultimate Strength of Eccentric Braced Frame*, International Conference on Advanced Materials Engineering, IPCSIT Vol.15, Singapore.
- Hjelmstad, K.D. and Popov, E.P., 1983, *Seismic Behavior of Active Beam Links in Eccentrically Braced Frames*, EERC Report 83-15, Univ. of California, Berkeley, CA.
- Kasai, K. and Popov, E.P., 1986, General Behavior of WF Steel Shear Link Beams, *Journal of the Structural Division*. February 112(2), 362-382. ASCE.
- Kasai, K. and Popov, E.P., 1986, *On Seismic Design of Eccentrically Braced Frame*, University of California, Berkeley, California.
- Kurdi, 2002, *Kajian Perilaku Struktur Rangka Baja Diperkaku Eksentrik Tipr-D Akibat Beban Siklik*, Tesis Magister Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.
- Malley, J.O. and Popov, E.P., 1983, Shear Links in Eccentrically Braced Frames, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, vol. 109, no. 10.
- Okazaki, T., Arce, G., Ryu, H.C., and Engelhardt, M.D., 2005, Experimental Study of Local Buckling, Overstrength, and Fracture of Links in Eccentrically Braced Frames, *Journal of Structural Engineering*.
- Popov, E.P., 1983, Recent Research on Eccentrically Braced Frames, *Journal of Engineering Structures*, 5(1), pp. 3-9.
- Richards, P.W. and Uang, C.M., 2005, Effect of Flange Width-Thickness Ratio on Eccentrically Braced Frames Link Cyclic Rotation Capacity, *Journal of Structural Engineering*.
- Richards, P.W. and Uang, C.M., 2002, *Evaluation of Rotation Capacity and Over strength of Links in Eccentrically Braced Frames (Phase 1)*, Report No. SSRP-2002/18, Department of Structural Engineering, University of California at San Diego, La Jolla, CA.
- Yurisman, Budiono, B., Mustopo, M., and Suarjana, M., 2010, Numerical Analysis of the Shear Link Using Diagonal Web Stiffener of EBF Under Cyclic Loading (In Indonesian), *Journal Teknik Sipil ITB*, 17(1), Bandung.
- Yurisman, Budiono, B., Moestopo, M., & Suarjana, M., 2010, Behavior of Shear Link of WF Section with Diagonal Web Stiffener of Eccentrically Braced Frame (EBF) of Steel Structure, *ITB J. Eng. Sci.* pp.103-128, Bandung

