

VARIASI BENTUK PENGAKU DIAGONAL GANDA TIPE *KNEE* PADA PORTAL BAJA BIDANG BERTINGKAT

Hendro Suseno

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang

Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail : hendros@brawijaya.ac.id

ABSTRAK

Apabila gedung dengan struktur portal baja bidang terbuka semakin tinggi atau jumlah tingkat semakin banyak maka stabilitas terhadap beban horisontal menjadi semakin menurun, hal ini terlihat dari perpindahan lateral yang juga semakin bertambah secara berarti. Salah satu usaha untuk mengurangi perpindahan lateral ini adalah dengan memasang pengaku diagonal (*bracing*) ganda tipe *K*. Dari hasil penelitian sebelumnya tata letak pengaku diagonal ganda yang keduanya dipasang pada bentang tengah struktur portal bidang empat bentang memberikan perpindahan lateral yang minimum sehingga kestabilan lateral adalah yang paling maksimum. Kelemahan pengaku diagonal ini adalah keterbatasannya dalam menyediakan ruang untuk pintu, jendela dan ventilasi, untuk itu bentuk huruf *K* ini harus dimodifikasi dengan membuka titik simpul puncak dan mengangkat titik simpul kaki secara bersamaan sehingga disebut tipe *Knee*. Dengan memvariasi bentuk ini maka geometri struktur berubah, besar dan susunan elemen matriks kekakuan global berubah, determinan berubah dan perpindahan lateral berubah sehingga kestabilan lateral juga berubah. Untuk itu adalah hal yang menarik diteliti bila variasi bentuk pengaku diagonal ganda tipe *Knee* direncanakan seefektif mungkin secara struktural sehingga kinerja gedung tetap optimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perilaku struktur portal baja bidang bertingkat dengan variasi bentuk pengaku diagonal ganda tipe *Knee* terhadap beban horisontal dan bentuk yang paling efektif dalam menahan beban tersebut. Pada penelitian ini akan digunakan struktur portal baja bidang bertingkat dengan pengaku diagonal tipe *Knee* dengan tiga variasi bentuk dan sebagai kontrol digunakan pengaku diagonal tipe *K* standar dan terbuka. Beban yang digunakan adalah beban gravitasi dan beban gempa statis sesuai dengan peraturan, semua tumpuan diambil jepit, jumlah tingkat diambil 15, 21 dan 27 lantai, analisis struktur dilakukan dengan *software STAAD Pro* sedangkan desain penampang dikerjakan secara manual sesuai dengan SNI 03-1729-2002.

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa variasi bentuk pengaku diagonal ganda tipe *Knee* ternyata relatif tidak mempengaruhi perpindahan lateral pada jumlah tingkat yang dievaluasi sehingga kestabilan lateral masih aman, bentuk-bentuk variasi yang dibahas relatif memberikan hasil yang aman terhadap kestabilan lateral.

Kata kunci : *knee*, portal, perpindahan, variasi-pengaku

PENDAHULUAN

Gedung tinggi merupakan suatu bangunan modern yang digunakan untuk menampung dan mendukung kegiatan-kegiatan manusia yang berada didalamnya, selama umurnya gedung ini haruslah memberikan keamanan dan kenyamanan bagi penghuninya. Selain itu gedung ini merupakan sistim fisik yang terdiri dari struktur pendukung utama yang bersifat struktural dan unsur-unsur pelengkap yang bersifat non struktural.

Adalah struktur pendukung utama yang akan mendukung beban-beban luar secara dominan seperti beban gravitasi dan beban horisontal akibat angin maupun gempa sehingga perancangannya merupakan bagian yang sangat penting.

Salah satu bentuk yang umum struktur pendukung utama adalah portal baja bidang terbuka yang mempunyai kelebihan pada besarnya rasio antara berat terhadap daya dukungnya namun struktur menjadi langsing sehingga kurang stabil dalam menahan beban horisontal. Semakin tinggi atau banyak

jumlah tingkat gedung tinggi maka kestabilan lateral ini semakin menurun walaupun desain kekuatan elemen-elemen struktur sudah memenuhi kriteria perancangan. Hal ini dapat dilihat dari besarnya perpindahan lateral maksimum yang semakin meningkat secara berarti melebihi indeks simpangan lateral yang ditentukan.

Usaha untuk mengurangi besarnya perpindahan lateral dan meningkatkan stabilitas lateral portal bidang ini adalah dengan menambah elemen pengaku diagonal (*bracing*) tunggal yang dipasang pada bentang tertentu ke arah vertikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaku diagonal tunggal tipe *K* memberikan perpindahan lateral yang paling kecil dari beberapa tipe, selain itu pengaku ini lebih ekonomis dalam hal pemakaian bahan dan praktis. Apabila masih diinginkan mengurangi perpindahan lateral lagi maka dapat digunakan pengaku diagonal ganda atau bentang banyak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tata letak pengaku diagonal ganda tipe *K* yang keduanya dipasang pada bentang tengah memberikan perpindahan lateral yang terkecil sehingga yang paling stabil terhadap beban lateral. Kelemahan pengaku diagonal ganda ini adalah keterbatasannya dalam menyediakan ruang pembukaan untuk pemasangan pintu, jendela atau ventilasi.

Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan cara memvariasikan huruf *K* sedemikian rupa sesuai dengan keperluan, misalnya dengan membuka titik simpul puncak atau mengangkat kedua titik simpul kaki secara bervariasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar pembukaan titik simpul puncak dan pengangkatan kedua titik simpul kaki akan meningkatkan perpindahan lateral dan kestabilan akan menurun, pembukaan dan pengangkatan sampai 1.00 meter relatif memberikan hasil yang paling memuaskan.

Cara lain adalah dengan mencoba mengkombinasi antar keduanya, yaitu pembukaan titik simpul puncak dan pengangkatan kedua titik simpul kaki secara bersamaan pada pengaku diagonal ini, tipe ini biasanya disebut *Knee*. Adanya variasi bentuk pengaku diagonal ganda tipe *Knee* ini akan menyebabkan bentuk geometri struktur portal bidang bervariasi sehingga susunan dan besar elemen-elemen matriks kekakuan pada persamaan global juga bervariasi. Bila diambil penyelesaian dengan metode inversi, maka variasi tersebut akan mengakibatkan determinan matriks kekakuan bervariasi sehingga perpindahan lateral bervariasi dan kestabilan lateral juga berubah. Variasi bentuk pengaku diagonal tipe *Knee* ini diambil sedemikian rupa sehingga masih memberikan jaminan stabilitas yang cukup akibat beban horisontal yang bekerja.

Dari uraian diatas dapat dirumuskan, bagaimana pengaruh variasi bentuk pengaku diagonal ganda tipe *Knee* dengan variasi tingkat terhadap perpindahan lateral dan bentuk yang paling efektif dalam menahan beban horisontal.

TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perilaku struktur portal baja bidang bertingkat dengan variasi bentuk pengaku diagonal ganda tipe *Knee* terhadap beban horisontal dan bentuk yang paling efektif dalam menahan beban tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur portal baja bidang adalah suatu struktur yang dibentuk dari penyusunan elemen-elemen balok-kolom dari profil baja dalam bidang melalui titik simpul pada ujung-ujungnya yang dianggap kaku namun masih dapat

berputar tanpa perubahan sudut antar elemen sebelum dan sesudah beban bekerja.

Sosrowinarso & Ananta Sofwan (1989) mengklasifikasikan struktur portal menjadi portal terbuka (*open frame*) yang digunakan untuk gedung rendah tiga sampai empat tingkat dan portal dengan pengaku (*braced frame*) yang digunakan untuk gedung tinggi atau bertingkat banyak. Pemasangan elemen diagonal ini bertujuan untuk menambah kekakuan struktur dalam menahan beban horisontal, elemen pengaku diagonal ini merupakan elemen batang yang hanya akan menahan gaya aksial saja dan dipasang pada bidang-bidang tertentu baik sisi luar atau dalam namun bukan sisi diagonal ruang.

Gaylord, Jr *et. al.* (1992), Schuller (2001) dan McCormac & Nelson, Jr (2003) menyebutkan bahwa sistim struktur portal bertingkat akan memerlukan pengaku diagonal untuk menahan beban horisontal bila rasio tinggi-lebar terkecil gedung tinggi adalah 5.0 atau lebih. Pengaku diagonal tipe *K* dipasang secara mendatar dan menopang balok bagian atas sehingga dapat mengurangi momen lentur, selain itu lebih menguntungkan karena pembukaan ruangan menjadi lebih dimungkinkan serta akan lebih menghemat kebutuhan bahan. Tipe lain yang merupakan pengembangan tipe *K* adalah tipe *Knee* yang juga memberikan keuntungan-keuntungan sama dengan sebelumnya. Sistim struktur portal dengan pengaku diagonal ini banyak digunakan pada gedung dengan ketinggian 20 sampai 60 tingkat dan akan efektif pada ketinggian 40 tingkat.

Menurut McCormac & Nelson, Jr (2003), beban-beban horisontal pada gedung tinggi akan menghasilkan momen guling yang relatif berarti sehingga perlu dipertimbangkan seperti beban gravitasi, momen ini mungkin dapat ditahan oleh kekuatan kolom-

kolom yang ada namun geseran horisontal pada tiap-tiap tingkat memerlukan struktur khusus baik berupa sambungan tahan momen atau pengaku diagonal. Secara praktis struktur portal yang harus menyediakan kekakuan lateral untuk menahan beban horisontal karena kekakuan lateral dari pelat dan tembok sulit diperkirakan dan tidak dapat diandalkan. Struktur gedung tinggi harus didesain sedemikian rupa sehingga perpindahan lateral yang terjadi akibat beban horisontal tidak terlalu besar sehingga tidak merusak elemen-elemen non struktural maupun memberikan rasa nyaman dan aman pada penghuninya. Untuk itu perpindahan ini dibatasi dengan mendefinisikan Indeks Simpangan (*Drift Index*) yang besarnya antara 0.0015 sampai 0.0030.

Beberapa metode digunakan untuk analisis struktur portal baja bidang ini, Sosrowinarso & Ananta Sofwan (1989) dan Smith (1996) menggunakan Teori Energi Potensial Stasioner pada analisis portal satu tingkat dan satu bentang dengan pengaku diagonal tipe *K* dengan asumsi deformasi aksial balok dan kolom diabaikan, dengan metode kekakuan ini perpindahan lateral dan gaya dalam dapat diperoleh, selanjutnya dikembangkan pada portal bertingkat banyak dengan prinsip superposisi. Menurut MacGinley (1989) pada analisis portal bertingkat banyak dan bentang banyak yang menahan beban horisontal secara manual dapat disederhanakan hanya pada bagian bentang yang mengandung pengaku diagonal saja sehingga perhitungannya menjadi mudah.

Pada analisis diatas digunakan idealisasi dan asumsi untuk mempermudah perhitungan terutama untuk tujuan praktis, namun bila geometri portal semakin rumit atau diinginkan perilaku yang lebih teliti maka analisis harus dilakukan secara lebih lengkap misalnya pada seluruh geometri bukan sebagian atau dengan

meningkatkan derajat kebebasan secara lengkap pada portal bidang. Konsekuensi peningkatan ini adalah perhitungan semakin banyak dan rumit apalagi bila digunakan pengaku diagonal ganda atau bentang banyak, namun dengan berkembangnya teknologi komputasi struktur hal ini tidak akan menjadi kendala lagi.

Salah satu metode yang praktis adalah Metode Matriks, metode ini merupakan metode kekakuan langsung yang lebih mudah digeneralisasi sehingga mudah dikomputasi. Weaver, Jr & Gere (1996) menyampaikan bahwa kesederhanaan metode ini terletak pada proses perakitan matriks kekakuan global, kerumitan geometri diatasi secara lokal tiap batang dulu, selanjutnya dilakukan perakitan secara global keseluruhan struktur dengan penjumlahan langsung. Persamaan global diperoleh berdasarkan asumsi linieritas perilaku struktur elastis dan perpindahan global maupun gaya-gaya akhir batang akan diperoleh dari penyelesaiannya. Kelemahan metode ini adalah perpindahan maupun gaya-gaya akhir batang yang diperoleh hanya pada titik-titik simpul saja, bila diinginkan pada titik tertentu ditengah bentang maka harus dihitung secara manual lagi.

Metode Elemen Hingga merupakan pengembangan dari metode kekakuan langsung, dimana sesuai konsep dasarnya elemen-elemen struktur akan didiskritisasi menjadi elemen hingga dan padanya dibangun penyelesaian lokal lebih dulu dan selanjutnya dilakukan perakitan untuk memperoleh penyelesaian global secara keseluruhan. Dengan demikian kelemahan metode matriks dapat diatasi, baik perpindahan maupun gaya akhir batang ditengah bentang dapat diperoleh pada titik-titik tertentu secara langsung.

Becker *et. al.* (1985), Desai (1988) dan Astley (1992) menyampaikan bahwa persamaan elemen yang disusun ditingkat

lokal diturunkan dari Teori Energi Potensial Total Minimum sesuai dengan derajat kebebasan elemen-elemen struktur portal bidang. Sedangkan Logan (1992) menggunakan Metode Kesetimbangan Langsung pada titik simpul untuk menurunkan persamaan elemen. Perakitan persamaan elemen sesuai dengan geometri domain dilakukan untuk memperoleh persamaan global seperti pada persamaan [1] sebagai berikut :

$$[K]\{q\} = \{Q\} \quad [1]$$

$$\Leftrightarrow [K] = \sum_{e=1}^n [K^*] \quad \{Q\} = \sum_{e=1}^n \{Q^*\}$$

Dengan $[K]$ adalah matriks kekakuan global, $\{q\}$ adalah vektor perpindahan, $\{Q\}$ adalah vektor beban ekuivalen dan e adalah jumlah elemen. Kelemahan metode ini adalah penyelesaian hanya pendekatan numerik dengan tingkat kesalahan tertentu namun bila diinginkan kesalahan yang relatif lebih kecil lagi maka dapat ditingkatkan jumlah elemen sehingga diperlukan bantuan komputer untuk menyelesaikannya.

Penggunaan metode ini pada analisis struktur portal bidang dengan pengaku diagonal ganda tipe *Knee* yang bervariasi akan lebih menguntungkan karena dapat mengatasi kerumitan geometri yang ada terutama bila jumlah tingkat dan bentang yang semakin banyak, variasi pengaku diagonal ganda tipe *Knee*, jumlah dan jenis elemen struktur yang digunakan (balok-kolom pada balok dan kolom, batang pada pengaku diagonal), jumlah dan jenis beban yang bekerja serta jumlah dan jenis tumpuan yang digunakan. Selain itu teknik komputasi yang dikembangkan untuk menyelesaikan perhitungan numerik merupakan pertimbangan yang tepat untuk mempercepat waktu penyelesaian dan ketelitian yang tinggi.

Pada analisis diatas, dimensi elemen-elemen struktur portal baja sebenarnya telah ditentukan dalam bentuk pradesain pada kekakuannya dan selanjutnya harus diproses lagi sampai diperoleh hasil desain akhir sesuai dengan kriteria kekuatan yang digunakan, yaitu Desain Faktor Kekuatan dan Beban (*Load and Resistance Design*) yang lebih rasional dan berdasarkan pada probabilitas beban yang bekerja dan kekuatan baja yang ada secara bersamaan.

Menurut Salmon & Johnson (1992) struktur dan elemen-elemennya harus mempunyai kekuatan, kekakuan dan ketahanan yang cukup sehingga dapat berfungsi optimal selama umurnya. Desain struktural harus memberikan keamanan yang cukup baik terhadap adanya kemungkinan kelebihan beban maupun kemungkinan berkurangnya kekuatan. Segui (1994) menyampaikan bahwa kriteria Desain Faktor Beban dan Kekuatan *LRFD* dapat dinyatakan lebih tepat sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad [2]$$

Dengan Q_i adalah gaya-gaya yang terjadi akibat beban luar, γ adalah faktor beban, R_n adalah kekuatan nominal dan ϕ adalah faktor kekuatan.

Aplikasi persamaan [2] pada struktur portal baja bidang, dimulai dari kombinasi pembebanan sesuai dengan peraturan yang akan digunakan pada analisis dan menghasilkan gaya-gaya dalam ultimit selanjutnya perhitungan kekuatan nominal penampang tergantung pada elemen struktur yang ditinjau, yaitu balok-kolom atau batang tarik / tekan. Desain ini harus sesuai dengan peraturan yang berlaku dan menghasilkan rasio yang besarnya harus lebih kecil dari satu.

Pada program analisis dan desain struktur portal baja bidang dengan Metode Elemen Hingga, masukan data dibuat umum terutama menyangkut geometri, jenis dan bentuk bahan yang

digunakan, beban luar yang bekerja dan kondisi tumpuan yang ada. Dengan demikian penyelesaian untuk sembarang struktur portal yang relatif rumit menjadi sederhana karena proses perhitungan sudah diambil komputer dan tinggal masalah masukan data dan interpretasi hasil keluaran. Salah satu *software* yang banyak digunakan adalah *STAAD Pro*, M Firdaus Alkaff (2005) menyampaikan bahwa program ini digunakan untuk analisis dan desain struktur dengan rekayasa Elemen Hingga dimana metode input data didasarkan pada orientasi obyek. Kelebihan yang utama adalah kemudahan penggunaannya yang dirancang dalam sistim *GUI* pada menu utama. Pada analisis struktur portal baja bidang dengan pengaku diagonal, elemen struktur didefinisikan menjadi dua, elemen batang pada pengaku diagonal dengan fasilitas *Truss* dan elemen balok-kolom dengan *Frame*.

Menurut *Anonimous* (2002) kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana yang digunakan untuk membatasi kerusakan struktural maupun non struktural serta untuk mencegah rasa ketidak nyamanan penghuninya. Sedangkan kinerja batas ultimit ditentukan oleh simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung dalam kondisi hampir runtuh untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan dan mencegah benturan antar gedung atau bagiannya yang dipisahkan oleh siar delatasi. Dengan memasang pengaku diagonal pada portal baja bidang terbuka bertingkat tentunya akan mereduksi perpindahan lateral, kinerja batas tersebut akan semakin kecil sehingga keamanan dan kenyamanan lebih terjamin.

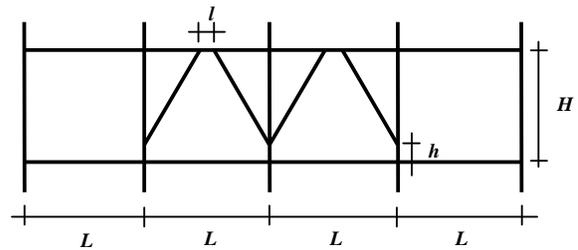
Hasil penelitian Hendro Suseno *et. al.* (2008) diperoleh tata letak yang paling efektif pengaku diagonal ganda tipe *K* pada portal baja bidang bertingkat dengan empat bentang yang sama adalah

keduanya dipasang ditengah-tengah. Sedangkan dari hasil penelitian Hendro Suseno *dkk.* (2009) diperoleh pembukaan titik simpul puncak dan pengangkatan dua titik simpul kaki struktur portal baja bidang dengan pengaku diagonal ganda tipe *K* empat bentang yang paling efektif adalah masing-masing 1.00 meter.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa dengan memvariasikan bentuk pengaku diagonal tipe *Knee* pada struktur portal baja bidang maka geometri akan bervariasi, besar dan susunan elemen matriks kekakuan global akan bervariasi, determinan juga bervariasi sehingga perpindahan lateral akan bervariasi, determinan yang terbesar akan menghasilkan perpindahan yang terkecil.

METODE PENELITIAN

Struktur portal baja bidang bertingkat yang digunakan adalah 15, 21 dan 27 lantai, dengan ketinggian masing-masing tingkat $H = 4.00$ meter, jumlah bentang adalah empat dengan lebar masing-masing $L = 5.00$ meter. Pengaku diagonal ganda tipe *Knee* dipasang pada dua bentang tengah seperti diberikan pada Gambar 1. dan selanjutnya divariasikan bentuknya. Lebar pembukaan titik simpul puncak dan pengangkatan dua titik simpul kaki dibuat sedemikian rupa sehingga menghasilkan rasio yang sama terhadap bentang (l/L) dan tinggi tingkat (h/H). Variasi bentuk diambil tiga macam, yaitu jenis A adalah rasio atau 0.1, Jenis B adalah rasio 0.15 dan Jenis C adalah rasio 0.2. Sebagai kontrol digunakan struktur portal baja bidang terbuka dan pengaku diagonal ganda *K* standar (0) dengan jumlah bentang dan tingkat yang sama.



Gambar 1. Bentuk Pengaku Diagonal Tipe *Knee* pada Satu Tingkat.

Beban yang digunakan adalah beban gravitasi dan beban gempa statis yang dihitung sesuai dengan peraturan, kondisi semua tumpuan adalah jepit. Analisis dilakukan dengan *Software STAAD Pro*, sedangkan desain penampang baja dilakukan secara manual sesuai dengan SNI 03-1729-2002 sampai diperoleh rasio kekuatan maksimum antara 0.8 – 0.9. Penelitian dirancang untuk mengamati perilaku struktur dengan melihat hubungan perpindahan lateral akibat beban horisontal yang bekerja terhadap jenis portal dan jumlah tingkat yang disebutkan diatas.

Pada penelitian ini dimensi balok, kolom dan pengaku diagonal diambil sama untuk setiap 3 tingkat, dimensi portal 15 dan 21 lantai diambil dari portal 27 lantai yang dipotong bagian bawahnya. Aksi komposit penampang diabaikan dengan menggunakan plat beton ringan struktural pracetak dan tidak memperhitungkan pengaruh momen sekunder.

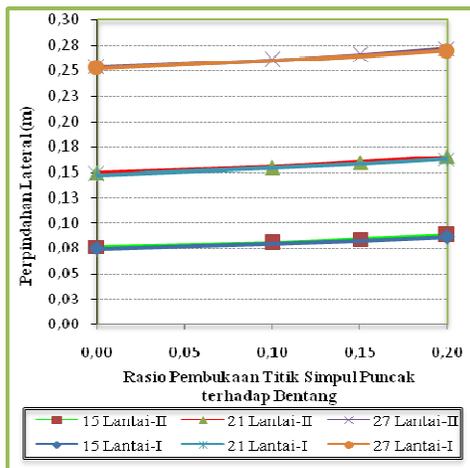
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan struktur portal baja bidang diperoleh perpindahan lateral maksimum untuk 15, 21 dan 27 lantai disampaikan pada Tabel 1.

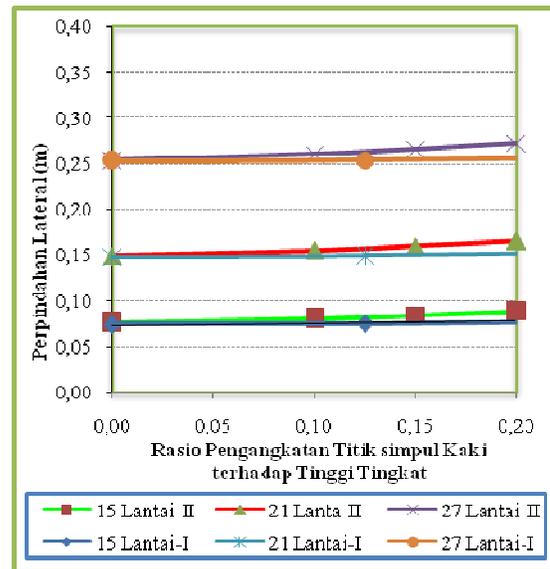
Tabel 1. Perpindahan Lateral Maksimum.

| Jenis Portal | Perpindahan Lateral Maks (cm) | | |
|--------------|-------------------------------|---------|---------|
| | 15 | 21 | 27 |
| T | 18.6564 | 29.7241 | 42.2969 |
| 0 | 7.6013 | 14.9193 | 25.3615 |
| A | 8.0380 | 15.5040 | 26.0398 |
| B | 8.3835 | 15.9574 | 26.5568 |
| C | 8.8097 | 16.5152 | 27.1898 |

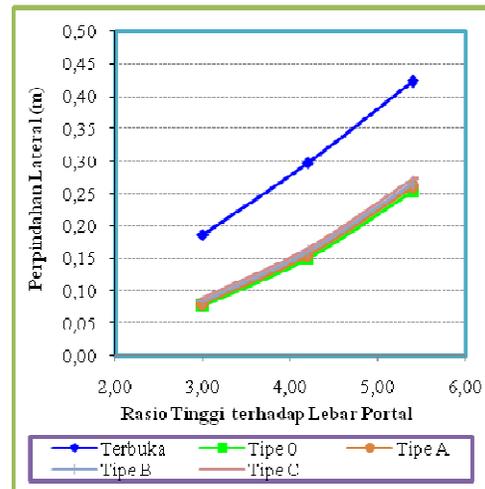
Untuk melihat perilaku struktur portal baja bidang terhadap beban horisontal yang bekerja, dari data diatas dibuat grafik hubungan antara perpindahan lateral dengan rasio pembukaan titik simpul puncak terhadap bentang disampaikan **Gambar 2.**, yaitu 15 Lantai-II, 21 Lantai-II dan 27 Lantai-II. Selanjutnya grafik ini dibandingkan dengan hasil penelitian Hendro Suseno (2009) yaitu 15 Lantai-I, 21 Lantai-I dan 27 Lantai-I. Grafik hubungan perpindahan lateral dengan rasio pengangkatan titik simpul kaki terhadap tinggi tingkat disampaikan **Gambar 3.** dengan kondisi seperti sebelumnya. Sedangkan hubungan antara perpindahan lateral dengan rasio tinggi terhadap lebar portal untuk jenis Terbuka, 0, A, B dan C disampaikan **Gambar 4.**



Gambar 2. Hubungan Perpindahan Lateral dengan Rasio Pembukaan Titik Simpul Puncak terhadap Bentang.

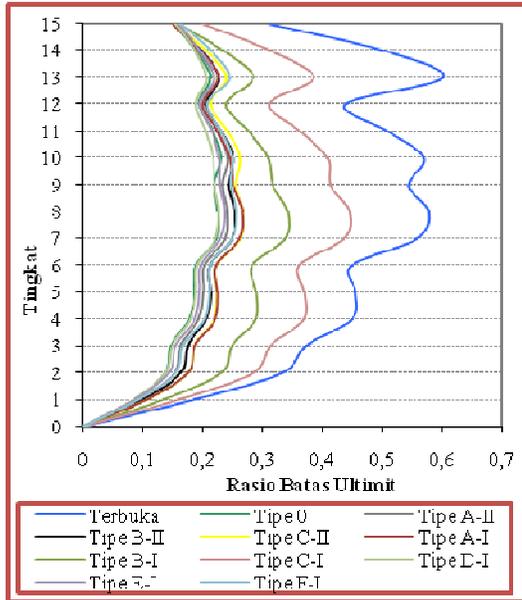


Gambar 3. Hubungan Perpindahan Lateral dengan Rasio Pengangkatan Titik Simpul Kaki terhadap Tinggi Tingkat.

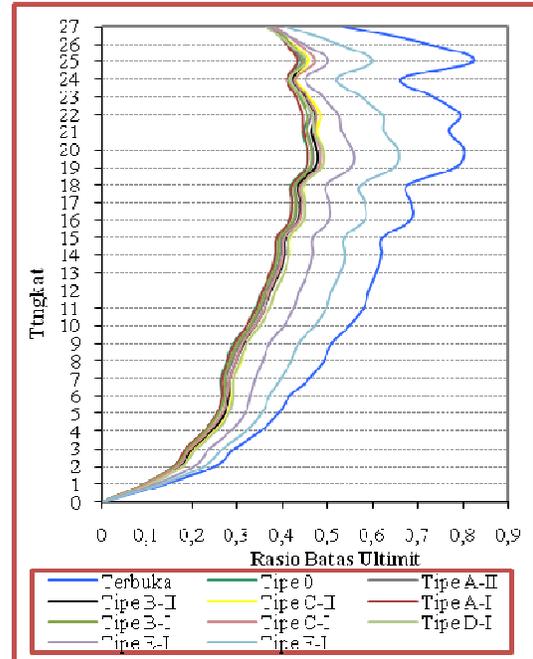


Gambar 4. Hubungan Perpindahan Lateral dengan Rasio Tinggi terhadap Lebar Portal.

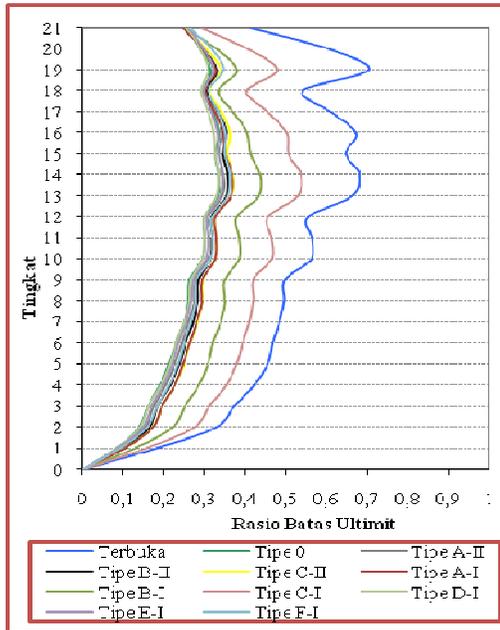
Selain itu juga akan dilihat kinerja batas ultimit struktur portal baja bidang untuk 15 Lantai disampaikan oleh Gambar 5. yaitu jenis A-II, B-II dan C-II dibandingkan dengan Terbuka, 0 dan hasil penelitian Hendro Suseno *et. al.* (2009) yaitu jenis A-I, B-I, C-I, D-I, E-I dan F-I.



Gambar 5. Rasio Kinerja Batas Ultimit Struktur Portal 15 Lantai. Dengan kondisi yang sama untuk 21 Lantai dan 27 lantai diberikan Gambar 6. Dan 7.



Gambar 7. Rasio Kinerja Batas Ultimit Struktur Portal 27 Lantai.



Gambar 6. Rasio Kinerja Batas Ultimit Struktur Portal 21 Lantai.

Dari Gambar 2 dan 3. terlihat bahwa pembukaan titik puncak bersamaan dengan pengangkatan titik simpul kaki relatif tidak memberikan pengaruh yang berarti baik untuk 15, 21 dan 27 lantai, hal ini terlihat dari laju kemiringan grafik yang cukup kecil. Begitu pula apabila dibandingkan dengan penelitian Hendro Suseno *et. al.* (2009) juga tidak berbeda secara berarti sampai rasio 0.2, hal ini menunjukkan bahwa sampai rasio 0.2 variasi bentuk pengaku diagonal ganda tipe *Knee* ini relatif tidak mempengaruhi perpindahan lateral akibat beban horisontal yang bekerja sehingga tidak mempengaruhi kestabilan lateral, namun akan lebih menguntungkan karena memberikan ruang pembukaan yang lebih lebar dan lebih efisien dalam kebutuhan bahan.

Dari Gambar 4. juga terlihat bahwa variasi bentuk tersebut relatif tidak berpengaruh secara berarti, hal ini ditunjukkan oleh saling berimpitnya grafik ketiga jenis portal bila dievaluasi terhadap jumlah tingkat yang dinyatakan oleh rasio tinggi terhadap lebar portal.

Begitu pula apabila dibandingkan dengan kontrol pengaku diagonal ganda *K* standar juga relatif tidak berbeda, namun tetap berbeda secara berarti bila dibandingkan dengan portal terbuka.

Hal lain yang juga memperkuat adalah dapat dilihat pada Gambar 5, 6 dan 7. Baik pada 15, 21 dan 27 lantai, grafik kinerja ultimit untuk masing-masing tingkat ketiga jenis variasi bentuk relatif hampir berimpit, tidak berbeda secara berarti dengan hasil penelitian Hendro Suseno *dkk* (2009). Begitu pula juga tidak berbeda secara berarti dengan kontrol pengaku diagonal ganda *K* standar, namun tetap berbeda secara berarti bila dibandingkan dengan portal terbuka.

Variasi bentuk pengaku diagonal ganda dengan rasio 0.1 akan memberikan hasil yang relatif sedikit memuaskan dibandingkan dengan yang lain namun sampai rasio 0.2 masih dapat digunakan karena laju kemiringan masih relatif kecil.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi bentuk pengaku diagonal ganda tipe *Knee* ternyata relatif tidak mempengaruhi perpindahan lateral pada jumlah tingkat yang dievaluasi sehingga kestabilan lateral masih tetap terjamin. Bentuk-bentuk variasi yang dibahas relatif memberikan hasil yang aman terhadap kestabilan lateral, selain itu juga memberikan keuntungan berupa pembukaan ruang yang lebih lebar dan lebih efisien dalam kebutuhan bahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous.* (2002). **Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002.** Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Anonimous.* (2002). **Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI-1726-2002.** Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung.
- Asley, R J. (1992). **Finite Elements in Solids and Structures, An Introduction.** Chapman and Hall, London.
- Becker, E B. *et. al.* (1985). **Elemen-Elemen Hingga, Suatu Pengantar.** Jilid 1. Diterjemahkan oleh Sri Jatno Wirjosoedirdjo, Ph.D. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Desai, C S. (1998). **Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga.** Alih Bahasa : Sri Jatno Wirjosoedirdjo, Ph.D. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Gaylord Jr, E H. *et. al.* (1992). **Design of Steel Structures,** Third Edition. McGraw-Hill, Inc, New York.
- Ghali, A & Neville, A M. (1986). **Analisa Struktur, Gabungan Metode Klasik dan Matriks.** Edisi Kedua. Alih Bahasa : Ir Wira MSCE. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hendro Suseno.*dkk* (2007). **Portal Baja Bidang Bertingkat dengan Macam-Macam Tipe dan Tata Letak Pengaku Diagonal Ganda.** Laporan Penelitian. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Hendro Suseno. *dkk.* (2009). **Perilaku Portal Baja Bidang Bertingkat dengan Variasi Bentuk Pengaku Diagonal Ganda Tipe K.** Laporan Penelitian. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Logan, D L. (1992). **A First Course in Finite Element Method.** PWS Publishing Company, Boston.
- M Firdaus Alkaff. (2005). **STAAD 2004 untuk Orang Awam.** Maxikom, Palembang.
- MacGinley, T J. (1989). **Steel Structures, Practical Design Studies.** E & F N Spon, London & New York.

- McCormac, J C & Nelson Jr, J K. (2003). **Structural Steel Design, LRFD Method.** Pearson Education International, Washington, DC.
- Salmon, C G & Johnson, J E. (1992). **Struktur Baja, Desain dan Perilaku, dengan Penekanan pada LRFD Design.** PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Schueller, W. (2001). **Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi.** Refika Aditama, Bandung.
- Segui, W. (1994). **LRFD Steel Design.** PWS Publishing Company, Boston.
- Smith, J C. (1996). **Structural Steel Design LRFD Approach.** John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Sosrowinarso & Ananta Sofwan. (1989). **Rangka Batang Ruang dan Sistem Bracing pada Bangunan Tinggi.** Jurusan Teknik Sipil ITB, Bandung.
- Weaver Jr, W & Gere, J M. (1996). **Analisa Matriks untuk Struktur Rangka.** Edisi Kedua. Alih Bahasa : Ir Wira, MSCE. Penerbit Erlangga, Jakarta