
PERBANDINGAN PERILAKU DAN KINERJA STRUKTUR BRESING KONSENTRIK TIPE X-2 TINGKAT DAN BRESING KONSENTRIK TIPE X-1 TINGKAT

I Nyoman Suta Widnyana dan I Gede Sana
Program Studi Teknik Sipil FT Unhi

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan perilaku struktur baja yang terdiri atas simpangan, kekuatan dan kekakuan, serta kinerja struktur baja dengan bresing konsentrik tipe X-1 tingkat dan bresing konsentrik tipe X-2 tingkat. Struktur yang dianalisis diasumsikan sebagai gedung perkantoran 10 tingkat yang terletak ditengah lunak(SE). Model struktur yang dianalisis terdiri atas struktur baja dengan sistem rangka pemikul momen (SRPM) sebagai model acuan dan pembanding serta struktur baja dengan sistem rangka bresing konsentrik tipe X-1 tingkat (SRBK), dan sistem rangka bresing konsentrik tipe X-2 tingkat (SRBK).

Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SAP2000. Analisis tahap awal dilakukan terhadap model model SRPM untuk memperoleh dimensi elemen struktur yang memenuhi kriteria kekuatan elemen struktur dengan nilai *stress ratio* kurang dari 0,95. Dimensi yang sama digunakan pada model SRBK tipe X-1 dan SRBK tipe X-2 sehingga dapat diketahui perilaku dan kinerja masing-masing model struktur berdasarkan hasil analisis linear dan analisis nonlinear statik *pushover*.

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa dengan dimensi elemen struktur yang sama, pada model SRBK tipe x-2 tingkat arah X tingkat ke-2, 3, 4, 5 dan arah Y tingkat ke-2, 3, 4 memiliki simpangan lebih besar dibandingkan model SRBK tipe x-1 tingkat, simpangan maksimum model SRBK tipe x-2 tingkat memiliki simpangan terkecil dibandingkan dengan model struktur SRPM dan SRBK tipe x-1 tingkat. Kekuatan model SRBK tipe X-2 tingkat 8% lebih besar pada arah X dan 13% lebih besar pada arah Y dibandingkan dengan model SRBK tipe X-1. Model SRBK tipe X-2 mempunyai kekakuan lebih besar 2% pada arah X dan 14% pada arah Y dibandingkan dengan model SRBK tipe X-1. Hasil analisis menunjukkan bahwa model SRBK X-1 dan SRBK X-2 berada pada level kinerja yang sama yaitu *Life Safety* (LS).

Kata kunci : Struktur rangka baja, Bresing konsentrik tipe X-1 tingkat, Bresing konsentrik tipe X-2 tingkat, *Pushover*, Perilaku dan Kinerja.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Struktur gedung dengan rangka baja dirancang untuk dapat menahan gaya gempa. Pada umumnya, gaya gempa yang terjadi ditahan melalui mekanisme lentur balok kolom. Mekanisme ini sering menimbulkan permasalahan yaitu simpangan yang besar. Oleh sebab itu, diperlukan pengaku lateral untuk menahan gaya gempa yang terjadi (SNI 03-1729-2002).

Pengaku lateral yang sering digunakan adalah dinding pengisi, dinding geser, dan bresing. Dinding pengisi merupakan pasangan bata pada dinding yang biasa digunakan sebagai pembatas ruang. Dinding geser merupakan jenis struktur dinding yang berbentuk beton bertulang yang biasa dirancang untuk menahan geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dari ketiga jenis pengaku lateral ini, pemasangan breising merupakan cara paling mudah untuk dilakukan (SNI 03-1729-2012).

Tujuan utama Struktur Rangka Bresing (SRB), adalah sebagai pengaku struktur utama, dalam SNI 03-1729:2002 diuraikan ada tiga sistem macam sistem rangka yang sering digunakan adalah struktur rangka pemikul momen (SRPM), struktur rangka bresing konsentrik (SRBK), Struktur rangka bresing eksentrik (SRBE). Diantara ketiga jenis bresing tersebut ,struktur rangka bresing konsentrik yang lebih mengutamakan pada kekuatan strukturnya.

Struktur rangka bresing konsentrik memiliki beberapa seperti tipe x-1 tingkat, tipe diagonal, tipe v, tipe v-terbalik, tipe x-2 tingkat dan tipe k. Diantara keenam tipe tersebut, SRBK tipe x-1 tingkat dan tipe x-2 tingkat yang terbaik. Rangka bresing ini lebih baik dibandingkan bresing tipe v dan tipe v-terbalik, bila terjadi tekuk pada batang tekan bresing, balok akan mengalami defleksi kebawah pada balok maka diperlukan konfigurasi bresing yang mencegah terbentuknya gaya-gaya yang tidak seimbang tersebut dan mendistribusikannya menuju lantai lain yang tidak mengalami deflesi tersebut (Utomo, 2011). Struktur Rangka Bresing Konsentrik tipe x-2 tingkat lebih kokoh dan efisien dibandingkan dengan Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa (Tanjaya, 2016).

SRBK tipe x-1 tingkat merupakan rangka bresing yang bagiannya di fungsikan untuk menahan gaya aksial, selain dapat juga difungsikan sebagai sistem penahan gaya lateral (BSN,2012). SRBK merupakan sistem rangka yang relatif kaku sehingga dapat dianggap sebagai rangka tidak bergoyang karena mengandalkan perilaku aksial pada elemen strukturnya (Dewabroto, 2015).

Berdasarkan penelitian Semadi (2016) secara umum penggunaan bresing Konsentrik tipe x-1 tingkat pada struktur baja lebih baik dibandingkan dengan bresing eksentrik tipe V-terbalik, karena bresing konsentrik tipe x-1 tingkat memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi. Kekuatan meningkat hingga 40% dengan penambahan bresing bresing konsentrik tipe x-1 tingkat model (model SRBK) dan penambah bresing eksentrik V-terbalik (model SRBE) hanya mengalami peningkatan kekuatan 19%.

Berdasarkan perilaku dan kinerja dari Struktur Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) tipe X-2 lantai perlu dibandingkan dengan Struktur Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) tipe – X 1 tingkat. Maka pada tugas akhir ini akan dibahas perbandingan perilaku dan kinerja SRBK tipe X-2 tingkat dan SRBK tipe X-1 tingkat dengan analisis statik non-linear pushover. Analisis akan dibantu dengan software SAP 2000 v.15 dengan analisa pada gedung 10 lantai fungsi gedung toko.

Cara yang umum digunakan untuk mengetahui kinerja struktur adalah statik nonlinier atau yang dikenal dengan istilah *pushover analysis*. Statik *pushover* dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Titik acuan disini terjadi pada struktur bagian atas yang memiliki simpangan paling besar. Hasil dari *pushover* ini berupa kurva hubungan perpindahan dan gaya geser dasar (V) yang akan mencerminkan perilaku struktur dalam memikul gaya gempa. Prosedur *pushover* analisis sesuai konsep PBD telah ada pada dokumen FEMA 440 (*equivalen linearization*) serta ASCE 41-13 (*non-linear static procedure*)

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, masalah pokok yang akan dibahas dalam tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah perilaku struktur dari struktur rangka baja dengan sistem rangka breising konsentrik tipe X-2 tingkat dan sistem rangka breising konsentrik tipe X-1 tingkat?
2. Bagaimanakah kinerja struktur rangka baja dengan sistem rangka breising konsentrik tipe X-2 tingkat dan breising tipe X-1 tingkat ?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perilaku struktur dari struktur rangka baja dengan breising konsentrik tipe X- 2 tingkat dan struktur breising konsentrik tipe X-1 tingkat.
2. Untuk mengetahui kinerja struktur rangka baja dengan sistem rangka breising konsentrik tipe X-2 tingkat dan breising tipe X-1 tingkat l.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi mengenai perilaku dan kinerja struktur rangka baja dengan dengan sistem breising konsentrik tipe X-2 tingkat dan sistem breising konsentrik tipe X-1 tingkat, sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam pemilihan struktur rangka rangka baja breising dalam pembangunan gedung-gedung tinggi.

Batasan Masalah

1. Tidak melakukan analisis terhadap pondasi bangunan dimana hubungan antara kolom baja dengan pondasi dianggap sebagai jepit.
2. Tidak melakukan analisis perhitungan sambungan.
3. Dinding dianggap sebagai elemen non-struktur, hanya dianggap sebagai beban pada struktur baja.
4. Tidak melakukan analisis biaya

TINJAUAN PUSTAKA

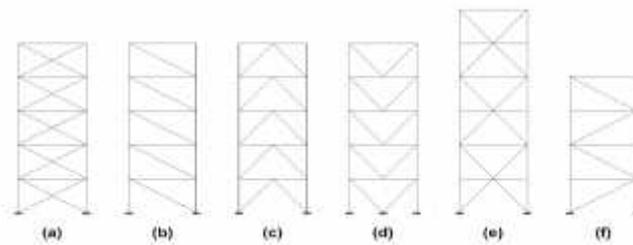
Umum

Breising merupakan pengaku struktur berperilaku sebagai rangka batang elemen yang hanya menerima gaya aksial baik tekan maupun tarik. Penambahan breising terbukti dapat mengefisiensikan berat dari struktur dan kinerja yang lebih baik terhadap ketahanan gempa (Smith dan Coull, 1991).

Sistem Rangka Breising Konsentrik (SRBK)

Tujuan penggunaan rangka breising adalah kemampuan struktur untuk mempertahankan stabilitas akibat beban lateral dan stabilitas struktur secara keseluruhan. Rangka breising pada umumnya dianalisa dan didisain dengan dengan mengabaikan momen kedua pada sistem tersebut (AISC, 2010).

Sistem rangka breising konsentrik (SRBK) merupakan sistem struktur yang elemen breising diagonalnya bertemu disatu titik. SRBK dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu sistem rangka breising konsentrik biasa (SRBKB) dan sistem rangka breising konsentrik khusus (SRBKK). Sistem rangka breising konsentrik memiliki beberapa tipe seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1 (SNI 1729:2002)



Gambar 2.1 Tipe-tipe bresing konsentrik
 Sumber: AISC(2010)

Pada bresing konsentrik tipe x-1 tingkat merupakan rangka bresing yang dipasang untuk ketinggian 1 tingkat seperti pada Gambar 2.1. Rangka bresing bisa menjadi pilihan dibandingkan dengan sistem rangka bresing eksentrik tipe v- terbalik karena terjadi peningkatan kekakuan yang sangat besar dengan adanya penambahan bresing. Peningkatan kekakuan mencapai 260% pada model SRBK dan mencapai 227% pada model SRBE. Dibandingkan dengan model SRBE, model SRBK mempunyai kekakuan 10 % lebih besar pada arah X dan Y (Semadi, 2016).

Bresing konsentrik tipe x-2 tingkat rangka bresing x yang dipasang untuk ketinggian dua lantai seperti terlihat pada Gambar 2.1. Rangka bresing ini dapat menjadi pilihan yang baik bila dibandingkan dengan rangka bresing tipe v atau tipe v-terbalik, bila terjadi tekuk pada batang tekan bresing, balok akan mengalami defleksi kebawah sebagai akibat dari adanya gaya-gaya yang tidak seimbang pada balok. Defleksi ini dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem pelat lantai diatas sambungan tersebut. Sehingga untuk mengantisipasi terjadinya defleksi kebawah pada balok maka diperlukan konfigurasi bresing yang mencegah terbentuknya gaya-gaya yang tidak seimbang tersebut dan mendistribusikannya menuju lantai lain yang tidak mengalami defleksi tersebut (Utomo, 2011).

Struktur Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK)

Berdasarkan SNI 03-1729:2002, SRBKK diharapkan dapat mengalami deformasi inelastik yang cukup besar akibat gaya gempa rencana. SRBKK memiliki daktilitas yang lebih tinggi dari pada tingkat daktilitas Sistem Rangka Bresing konsentrik Biasa (SRBKB) mengingat penurunan kekuatannya yang lebih kecil pada saat terjadinya tekuk pada batang bresing tekan. SRBKK harus memenuhi persyaratan-persyaratan di bawah ini : (SNI 03-1729:2002)

1. Kelangsingan

Kelangsingan batang bresing harus memenuhi syarat kelangsingan yaitu

$$\frac{KcL}{r} \leq \frac{2.625}{\sqrt{fy}} \dots\dots\dots (2.1)$$

- 2. Beban aksial terfaktor pada batang bresing tidak boleh melebihi N_c
- 3. Distribusi beban lateral: Pada bidang bresing, batang-batang bresing harus dipasang dengan arah selang seling, sedemikian rupa sehingga pada masing-masing arah gaya lateral yang sejajar dengan bidang bresing, minimal 30% tapi tidak lebih dari 70% gaya horizontal total harus dipikul oleh batang bresing tarik kecuali jika kuat nominal tekan N_n sesuai dengan kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2). Bidang bresing adalah suatu bidang yang mengandung batang-batang bresing atau bidang-bidang paralel yang mengandung batang-batang

bresing dengan jarak antar bidang-bidang tersebut tidak lebih dari 10% dimensi tampak bangunan tegak lurus bidang tersebut.

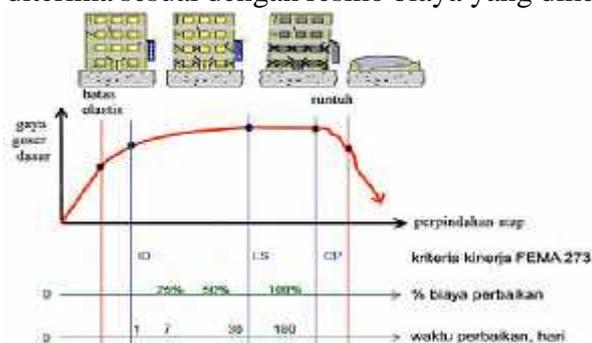
4. Perbandingan lebar terhadap tebal: Perbandingan lebar terhadap tebal penampang batang bresing tekan yang diperkaku ataupun yang tidak diperkaku harus memenuhi syarat dalam tabel 7.5-1 dan persyaratan-persyaratan berikut ini:
 - 1) Batang bresing harus bersifat kompak (yaitu $< p$). Perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang siku tidak boleh lebih dari $135/f_y$;
 - 2) Penampang bulat berongga harus mempunyai perbandingan diameter luar terhadap tebal dinding sesuai dengan Tabel 15.7-1, kecuali jika dinding penampang tersebut di beri pengaku;
 - 3) Penampang persegi berongga harus mempunyai perbandingan diameter luar terhadap tebal dinding sesuai dengan Tabel 15.7-1, kecuali jika dinding penampang tersebut diberi pengaku;

Perencanaan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Saat ini, sebagian besar bangunan tahan gempa direncanakan dengan prosedur yang ditulis dalam peraturan perencanaan bangunan (*building codes*). Peraturan dibuat untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi, dan untuk menghindari atau mengurangi kerusakan atau kerugian harta benda terhadap gempa sedang yang sering terjadi. Meskipun demikian, prosedur yang digunakan dalam peraturan tersebut tidak dapat secara langsung menunjukkan kinerja bangunan terhadap suatu gempa yang sebenarnya, kinerja tadi tentu terkait dengan resiko yang dihadapi pemilik bangunan dan investasi yang dibelanjakan terkait dengan resiko diambil.

Menurut Dewobroto (2005), Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang.

Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang resiko kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan resiko biaya yang dikeluarkan.



Gambar 2.2. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (ATC 58)

Sumber: FEMA 273,1996

Hal penting dari perencanaan berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas, sehingga pemilik, penyewa, asuransi, pemerintahan atau penyandang dana mempunyai kesempatan untuk menetapkan kondisi apa yang dipilih, selanjutnya ketetapan tersebut digunakan insinyur perencana sebagai pedomannya.

Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*), dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. Mengacu pada FEMA-273 (1996) yang menjadi acuan klasik bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori level kinerja struktur adalah :

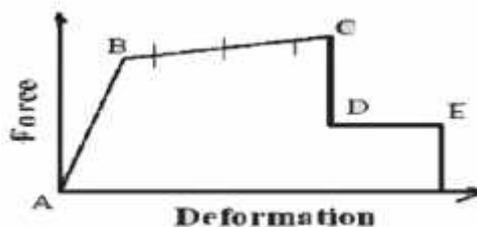
1. Segera dapat dipakai (IO = *Immediate Occupancy*),
2. Keselamatan penghuni terjamin (LS = *Life-Safety*),
3. Terhindar dari keruntuhan total (CP = *Collapse Prevention*).

Gambar 2.3 menjelaskan secara kualitatif level kinerja (*performance levels*) FEMA 273 yang digambarkan bersama dengan suatu kurva hubungan gaya-perpindahan yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh (global) terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut dihasilkan dari analisa statik non-linier khusus yang dikenal sebagai analisa *pushover*, sehingga disebut juga sebagai kurva *pushover*. Sedangkan titik kinerja (*performance point*) merupakan besarnya perpindahan titik pada atap pada saat mengalami gempa rencana

Selanjutnya diatas kurva *pushover* dapat digambarkan secara kualitatif kondisi kerusakan yang terjadi pada level kinerja yang ditetapkan agar awam mempunyai bayangan seberapa besar kerusakan itu terjadi. Selain itu dapat juga dikorelasikan dibawahnya berapa presentase biaya dan waktu yang diperlukan untuk perbaikan. Informasi itu tentunya sekedar gambaran perkiraan, meskipun demikian sudah mencukupi untuk mengambil keputusan apa yang sebaiknya harus dilakukan terhadap hasil analisis bangunan tersebut.

2.5 Batas Kinerja

Berdasarkan filosofi desain yang ada, tingkat kinerja struktur bangunan akibat gempa rencana adalah *Life Safety*, yaitu walaupun struktur bangunan mengalami tingkat kerusakan yang cukup parah namun keselamatan penghuni tetap terjaga karena struktur bangunan tidak sampai runtuh. Pada Gambar 2.3, respon linier dimulai dari titik A (*unloaded component*) dan kelelahan mulai terjadi pada titik B. Respon dari titik B ke titik C merupakan respon elastis plastis. Titik C merupakan titik yang menunjukkan puncak kekuatan komponen, dan nilai absisnya yang merupakan deformasi menunjukkan dimulainya degradasi kekuatan struktur (garis C-D). Pada titik D, respon komponen struktur secara substansial menghadapi pengurangan kekuatan menuju titik E. Untuk deformasi yang lebih besar dari titik E, kekuatan komponen struktur menjadi nol (FEMA 440, 2005).



Gambar 2.3 Kurva Kriteria Keruntuhan
Sumber: FEMA 356 (2000)

Antara titik B dan C terdapat titik-titik yang merupakan level kinerja dari struktur bangunan. Level kinerja bangunan berdasarkan ATC-40, (1996) dibedakan menjadi:

1. *Immediate Occupancy (IO)*

Kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan struktur sangat terbatas. Sistem penahan beban vertikal dan lateral bangunan hamper sama dengan kondisi sebelum terjadinya gempa, dan resiko korban jiwa akibat keruntuhan struktur dapat diabaikan.

2. *Life Safety (LS)*

Kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan yang penting terhadap struktur terjadi. Komponen utama struktur tidak terdislokasi dan runtuh, sehingga risiko korban jiwa terhadap kerusakan struktur sangat rendah.

3. *Structural Stability / Collapse Prevention (CP)*

Pada tingkatan ini, kondisi struktur setelah terjadinya gempa sangat parah, sehingga bangunan dapat mengalami keruntuhan struktur baik sebagian maupun total. Meskipun struktur masih bersifat stabil, kemungkinan terjadinya korban jiwa akibat kerusakan struktur besar. Dalam dokumen FEMA 273, kondisi *structural stability* dikenal dengan istilah *Collapse Prevention (CP)*.

Penelitian Terkait Dengan Penggunaan Bresing Pada Struktu Baja

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak dilakukan penelitian mengenai penggunaan bresing pada struktur baja. Berikut ini adalah beberapa penelitian terkait dengan penggunaan bresing pada struktur baja khususnya penggunaan bresing konsentrik tipe-X 1 tingkat dan bresing konsentrik tipe-X 2 tingkat

1. I Dewa Gede Amertha Semadi (2016)

Analisis dilakukan terhadap struktur baja dengan sistem rangka pemikul momen (SRPM) sebagai model acuan dan model pembanding serta struktur dengan sistem rangka bresing konsentrik tipe-X 1 tingkat (SRBK) dan sistem rangka rangka bresing eksentrik V-terbalik (SRBE) untuk mengetahui perilaku dan kinerja struktur. Semua model struktur yang dianalisis menggunakan dimensi yang sama, dimana dimensi elemen struktur telah memenuhi kriteria kekuatan elemen struktur dengan *strees ratio* kurang dari 0,95. Dari hasil analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perbandingan perilaku struktur baja dengan sistem rangka bresing konsentrik tipe-X 1 tingkat dan sistem rangka bresing eksentrik V-terbalik, adalah sebagai berikut:
 - a. Penambahan bresing pada struktur SRPM dapat mengurangi simpangan struktur hingga 69% (model SRBK) dan 76% (model SRBE). Dibandingkan dengan model SRBE, simpangan maksimum model SRBK lebih besar 32% pada arah X dan Y.
 - b. Kekuatan struktur meningkat hingga 40% dengan penambahan bresing konsentrik tipe-X 1 tingkat (model SRBK) dan meningkat hingga 19% dengan penambahan bresing eksentrik V-terbalik (model SRBE). Kekuatan model SRBK 23% lebih besar pada arah X dan 21% lebih besar pada arah Y dibandingkan dengan model SRBE.
 - c. Terjadi peningkatan kekakuan yang sangat besar dengan adanya penambahan bresing. Peningkatan kekakuan mencapai 260% pada model

SRBK dan mencapai 227% pada model SRBE. Dibandingkan dengan model SRBE, model SRBK mempunyai kekakuan 10% lebih besar pada arah X dan Y.

- d. Nilai daktilitas struktur menjadi lebih kecil dengan adanya penambahan bresing. Terjadi penurunan nilai daktilitas hingga 37% pada model SRBK dan nilai daktilitas struktur turun hingga 22% pada model SRBE. Model SRBK memiliki daktilitas yang lebih kecil 26% pada arah dan lebih kecil 18% pada arah Y dibandingkan dengan model SRBE.
2. Dibandingkan dengan model SRPM *drift ratio* model SRBK lebih kecil 51%, sedangkan model SRBE lebih kecil 48%. Walaupun *drift ratio* struktur dengan bresing lebih kecil, level kinerja semua model struktur tetap berada pada level *Life Safety* (LS).

2. Andre Tanjaya (2016)

Tanjaya (2016) melakukan penelitian untuk mengetahui efisiensi dan kinerja struktur rangka bresing konsentrik tipe X-2 lantai.

1. Pada SRPMB yang ditambahkan bresing (SRBKK1), elemen struktur menjadi 11,11% lebih berat. Setelah dilakukan efisiensi dengan mereduksi dimensi balok kolom (SRBKK 2), berat struktur menjadi 2,42% lebih ringan dari kondisi awal(SRPMB).
2. Simpangan maksimum ketiga jenis struktur (SRPMB,SRBKK 1, dan SRBKK 2) masih dalam simpangan yang diijinkan. SRBKK 1 memiliki simpangan maksimum 48,98% dan 60,28% lebih kecil dari simpangan maksimum SRPMB untuk arah X dan arah Y. Sedangkan SRBKK 2 memiliki simpangan maksimum 45,76% dan 58,57% lebih kecil dari simpangan maksimum SRPMB untuk arah X dan arah Y.
3. SRBKK 1 memiliki gaya geser dasar maksimum 53,13% dan 58% lebih besar dari gaya geser dasar maksimum SRPMB untuk arah X dan arah Y. SRBKK 1 memiliki simpangan maksimum 59,85% dan 60,31% lebih kecil dari simpangan maksimum SRPMB untuk arah X dan Y. Sedangkan SRBKK 2 memiliki gaya geser dasar maksimum 51.82% dan 54,85% lebih besar dari gaya geser dasar maksimum SRPMB untuk arah X dan arah Y. Kinerja ini ditinjau pada level kinerja *life safety*. *Roof drift ratio* pada SRPMB, SRBKK 1, dan SRBKK 2 secara berturut-turut sebesar 1,79%, 0,71%, 0,83%.
4. Pada target perpindahan yang sesuai dengan FEMA 356 dan ATC-40, deformasi dan gaya geser berdasarkan gempa rencana tidak melebihi dari level kinerja *life safety* sehingga struktur masih dalam keadaan aman ketika menerima gempa rencana.

3. Wiryanto Dewobroto (2005)

Program SAP2000 telah menyediakan fasilitas yang diperlukan untuk perencanaan berbasis kinerja seperti yang terdapat pada FEMA 273/356, meskipun demikian ada beberapa hal yang masih memerlukan cara perhitungan manual, antara lain :

1. Menentukan waktu getar alami efektif pasca leleh yaitu pembuatan kurva bilinier berdasarkan kurva *pushover*.
2. Menentukan titik evaluasi kinerja (target perpindahan, T)

2. Titik evaluasi kinerja atau *target displacement*, T , merupakan hal yang penting untuk mengevaluasi kinerja struktur terhadap suatu gempa rencana, menjadi indikasi sejauh mana kondisi struktur bila ada gempa tertentu. Ternyata beberapa metode yang digunakan untuk menentukan T tersebut memberikan hasil yang berbeda satu sama lain. Metode yang sudah *built-in* di program SAP2000 yaitu metode Spektrum Kapasitas, memberi nilai T yang paling kecil dibanding tiga metode lain yang ditinjau. Kebetulan ketiga metode tersebut belum tersedia secara *built-in* dalam program SAP2000 dan harus dihitung secara manual.
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Koefisien Perpindahan FEMA 273/356 dan persyaratan Kinerja Batas Ultimit SNI 1726 menghasilkan nilai T menentukan.
4. Meskipun portal arah X berperilaku elastis pada gempa rencana, tetapi perilaku pasca leleh secara keseluruhan bersifat kurang daktail dibanding portal arah Y. Itu disimpulkan berdasarkan bentuk kurva *pushover* yang dihasilkan. Pada portal X, kurva *pushover* berhenti pada suatu titik puncak setelah leleh dan mengalami “fail” yang mendadak. Sedangkan kurva *pushover* portal Y, setelah titik puncak masih mampu menunjukkan perilaku penurunan kekuatan yang bertahap yang diikuti deformasi yang besar.
5. Jadi meskipun kedua portal (arah pendek dan memanjang) telah memenuhi kriteria perencanaan biasa, tetapi ternyata perilaku pasca leleh diantara keduanya berbeda. Hal tersebut tidak bisa dideteksi tanpa melakukan analisa *pushover*.
6. Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh dari tulisan ini adalah bahwa perencanaan berbasis kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur. Dengan demikian sejak awal pemilik bangunan, insinyur perencana maupun pemakai mendapat informasi bagaimana bangunan tersebut berperilaku bila ada gempa.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah perencanaan yang bersifat fiktif. Pada penelitian ini dirancang bangunan yang direncanakan berukuran 18 x 18 m yang terdiri atas 10 tingkat dengan ketinggian setiap tingkatnya adalah 4,0 m. Panjang bentang balok adalah 6 m pada arah X maupun arah Y. Bangunan diasumsikan berlokasi didaerah Renon, Denpasar dengan jenis tanah lunak (SE).

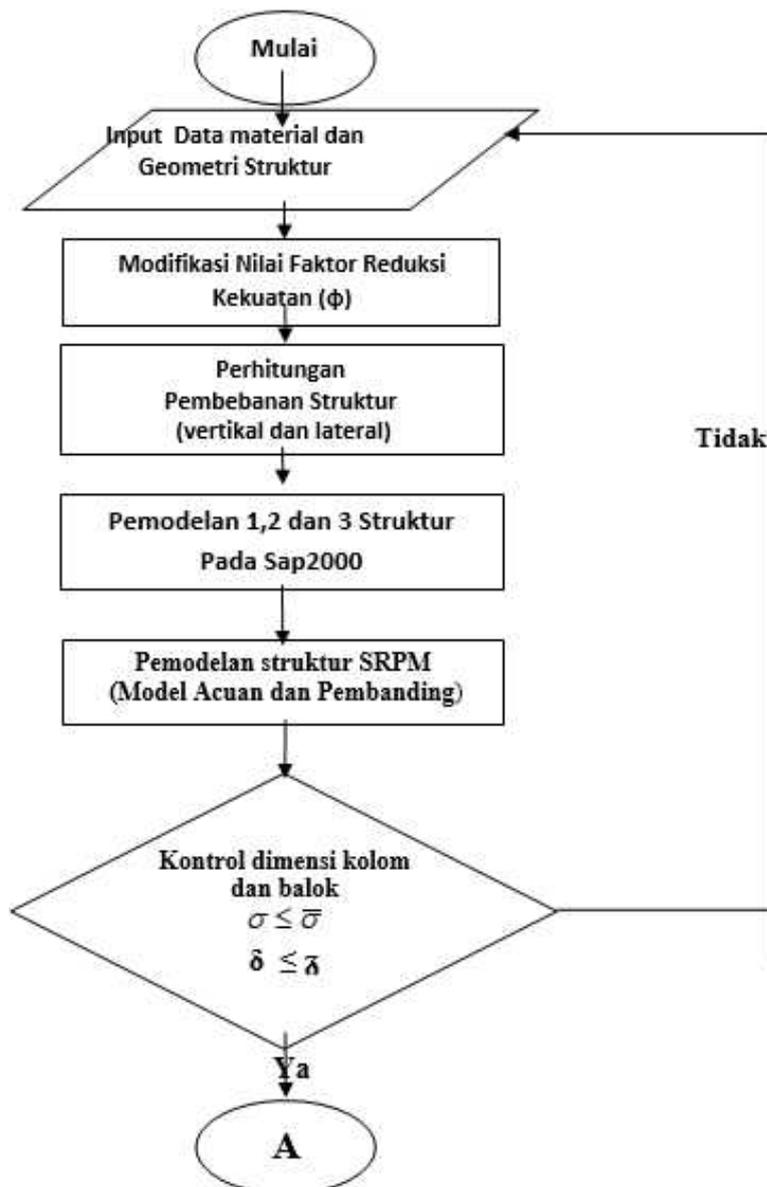
Pengumpulan data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya secara langsung (dari tangan pertama), sementara data sekunder adalah data yang dari sumber dan data yang sudah ada.

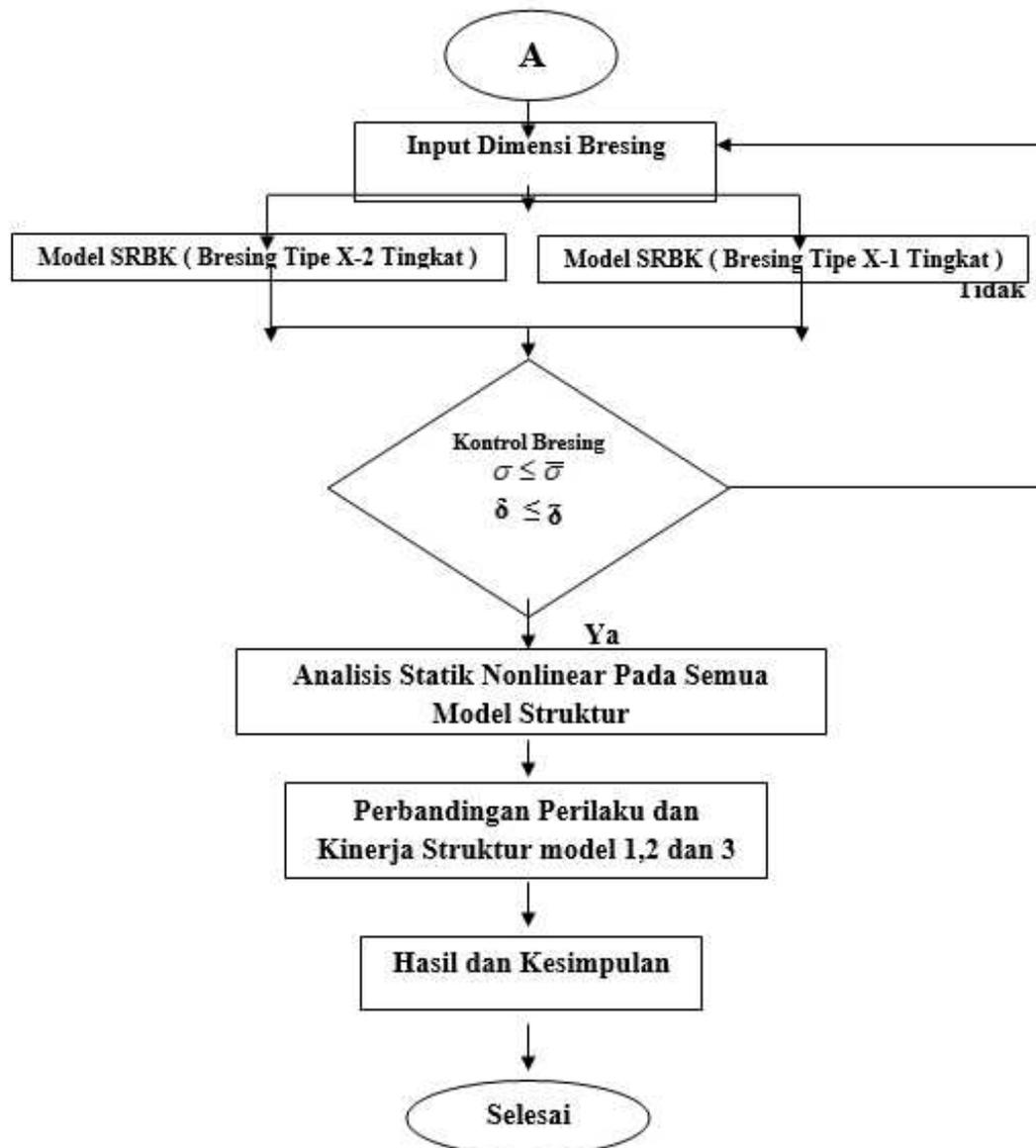
1. Data Primer
 - a. Gambar desain gedung 10 tingkat
2. Data Sekunder
 - a. Literature
 - b. Jurnal
 - c. Peraturan SNI, ACI dan PPPRUG

Kerangka Penelitian

Langkah-langkah prosedur analisis yang akan dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian



Gambar 3.2 Kerangka Penelitian

Data Struktur

Struktur akan dimodelkan pada tugas akhir ini adalah struktur baja 10 lantai tipikal yang terdiri atas Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan Sistem Rangka Bresing (SRB). Struktur SRPM merupakan struktur yang digunakan sebagai model acuan dan perbandingan dari struktur SRB. Struktur SRB terdiri atas dua model yaitu model Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) 1 tingkat dan Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) 2 tingkat. Data yang digunakan dalam pemodelan ini disesuaikan dengan peraturan-peraturan yang berlaku.

Data Material

Material yang digunakan terdiri dari atas material baja dan beton. Material baja digunakan pada seluruh penampang balok, kolom dan dek gelombang sedangkan material beton digunakan pada pelat lantai.

1. Material profil baja

Material baja yang digunakan untuk seluruh profil baja adalah ASTM A992, dengan data sebagai berikut :

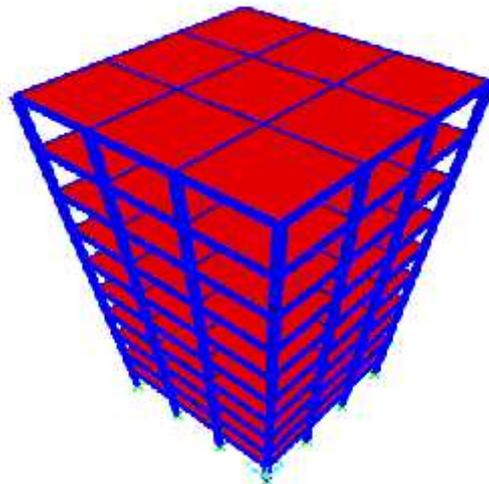
Tegangan leleh (F_y)	: 250 Mpa
Tegangan ultimate (F_u)	: 410 Mpa
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200.000 Mpa

2. Material beton

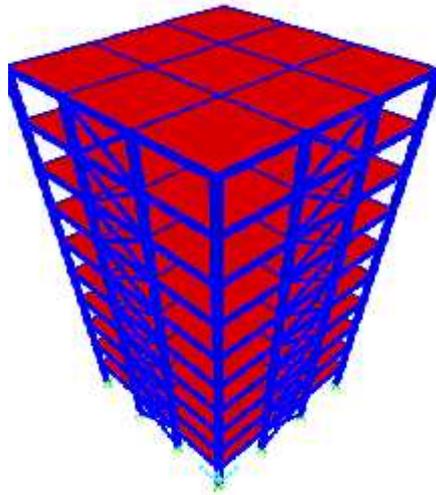
Mutu beton (f'_c)	: 25 Mpa
Modulus elastisitas beton (E_c)	: 23.500 Mpa ($E_c=4700 f'_c$)

Pemodelan Struktur

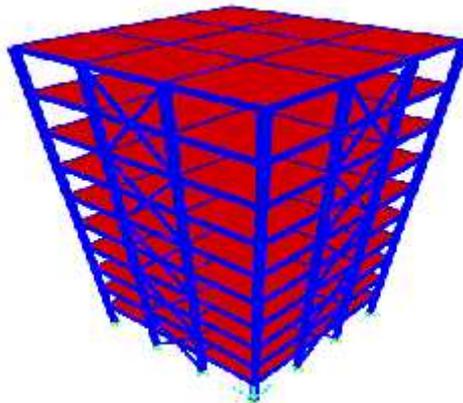
Pemodelan dilakukan dalam model 3 dimensi (3D) pada *software* SAP 2000. Elemen-elemen struktur seperti balok, kolom, dan bresing dimodelkan sebagai *frame element*. Pelat lantai dimodelkan sebagai *shell element*, dimana pada *software* SAP 2000 dimensi dek baja gelombang dapat diinput sesuai ukuran aslinya kedalam model pelat lantai. Pondasi struktur dimodelkan sebagai tumpuan jepit. Model struktur yang dibuat terdiri atas 3 jenis yaitu model SRPM, model SRBK X-1 tingkat, dan , model SRBK X-2 tingkat



Gambar 3.3 Model SRPM pada
Sumber: SAP 2000



Gambar 3.4 Model SRBK 1 tingkat pada
Sumber: SAP 2000



Gambar 3.5 Model SRBK 2 tingkat pada
Sumber: SAP 2000

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi Penampang dan Stress Ratio

Struktur yang ditinjau dalam penelitian ini adalah struktur 10 lantai yaitu model SRPM, SRBK tipe X-1 tingkat dan SRBK tipe X-2 tingkat. Struktur dimodel dan dianalisis dengan bantuan *software* SAP2000 dimana semua model struktur dibuat dalam bentuk 3 dimensi (3D). Analisis tahap awal dilakukan terhadap model SRPM untuk mendapatkan dimensi penampang yang memenuhi kriteria kekuatan penampang elemen struktur dengan stress rasio tidak melebihi 0,95. Dimensi penampang yang sama juga akan digunakan pada model SRBK tipe X-1 tingkat dan SRBK tipe X-2 tingkat sehingga nantinya dapat diketahui perbedaan perilaku dan kinerja dari masing-masing model struktur. Dimensi dan *stress ratio* maksimum elemen struktur dari masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi dari elemen struktur

Elemen Struktur	Dimensi Elemen Struktur
Balok anak lantai 1-10	W251X100X4.5X5.1
Balok induk lantai 1-6	W350X175X7X12
Balok induk lantai 7-10	W350X150X7X6.5
Kolom lantai 1	W448X432X45X45
Kolom lantai 2	W428X407X20X35
Kolom lantai 3-4	W400X400X13X21
Kolom lantai 5-7	W350X350X12X19
Kolom lantai 8	W300X300X10X15
Kolom lantai 9	W250X250X9X14
Kolom lantai 10	W200X200X8X12

Sumber: Analisis SAP2000

Tabel 4.2 perbandingan *stress ratio* pada kolom

Jenis struktur	<i>Stress Ratio</i> min	<i>Stress Ratio</i> maks	<i>Stress Ratio</i> rata-rat
	0,95	0,95	0,95
SRPM	0,159	0,95	0,5545
SRBK x-1	0,113	0,936	0,5245
SRBK x-2	0,110	0,891	0,5005

Sumber: Analisis SAP2000

Berdasarkan hasil *output Steel Check Design* dapat dilihat bahwa semua elemen struktur (balok, kolom, dan bresing) pada model struktur telah memenuhi kriteria kekuatan elemen struktur dengan *stress ratio* tidak melebihi 0,95. Secara umum dapat disimpulkan bahwa penambahan bresing pada model struktur SRPM dapat menurunkan *stress ratio* yang terjadi pada elemen struktur sehingga struktur menjadi lebih aman. Hal ini dikarenakan beban lateral yang bekerja pada struktur ditahan oleh bresing melalui mekanisme aksial, sehingga dapat meminimalkan momen lentur yang terjadi pada balok dan kolom. *Stress ratio* elemen struktur dari masing-masing model, secara detail dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.12.

Analisis Modal

Analisis modal dilakukan untuk dapat mengetahui perilaku dinamik dari struktur. Analisis modal dilakukan dengan hanya memperhitungkan berat sendiri elemen struktur tanpa beban tambahan. Dari hasil analisis ini akan didapat beberapa parameter seperti bentuk mode struktur (*mode shapes*), periode alami struktur (T), dan frekuensi alami struktur (). Nilai periode alami struktur (T) dan frekuensi alami struktur () dari masing-masing model ditunjuk pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Periode dan frekuensi alami struktur

Mode	Model Struktur					
	SRPM		SRBK X-1		SRBK X-2	
	Periode alami (dtk)	Frekuensi alami (rad/dtk)	Periode alami (dtk)	Frekuensi alami (rad/dtk)	Periode alami (dtk)	Frekuensi alami (rad/dtk)
1	3.5204	0.2840	1.6571	0.6034	1.6515	0.6054
2	2.9612	0.3376	1.5832	0.6316	1.5780	0.6337
3	2.6282	0.3804	1.0085	0.9915	1.0061	0.9939

Sumber: Analisis SAP2000

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa penambahan bresing pada model struktur SRPM dapat menurunkan periode alami struktur. Periode struktur memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan kekakuannya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bresing dapat meningkatkan kekakuan struktur. Model SRBK X-2 tingkat memiliki periode alami yang terendah dibandingkan dengan model lainnya sehingga dapat disimpulkan model SRBK X-2 tingkat memiliki kekakuan yang paling tinggi dibandingkan dengan model lainnya. Semua model struktur pada model struktur pada mode 1 (periode alami terbesar) bergerak ke arah Y, sehingga dapat diketahui bahwa kekakuan struktur pada arah Y lebih kecil dari pada kekakuan struktur pada arah X.

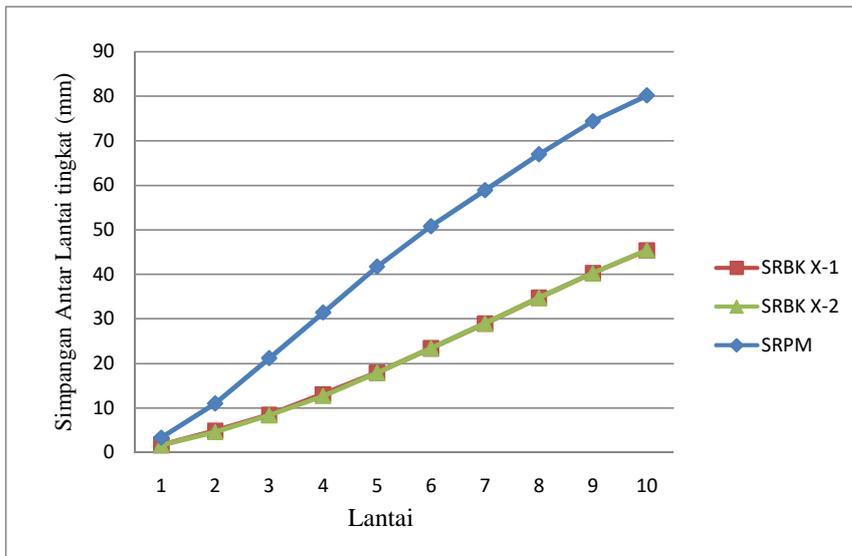
Simpangan Antar Lantai Tingkat

Struktur yang didesain selain harus memenuhi kriteria kekuatan elemen struktur yang ditunjukkan dengan besarnya rasio tegangan (*stress ratio*) yang terjadi juga harus memenuhi kriteria kekakuan yang dibatasi oleh besarnya simpangan yang terjadi pada struktur. Simpangan antar t tingkat desain () tidak boleh melebihi simpangan yang diijinkan $0.020 \times$ tinggi total gedung (h_{sx}) yaitu $0,02 \times 40000 \text{ mm} = 800 \text{ mm}$.

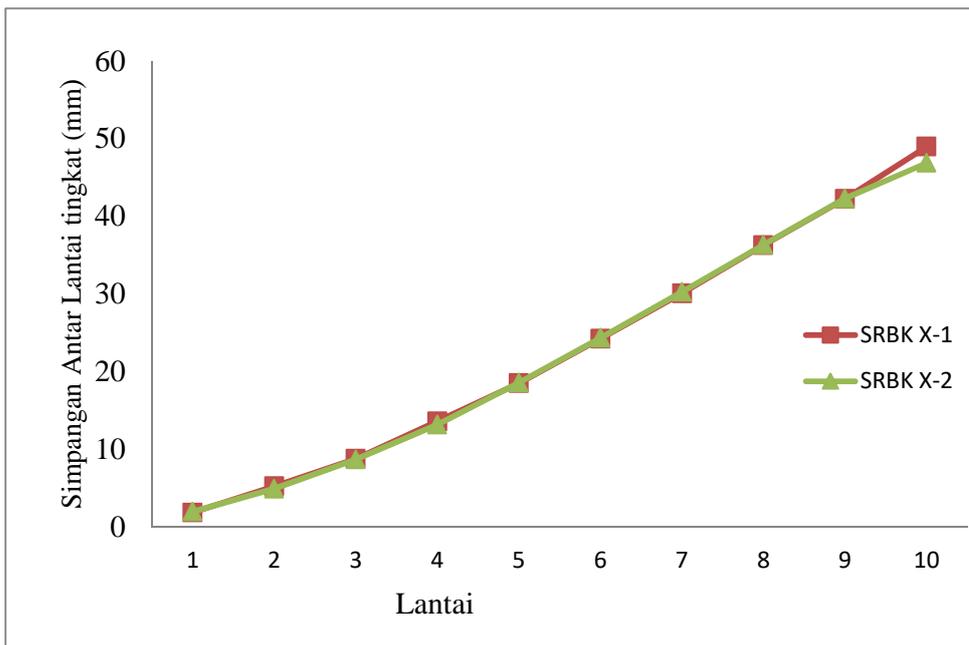
Tabel 4.4 Simpangan masing-masing tingkat arah x

TINGKAT	MODEL		
	SRPM (mm)	SRBK x-1 (mm)	SRBK x-2 (mm)
0	0	0	0
1	3,3187	1,6491	1,6096
2	11,0036	4,5722	4,8438
3	21,1633	8,3257	8,4349
4	31,4225	12,665	13,0731
5	41,7083	17,8954	17,9161
6	50,7823	23,4161	23,37
7	58,8811	29,0219	28,9133
8	66,9628	34,7206	34,7059
9	74,3843	40,2459	40,2383
10	80,1636	45,4386	45,3569

Sumber: Analisis SAP2000



Gambar 4.1 Grafik simpangan antar tingkat arah x
Sumber: Analisis SAP2000

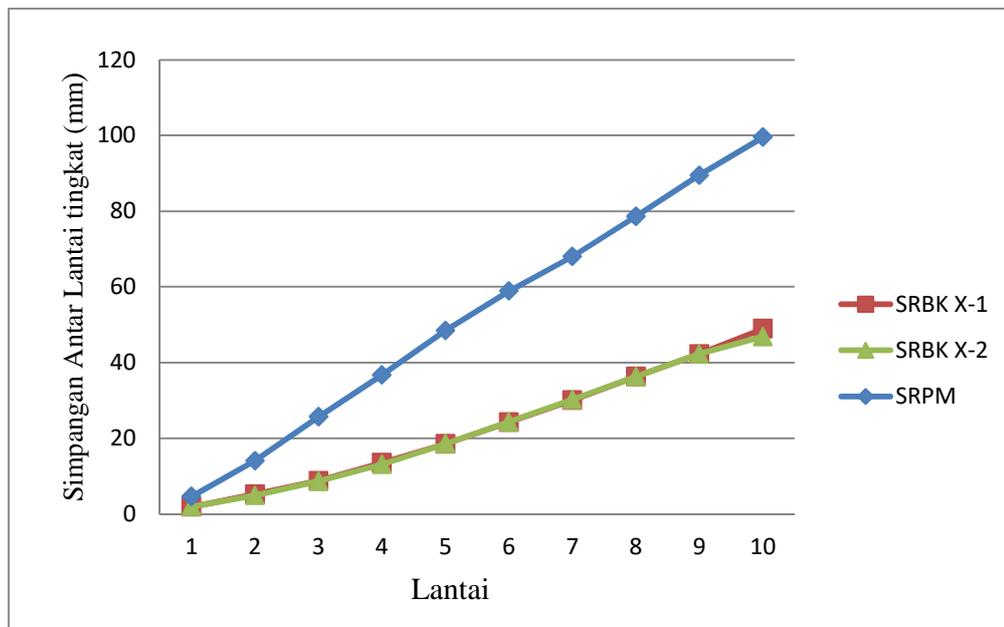


Gambar 4.2 Grafik simpangan antar tingkat arah X SRBK X-1 dan SRBK X-2
Sumber: Analisis SAP2000

Tabel 4.5 Simpangan masing-masing tingkat arah y

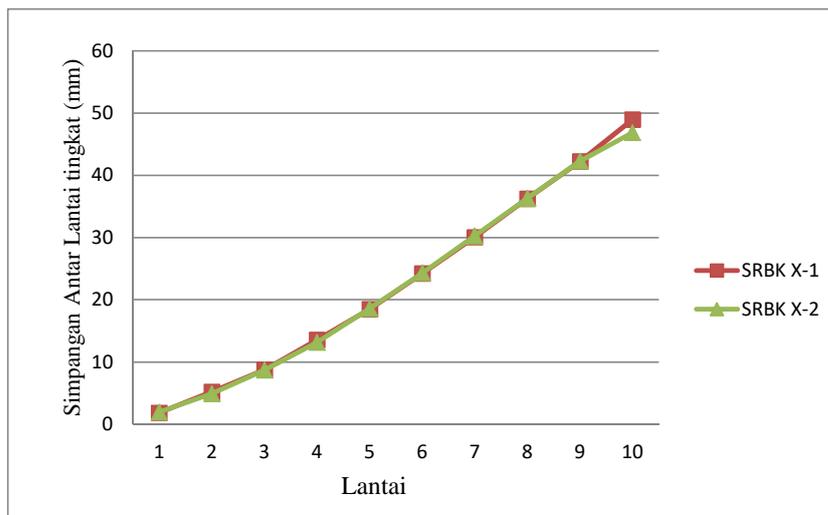
TINGKAT	MODEL		
	SRPM (mm)	SRBK x-1 (mm)	SRBK x-2 (mm)
0	0	0	0
1	4,6351	1,9584	1,8500
2	14,0449	4,9272	5,2280
3	25,7171	8,6916	8,7477
4	36,6989	13,1454	13,5662
5	48,5175	18,5733	18,4999
6	58,8898	24,3418	24,238
7	68,0468	30,2450	30,0512
8	78,6033	36,3205	36,2698
9	89,4855	42,2875	42,2431
10	99,5343	47,9599	47,8713

Sumber: Analisis SAP2000



Gambar 4.3 Grafik simpangan antar tingkat arah y

Sumber: Analisis SAP2000



Gambar 4.4 Grafik simpangan antar tingkat arah Y SRBK X-1 dan SRBK X-2
 Sumber: Analisis SAP2000

Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.4 menunjukkan simpangan antar lantai tingkat dari masing-masing model struktur, dimana simpangan antar lantai desain semua model struktur telah memenuhi persyaratan simpangan. Pada semua model struktur simpangan antar tingkat yang terjadi pada arah Y lebih besar dibanding dengan simpangan yang terjadi pada arah X.

Dari Tabel 4.4 simpangan masing-masing tingkat pada arah X, pada tingkat pertama simpangan SRBK x-1 tingkat mengalami simpangan lebih besar dibandingkan dengan SRBK x-2 tingkat. Pada tingkat ke-2 sampai dengan tingkat ke-5 SRBK x-2 tingkat mengalami simpangan lebih besar dibandingkan dengan SRBK x-1 tingkat. Pada tingkat ke-6 sampai dengan tingkat ke-10 SRBK x-1 tingkat mengalami simpangan lebih besar dibandingkan dengan SRBK x-2 tingkat. Dari Tabel 4.5 simpangan masing-masing tingkat pada arah Y, pada tingkat pertama simpangan SRBK x-1 tingkat mengalami simpangan lebih besar dibandingkan dengan SRBK x-2 tingkat. Pada tingkat ke-2 sampai dengan tingkat ke-4 SRBK x-2 tingkat mengalami simpangan lebih besar dibandingkan dengan SRBK x-1 tingkat. Pada tingkat ke-5 sampai dengan tingkat ke-10 SRBK x-1 tingkat mengalami simpangan lebih besar dibandingkan dengan SRBK x-2 tingkat.

Penambahan bresing pada struktur SRPM dapat mengurangi simpangan struktur. Pada bresing konsetrik tipe X-1 tingkat arah x sebesar 43,3% dan arah y sebesar 51,8% dan bresing konsetrik tipe X-2 tingkat arah x sebesar 43,4% dan arah y sebesar 52%. Penambahan bresing pada struktur dapat memperkecil simpangan struktur dan simpangan antar tingkat yang terjadi. Model SRBK tipe x-2 tingkat memiliki simpangan struktur dan simpangan antar tingkat desain terkecil dibandingkan dengan model struktur SRPM dan SRBK tipe x-1 tingkat.

Kekuatan Struktur

Kekuatan struktur yang ditinjau menggambarkan besarnya beban lateral (gempa) yang mampu diterima oleh struktur. Kekuatan struktur dalam hal ini dinilai berdasarkan besarnya gaya geser dasar maksimum (V_u) yang terjadi akibat beban gempa yang diambil dari hasil analisis statik nonlinear *pushover*. Kekuatan struktur dari masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 4.6, Tabel 4.7

Tabel 4.6 Kekuatan struktur arah X

Parameter	Model Struktur		
	SRPM	SRBK x-1	SRBK x-2
Kekuatan Struktur (KN)	7,794	8,994	9,617
Persentase (%)	0%	15%	23%

Sumber: Analisis SAP2000

Tabel 4.7 Kekuatan struktur arah Y

Parameter	Model Struktur		
	SRPM	SRBK x-1	SRBK x-2
Kekuatan Struktur (KN)	6,794	7,505	7,917
Persentase (%)	0%	3%	16%

Sumber: Analisis SAP2000

4.1 Kekakuan Struktur

Kekakuan struktur menggambarkan besarnya gaya yang diperlukan untuk menghasilkan satu satuan perpindahan. Kekakuan struktur yang ditinjau adalah kekakuan struktur pada kondisi elastis. Besarnya kekakuan struktur diperoleh dari perbandingan gaya geser dasar pada kondisi leleh (V_y) dengan perpindahan struktur pada kondisi leleh (y), dimana parameter ini diperoleh dari kurva kapasitas hasil analisis statik nonlinear *pushover*. Kekakuan struktur dari masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 4.8, Tabel 4.9, dan Gambar 4.30.

Tabel 4.8 Kekakuan struktur arah X

Parameter	Model Struktur		
	SRPM	SRBK x-1	SRBK x-2
Gaya Geser Kondisi Leleh (N)	2,293,732	2,038,712	287,992
Perpindahan Kondisi leleh (mm)	227	71	10
Kekakuan Struktur (N/mm)	10,104	28,714	28,799
Persentase (%)	0%	184%	186%

Sumber: Analisis SAP2000

Tabel 4.9 Kekakuan struktur arah Y

Parameter	Model Struktur		
	SRPM	SRBK x-1	SRBK x-2
Gaya Geser Kondisi Leleh (N)	2,051,880	1,841,684	263,831
Perpindahan Kondisi leleh (mm)	358	72	10
Kekakuan Struktur (N/mm)	5,731	25,578	26,383
Persentase (%)	0%	346%	360%

Sumber: Analisis SAP2000

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Analisis dilakukan terhadap struktur baja dengan sistem rangka pemikul momen (SRPM) sebagai model acuan dan model pembanding serta struktur dengan sistem rangka bresing konsentrik tipe X-1 tingkat (SRBK) dan sistem rangka bresing konsentrik tipe X-2 tingkat (SRBK) untuk mengetahui model perilaku dan kinerja struktur. Semua model struktur yang dianalisis menggunakan dimensi yang sama, dimana dimensi elemen struktur telah memenuhi kriteria kekuatan elemen struktur dengan *strss ratio* kurang dari 0,95. Dari hasil analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Perbandingan perilaku struktur baja dengan sistem rangka bresing konsentrik tipe-X 1 tingkat dan sistem rangka bresing konsentrik tipe-X 2 tingkat, adalah sebagai berikut :
 - a. Penambahan bresing pada struktur SRPM dapat mengurangi simpangan, pada tingkat ke-2, 3, 4, 5 arah X model SRBK tipe x-2 mengalami simpangan lebih besar dibandingkan model SRBK tipe x-1, pada tingkat ke-2, 3, 4, arah Y model SRBK tipe x-2 mengalami simpangan lebih besar dibandingkan model SRBK tipe x-1. Dari simpangan keseluruhan pada bresing konsentrik tipe X-1 tingkat arah x sebesar 43,3% dan arah y sebesar 51,8% dan bresing konsentrik tipe X-2 tingkat arah x sebesar 43,4% dan arah y sebesar 52%. Model SRBK tipe x-2 tingkat memiliki simpangan terkecil dibandingkan dengan model struktur SRPM dan SRBK tipe x-1 tingkat.
 - b. Penambahan bresing pada struktur SRPM dapat meningkatkan kekuatan struktur pada model SRBK tipe X-1 tingkat arah X sebesar 15% dan arah Y 3% dan pada model SRBK tipe X-2 tingkat arah X sebesar 23% dan arah Y 16%. Kekuatan model SRBK tipe X-2 tingkat 8% lebih besar pada arah X dan 13% lebih besar pada arah Y dibandingkan dengan model SRBK tipe X-1.
 - c. Terjadi peningkatan kekakuan yang sangat besar dengan adanya penambahan bresing. Peningkatan kekakuan sebesar 186% pada arah X dan 360% pada arah Y pada model SRBK tipe X-2. dibandingkan dengan model SRBK tipe X-1, model SRBK tipe X-2 mempunyai kekakuan lebih besar 2% pada arah X dan 14% pada arah Y.
2. Level kinerja struktur tidak melebihi *life safety* sehingga struktur masih dalam keadaan aman ketika menerima gempa rencana berdasarkan pada target perpindahan FEMA 356 deformasi dan gaya geser.
3. Secara umum penggunaan bresing konsentrik tipe X-2 tingkat pada struktur baja lebih baik dibandingkan dengan bresing konsentrik tipe X-1 tingkat karena bresing konsentrik tipe X-2 tingkat memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih

tinggi dan level kinerja struktur tidak melebihi *life safety* dan masih aman untuk menerima gempa rencana.

Saran

Dari beberapa hal yang telah diuraikan pada pembahasan dan kesimpulan, maka dapat disarankan beberapa hal :

1. Penggunaan bresing konsentrik tipe X-2 tingkat pada struktur baja lebih baik dibandingkan dengan bresing konsentrik tipe X-1 tingkat karena bresing konsentrik tipe X-2 tingkat memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi, dalam pembangunan lebih baik menggunakan bresing konsentrik tipe X-2 tingkat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan efisiensi volume penggunaan material baja pada struktur baja dengan sistem konsentrik tipe X-1 tingkat dengan sistem konsentrik tipe X-2 tingkat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute Of Steel Construction (AISC). 2010. *Seismic Provisions Of For Struktur Steel Building: AISC 341-10*
- Applied Technology Council (ATC). 1996. *Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings, Volume 1: ATC 40*
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan gedung dan Struktur Lain : SNI 1727:2013.*
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung : SNI 1727:2012.*
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung : SNI 1727:2002.*
- Computer & Structures, Inc. 2013. *CSi Analisis Reference Manual.* CSI, USA.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Untuk Rumah dan Gedung : PPPURG 1987*
- Dewobroto, W. 2005. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa Dengan analisa Pushover.* Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism, Unika Soegijapranata, Semarang, Indonesia.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2005. *Improvement of Non Linear Static Seismic Analysis Procedure: FEMA 440*
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2000. *Prestandard and Commentary For Seismic Rehabilitation of Building: Fema 356.*
- FEMA-273. 1996. *NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings*, Report No. FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Giri, I. B. D. 2009. *Buku Ajar Struktur Komposit.* Bukit Jimbaran: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Udayana, Bukit-Jimbaran
- Semadi, I. D. G. A. 2016. *Perbandingan Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka bresing Konsentrik tipe X- dan dan Sistem Bresing Eksentrik V- Terbalik,* Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Smith, B.S. and Coull, A. 1991. *Tall Building Structures: Analysis And Design.* John Wiley & Sons, Inc., Glasgow
- SNI 03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung.*

- SNI 03-1726-2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.*
- SNI 1727:2013. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan Struktur lain.*
- SNI 1729:2015. Spesifikasi untuk gedung bangunan baja structural*
- Tanjaya, A. 2016. *Efisiensi dan kinerja struktur rangka bresing konsentrik tipex-2 lantai*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Utomo, J. 2011. *Seismic Column Demands Pada Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus Dengan Bresing Tipe X 2 Tingkat*, Fakultas Teknik, Universitas Atmajaya, Yogyakarta.