

RESPON DINAMIS BANGUNAN BERTINGKAT BANYAK DENGAN SOFT FIRST STORY DAN PENGGUNAAN BRACED FRAMES ELEMENT TERHADAP BEBAN GEMPA

Intan Tiara Nelwan

Steenie E. Wallah, Servie O. Dapas

Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado

Email: inelwan23@gmail.com

ABSTRAK

Struktur bangunan bertingkat yang dibebani gempa akan mengalami simpangan lateral. Semakin tinggi struktur maka semakin besar simpangan lateral yang terjadi, apalagi jika struktur tersebut memiliki kekakuan kolom tingkat dasar yang lebih kecil (*soft first story*). Simpangan lateral tersebut dapat mengakibatkan momen guling struktur bangunan menjadi besar sehingga menyebabkan keruntuhan struktur. Untuk mencegah kondisi tersebut, maka kekakuan lateral struktur perlu diperbesar. Salah satu cara untuk memperbesar kekakuan lateral struktur adalah dengan menggunakan *Braced Frames Element* (Elemen Pengaku Portal).

Pemodelan struktur yaitu berupa bangunan bertingkat banyak beton bertulang dengan denah 18 m x 18 m, struktur 25 tingkat, dengan tinggi 8 meter untuk lantai dasar, dan 3 meter untuk tiap lantai di atasnya. Struktur dimodelkan tanpa penambahan bracing dan dengan penambahan variasi tipe bracing (*Diagonal bracing*, *X-bracing*, dan *Inverted V bracing*) yang ditempatkan pada bentang tengah vertikal di sisi luar bangunan. Analisa simpangan lateral struktur tanpa dan dengan *Braced Frames Element* akan menggunakan analisa gempa dinamis yaitu *Spektrum Respon* (*Response Spectrum*).

Analisa dinamis yang dilakukan dengan bantuan software ETABS, menunjukkan bahwa nilai simpangan horisontal maksimum akibat beban gempa statis dan beban gempa dinamis, adalah sebagai berikut: Model A 71,7 mm dan 68,7 mm, Model B 56,6 mm dan 61,1 mm, Model C 55,8 mm dan 60,3 mm, Model D 55,8 mm dan 60,3 mm, Model E 70,4 mm dan 60,6 mm, Model F 70,5 mm dan 60,6 mm. Penggunaan *Braced Frames Element* pada struktur dapat mengurangi respon (simpangan lateral) dari struktur tanpa harus memperbesar dimensi dari kolom, dimana simpangan lateral maksimum yang dihasilkan akan menjadi lebih kecil.

Kata kunci: bangunan bertingkat, beton bertulang, beban gempa, bracing, simpangan, soft story, ETABS.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi konstruksi, banyak gedung bertingkat dibangun sebagai salah satu solusi dari ketersediaan lahan yang kurang. Pemilihan jenis material beton bertulang (*RC frame*) menjadi salah satu yang paling populer digunakan pada bangunan-bangunan tinggi saat ini. Banyaknya penggunaan beton bertulang, terutama di negara berkembang, disebabkan karena biaya dan perawatan pembangunan dengan material ini cenderung lebih murah dibandingkan material lainnya seperti baja.

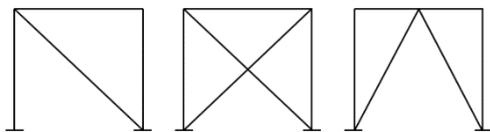
Selain memiliki keunggulan dari segi ekonomis dan efisiensi lahan, suatu bangunan haruslah didisain untuk dapat menahan beban-

beban yang ada agar memenuhi standar keamanan berdirinya suatu bangunan. Namun pada prakteknya, kondisi ini jarang terjadi karena banyak ditemui gedung bertingkat dengan kinerja struktur yang berada dibawah kriteria layak huni dan standar keamanan bangunan. Hal ini diakibatkan oleh beberapa penyebab, diantaranya ketidakberaturan pada struktur tinggi seperti perkantoran atau hotel yang mengharuskan bangunan memiliki lantai dasar yang terkesan luas, banyak bukaan, dan desain kolom yang lebih tinggi dibandingkan dengan lantai di atasnya, sehingga mengakibatkan kekakuan kolom tingkat dasar menjadi lebih kecil (*soft first story*) dan momen guling struktur menjadi besar.

Gedung bertingkat dengan sistem rangka kaku (*rigid frame*) menjadi tidak efisien dan mudah runtuh apabila digunakan untuk

bangunan yang lebih tinggi dari 20 lantai dengan beban lateral yang sangat besar, oleh karena adanya resiko keruntuhan yang tinggi pada pelaksanaan struktur rangka beton didaerah yang rawan gempa seperti Indonesia, maka upaya terbaik yang harus dilakukan adalah dengan memperkuat bangunan dari pengaruh gempa dimasa yang akan datang. Untuk dapat memikul beban yang demikian, banyak cara dapat dilakukan seperti pemasangan dinding geser (*shear wall*), elemen pengaku portal (*braced frames element*), pelapisan (*jacketing*), dan lainnya.

Penggunaan *Braced Frames Element* pada struktur portal bertingkat banyak merupakan pilihan yang tepat karena tentu akan meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur bangunan tersebut, sehingga mampu menahan beban lateral yang diakibatkan oleh angin ataupun gempa, selain itu pemasangan *Braced Frames Element* juga cenderung lebih efisien dan ekonomis. Bentuk-bentuk dari *Braced Frames Element* antara lain adalah *Diagonal Bracing*, *X-Bracing*, dan *Inverted V Bracing*.



(a) *Diagonal Bracing* (b) *X-Bracing* (c) *Inverted V Bracing*

Gambar 1. Bentuk-bentuk *Braced Frames Element*

Rumusan Masalah

Bangunan bertingkat yang menggunakan sistem rangka kaku dengan material beton bertulang sebagai penyusunnya, sudah banyak dibangun di Indonesia, yang pada umumnya merupakan daerah yang beresiko gempa tinggi. Hal ini membuat fungsi bangunan berkurang dan mudah runtuh. Untuk mencegah hal ini terjadi, bangunan perlu diperkuat. Dari latar belakang tersebut, maka dalam tugas akhir ini akan membahas seberapa besar pengaruh perkuatan dengan pemasangan elemen pengaku portal terhadap kekakuan dan kekuatan struktur beton bertingkat.

Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Struktur bangunan berfungsi sebagai kantor dengan 25 lantai.

- b. Struktur bangunan merupakan struktur beton bertulang dengan kekakuan kolom tingkat dasar yang lebih kecil dari tingkat di atasnya (*soft first story*).
- c. Struktur bangunan merupakan struktur beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
- d. Analisa akan dilakukan pada struktur dengan dan tanpa penambahan *bracing*/elemen pengaku portal pada sisi bagian luar bangunan.
- e. Perhitungan sambungan *bracing* pada portal beton akan diabaikan.
- f. Struktur bangunan dimodelkan sebagai portal 3D menggunakan software ETABS.
- g. Analisa gempa dinamis yang digunakan yaitu Spektrum Respon (*Response Spectrum*).
- h. Respon struktur yang ditinjau adalah simpangan lateral.
- i. Kolom struktur terjepit penuh pada pondasi.
- j. Bangunan berada di wilayah kategori disain seismik D diatas tanah sedang.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja bangunan bertingkat banyak, dengan kekakuan kolom tingkat dasar yang lebih kecil dari tingkat di atasnya (*soft first story*) akibat beban lateral yang disebabkan oleh gempa, dengan menggunakan perkuatan elemen pengaku portal (*braced frames element*).

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar kontribusi dari penambahan elemen pengaku pada portal beton terhadap kekuatan dan kekakuan struktur bangunan ketika diberikan beban lateral akibat gempa, dengan membandingkan struktur tanpa dan dengan pemasangan variasi bentuk elemen pengaku portal pada bentang tengah vertikal di sisi luar struktur 25 lantai.

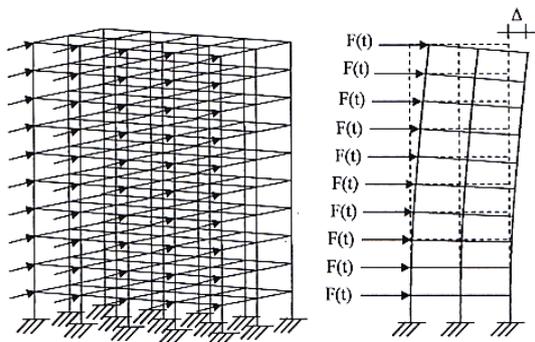
LANDASAN TEORI

Tinjauan Umum Struktur Bertingkat Banyak

Salah satu bentuk struktur bertingkat banyak adalah struktur portal yang biasanya dimodelkan sebagai struktur persegi, yang disusun bertingkat banyak. Struktur-struktur portal ini terdiri dari elemen balok dan kolom yang dihubungkan dengan sambungan kaku pada titik kumpulnya (*joint*). Struktur seperti ini bisa juga kita sebut

sebagai Portal Kaku (*Rigid Frame*) bertingkat banyak (gambar 2).

Jika struktur portal bertingkat dibebani beban lateral ($F(t)$) seperti beban gempa, maka struktur akan mengalami deformasi berupa simpangan lateral (Δ). Simpangan lateral yang berlebihan bisa menimbulkan ketidakstabilan lateral pada struktur, sehingga struktur dapat mengalami keruntuhan. Oleh karena itu didalam perencanaan struktur bertingkat banyak tahan gempa, kekakuan lateral yang cukup memadai sangat diperlukan untuk menahan simpangan lateral. Penggunaan Elemen Pengaku Portal (*Braced Frames Element*) merupakan salah satu alternatif untuk menahan simpangan lateral yang terjadi pada struktur.

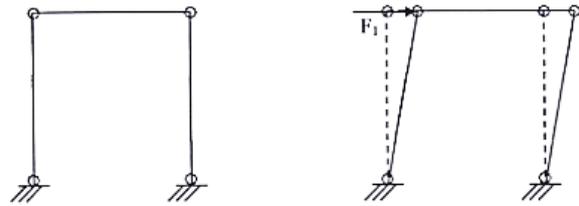


Gambar 2. Struktur Portal Bertingkat Banyak

Pengertian Dan Fungsi Struktural Braced Frames Element

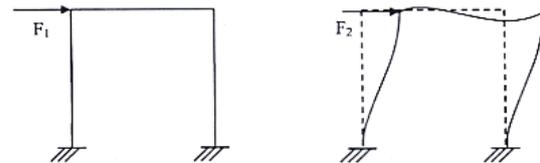
Element Pengaku Portal (*Braced Frames Element*) adalah elemen struktur yang diletakan secara menyilang (*diagonal*) pada struktur portal, yang berfungsi untuk menopang/mengaku portal dalam menahan beban lateral. Berbeda dengan portal yang tidak menggunakan pengaku (*bracing*), dimana kekuatan dan kekakuan portal hanya tergantung pada elemen balok dan kolom saja.

Misalnya suatu struktur portal dengan sambungan sendi (gambar 3.a) diberikan beban lateral sebesar F_1 , maka akan mengalami mekanisme keruntuhan (gambar 3.b). Keruntuhan dapat dicegah dengan cara mengganti sambungan sendi menjadi sambungan kaku (*rigid joint*). Kemampuan portal dalam menahan beban akan meningkat akibat adanya kemampuan masing-masing elemen portal untuk menahan beban yang ada (gambar 4.a). Struktur yang demikian disebut Portal Kaku (*Rigid Frame*) tanpa *bracing* atau biasa disebut *Unbraced Frames*.



(a) (b)

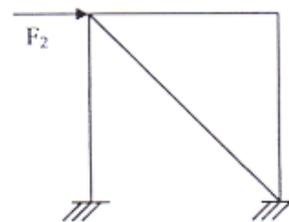
Gambar 3. (a) Portal Sambungan Sendi; (b) Mekanisme Keruntuhan Portal Sambungan Sendi.



(a) (b)

Gambar 4. (a) Portal Kaku; (b) Mekanisme Keruntuhan Portal Kaku

Apabila beban lateral diperbesar menjadi F_2 maka portal akan mengalami keruntuhan (gambar 4.b), dengan asumsi elemen-elemen portal sudah tidak mampu menahan beban lateral yang ada. Untuk mengatasi keruntuhan ini perlu adanya penggunaan *bracing* pada portal tersebut. Portal seperti ini dapat kita sebut *Braced Frames* (gambar 5).



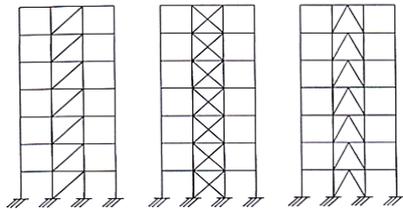
Gambar 5. Portal Sederhana dengan *Bracing*

Braced Frames Element Sebagai Batang Aksial

Pada portal tanpa *bracing* (*Unbraced Frames*), kekuatan dan kekakuan struktur sangat tergantung pada elemen balok dan kolom yang akan berperilaku sebagai elemen struktur yang menahan deformasi lentur, geser dan aksial. Untuk portal dengan *bracing* (*Braced Frames*), perilaku elemen balok dan kolom sama seperti pada *Unbraced Frames*, hanya berbeda pada elemen *bracing*-nya. Elemen *bracing* pada *Braced Frames* akan berperilaku sebagai aksial, yaitu elemen struktur yang menahan deformasi aksial saja.

Bentuk-bentuk Braced Frames Element

Bentuk-bentuk *Braced Frames Element* antara lain adalah *Diagonal bracing*, *X-bracing*, dan *Inverted V bracing*. *Bracing* dapat ditempatkan pada satu bentang saja atau pada beberapa bentang portal, dengan penggunaan satu bentuk *bracing* ataupun kombinasi dari beberapa bentuk *bracing*.

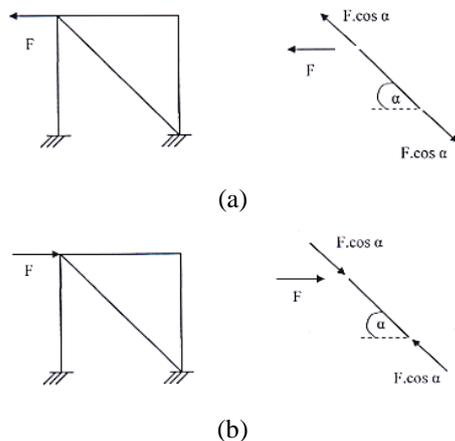


Gambar 6. Portal Bertingkat Banyak dengan Berbagai Bentuk *Bracing*

1. Diagonal Bracing

Bentuk *Diagonal bracing* akan memerlukan jumlah batang yang lebih sedikit dibandingkan dengan bentuk-bentuk *bracing* yang lain, karena hanya disusun oleh sebuah batang *diagonal* yang diletakkan secara menyilang pada portal.

Untuk desain terhadap beban dinamis seperti beban gempa dengan gaya lateral bolak-balik (dua arah), maka *Diagonal bracing* harus direncanakan terhadap gaya tarik dan gaya tekan, karena gaya lateral bolak-balik tersebut hanya akan ditahan oleh satu batang *diagonal* saja.

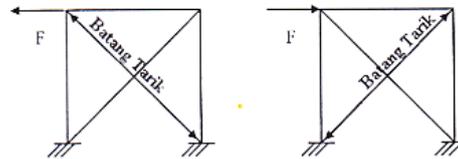


Gambar 7. (a) *Diagonal Bracing* dengan Gaya Aksial Tarik; (b) *Diagonal Bracing* dengan Gaya Aksial Tekan

2. X-Bracing

Bracing bentuk X ini dikatakan sebagai pengembangan dari bentuk *Diagonal bracing*. Bentuk *X-bracing* akan membutuhkan jumlah batang yang lebih banyak dibandingkan dengan *Diagonal bracing*, karena dilengkapi dengan dua batang *diagonal* yang saling menyilang dan

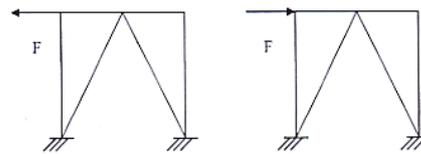
dapat menahan gaya tarik dan gaya tekan. Sering diasumsikan *bracing* ini hanya berfungsi sebagai batang tarik saja, karena beban gempa dengan gaya lateral bolak-balik (dua arah) akan selalu ditahan oleh salah satu batang tarik.



Gambar 8. Portal dengan X-*Bracing*

3. Inverted V Bracing

Pada desain *bracing* bentuk *Inverted V*, panjang batang *bracing* akan menjadi pendek karena akan memiliki tumpuan ditengah balok. Tumpuan ini akan mengurangi deformasi lentur balok, sehingga dimensi balok akan menjadi lebih kecil. Perlu diperhatikan bahwa *bracing* ini selain menahan beban lateral juga akan menerima beban vertikal, yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan batang untuk menahan beban lateral.



Gambar 9. Portal dengan *Inverted V Bracing*

Struktur Beton Bertulang

Beton bertulang adalah salah satu bahan konstruksi yang sangat penting karena digunakan di hampir semua struktur. Beton bertulang memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan tersebut antara lain, yaitu:

1. Beton adalah material yang mempunyai kuat tekan yang relatif tinggi apabila dibandingkan dengan material konstruksi yang lain.
2. Beton memiliki daya tahan terhadap api dan air, bahkan menjadi material struktur bangunan terbaik untuk bangunan yang bersentuhan langsung dengan air. Dalam peristiwa kebakaran dengan intensitas rata-rata, struktur beton dengan ketebalan selimut beton yang memadai sebagai pelindung tulangan hanya mengalami kerusakan pada permukaan beton tanpa mengalami keruntuhan.
3. Beton tidak memerlukan biaya perawatan yang besar.
4. Beton memiliki usia layan yang sangat panjang apabila dibandingkan dengan

- material konstruksi yang lain. Dalam kondisi normal, beton dapat digunakan dalam jangka waktu yang sangat lama tanpa kehilangan kemampuan untuk menahan beban. Hal ini menunjukkan beton tidak mengalami penurunan kekuatan seiring berjalannya waktu, bahkan semakin bertambah disebabkan proses pemadatan pasta semen.
- Beton dapat dicetak menjadi bentuk yang beranekaragam, mulai dari pelat, balok, kolom sederhana, sampai atap kubah dan cangkang besar.
 - Di tempat-tempat tertentu, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang relatif murah seperti pasir, kerikil, dan air, dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan material baja, yang mungkin saja didatangkan dari daerah lain.
 - Keahlian buruh yang dibutuhkan untuk membangun konstruksi beton relatif lebih rendah dibandingkan dengan bahan lain seperti struktur baja.

Selain memiliki kelebihan-kelebihan tersebut, beton juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

- Beton memiliki kuat tarik yang relatif sangat rendah.
- Dalam pembuatan beton, dibutuhkan bekisting untuk menjaga pembentukan beton sampai beton tersebut mengeras. Selain itu, dibutuhkan penyangga sementara untuk bekisting, disebabkan oleh besarnya berat sendiri dari material beton yang belum mengeras, dan beton belum mampu menopang berat sendirinya.
- Rendahnya kekuatan per satuan berat beton mengakibatkan beton menjadi berat.

Perancangan Ketahanan Gempa

Gempa yang dalam hal ini gempa bumi adalah suatu fenomena alam yang terjadi berupa getaran yang disebabkan oleh aktifitas vulkanik maupun tektonik yang berasal dari kerak bumi.

Gempa ini merambat dalam bentuk gelombang. Gelombang ini yang apabila sampai ke permukaan bumi, menyebabkan terjadinya getaran yang berpengaruh pada bangunan yang ada di permukaan. Hal inilah yang akan menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur bangunan karena struktur lebih cenderung memiliki sifat mempertahankan diri dari gerakan, Schodek (1999).

Berdasarkan UBC 1997, tujuan dari desain bangunan tahan gempa adalah mencegah

terjadinya kegagalan struktur dan terjadinya korban jiwa, dengan 3 kriteria standar yaitu:

- Tidak terjadi kerusakan sama sekali pada gempa ringan.
- Ketika terjadi gempa sedang, diizinkan terjadi kerusakan arsitektural tanpa adanya kerusakan struktural.
- Diizinkan terjadinya kerusakan struktural maupun non-struktural pada gempa kuat, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 < 0,04g$ dan $S_s < 0,15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam kategori desain seismik A.

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs SA , SB , SC , SD , SE , atau SF . Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF .

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 10. dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (4)$$

Keterangan:

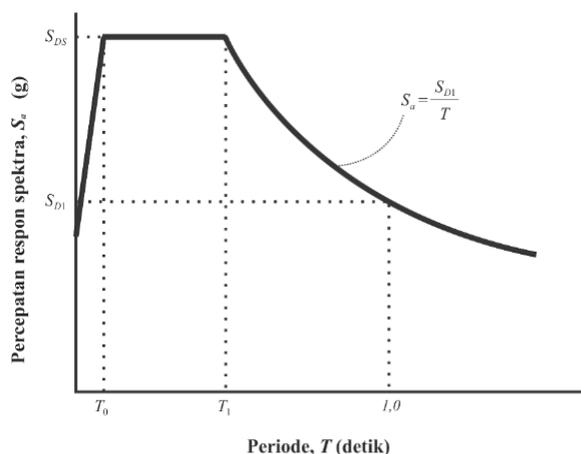
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik;

T = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (5)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (6)$$



Gambar 10. Spektrum Respons Desain

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral

percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} .

Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 1. atau 2., terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.6 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur, T_a adalah kurang dari $0,8T_s$,
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s ;
3. Diafragma struktural adalah kaku, dan untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Tabel 1. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: (SNI 1726:2012)

Tabel 2. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: (SNI 1726:2012)

Kriteria Pemodelan

Berat seismik efektif struktur, W , harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk

- penyimpanan: minimum sebesar 25 persen beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5 persen dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan);
- Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar di antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar $0,48 \text{ kN/m}^2$;
 - Berat operasional total dari peralatan yang permanen;
 - Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.

Mengacu pada SNI 1726:2012 pasal pasal 7.7.3 tentang pengaruh penampang retak, SNI 2847:2013 pasal 10.10.4.1 menyatakan tentang properti yang boleh digunakan untuk komponen struktur dalam suatu struktur, yaitu:

- Modulus Elastisitas, E_c
- Momen Inersia, I
 - Komponen Struktur Tekan
 - Kolom : $0,70I_g$
 - Dinding
 - Tak Retak : $0,70I_g$
 - Retak : $0,35I_g$
 - Komponen Struktur Lentur
 - Balok : $0,35I_g$
 - Pelat Datar dan Slab Datar : $0,25I_g$
- Luas, A : $1,0A_g$

Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \tag{7}$$

Keterangan:

- C_s = Koefisien respons seismik
- W = Berat seismik efektif

Nilai Koefisien Respons Seismik (C_s) ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{8}$$

Keterangan:

- S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek, redaman 5 persen.
- R = Koefisien modifikasi respons
- I_e = Faktor keutamaan gedung dan non-gedung

Untuk membatasi nilai Koefisien Respons Seismik (C_s), harus ditentukan nilai maksimum dan minimum dari Koefisien Respons Seismik (C_s). Oleh karena itu, nilai C_s tidak perlu melebihi nilai:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{9}$$

dan tidak kurang dari nilai:

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \tag{10}$$

Keterangan:

- S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen.

Dalam SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 menyatakan bahwa perioda fundamental pendekatan T_a , harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \tag{11}$$

Keterangan:

- h_n = ketinggian total struktur, dari dasar hingga tingkat tertinggi (m)

Tabel 3. Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: (SNI 1726:2012)

Tabel 4. Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gempa yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:	C_t	x
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,76
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,77

Sumber: (SNI 1726:2012)

Analisis Spektrum Respons Ragam

SNI 1726:2012 pasal 7.9 menyatakan bahwa, analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90

persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_r) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V}{V_r}$.

Penentuan Simpangan Antar Lantai

Pasal 7.12.1.1 SNI 1726-2012 menyebutkan untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E atau F, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) yang dibagi dengan faktor redundansi (ρ) untuk semua tingkat. Dimana untuk simpangan antar lantai tingkat ijin diperoleh berdasarkan tabel 2

Tabel 5. Simpangan Antar Lantai Tingkat Ijin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	$0,025hsc^x$	$0,020hsc^x$	$0,015hsc^x$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010hsc^x$	$0,010hsc^x$	$0,010hsc^x$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007hsc^x$	$0,007hsc^x$	$0,007hsc^x$
Semua struktur lainnya	$0,020hsc^x$	$0,020hsc^x$	$0,020hsc^x$

Dengan hsc^x adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x
 Sumber: (SNI 1726:2012)

Struktur bangunan gedung beraturan dan tidak beraturan

Menurut SNI 1726:2012, struktur bangunan gedung dikategorikan atau diklasifikasikan sebagai bangunan gedung beraturan dan tidak beraturan. Struktur bangunan gedung yang tidak beraturan dibagi menjadi struktur gedung tidak beraturan secara horisontal dan struktur gedung tidak beraturan secara vertikal.

Ketidakteraturan struktur lantai lunak (soft story)

Menurut SNI 1726:2012, Tabel 11, bangunan gedung dikategorikan sebagai bangunan gedung dengan ketidakberaturan tipe

1a, dimana ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

METODOLOGI PENELITIAN

Data untuk Desain

Material

Beton

- Mutu beton = 40 MPa (balok,kolom)
30 MPa (dinding,lantai)
- Berat jenis beton = 2400 kg/m³

Baja *Bracing*

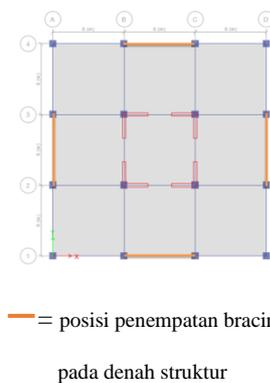
- Mutu baja = BJ 37 ($f_y = 240$ MPa, dan $f_u = 370$ MPa)
- Berat jenis baja = 7850 kg/m³

Elemen Struktur

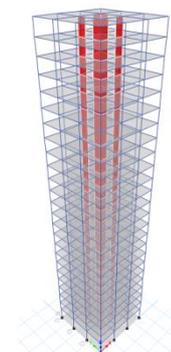
- Jenis struktur = beton bertulang
- Tebal plat = 0,15 m
- Tebal *shearwall* = 0,30 m
- Dimensi balok = 0,4 m x 0,6 m
- Dimensi kolom = 0,90 m x 0,90m (lantai 1-10)
0,65 m x 0,65m (lantai 11-20)
0,60 m x 0,60m (lantai 21-25)

Geometrik Struktur

- Jumlah lantai = 25 lantai
- Tinggi tiap lantai = 8m (lantai 1)
3m (lantai 2-25)
- Tinggi total struktur = 80 m
- Jumlah bentang arah x = 3 bentang
- Jumlah bentang arah y = 3 bentang
- Jarak antar bentang = 6 m



Gambar 11. Denah Struktur



Gambar 12. 3D Struktur

Pemodelan struktur akan dibuat 6 model, yaitu :

- model A : struktur tanpa *bracing*
- model B : struktur dengan diagonal *bracing* (*steel IWF*)
- model C : struktur dengan *inverted V bracing* (*steel angle*)
- model D : struktur dengan *inverted V bracing* (*steel tee*)
- model E : struktur dengan *X bracing* (*steel angle*)
- model F : struktur dengan *X bracing* (*steel tee*)

Beban Gravitasi

- Fungsi gedung sebagai perkantoran
- Beban hidup = 250 kg/m² (lantai tipikal)
100 kg/m² (atap)
- Beban mati:
 - Dead load* = berat struktur
 - SD load* = 150 kg/m² (lantai tipikal)
50 kg/m² (atap)
 - Cladding* = 20 kg/m²

Beban Gempa

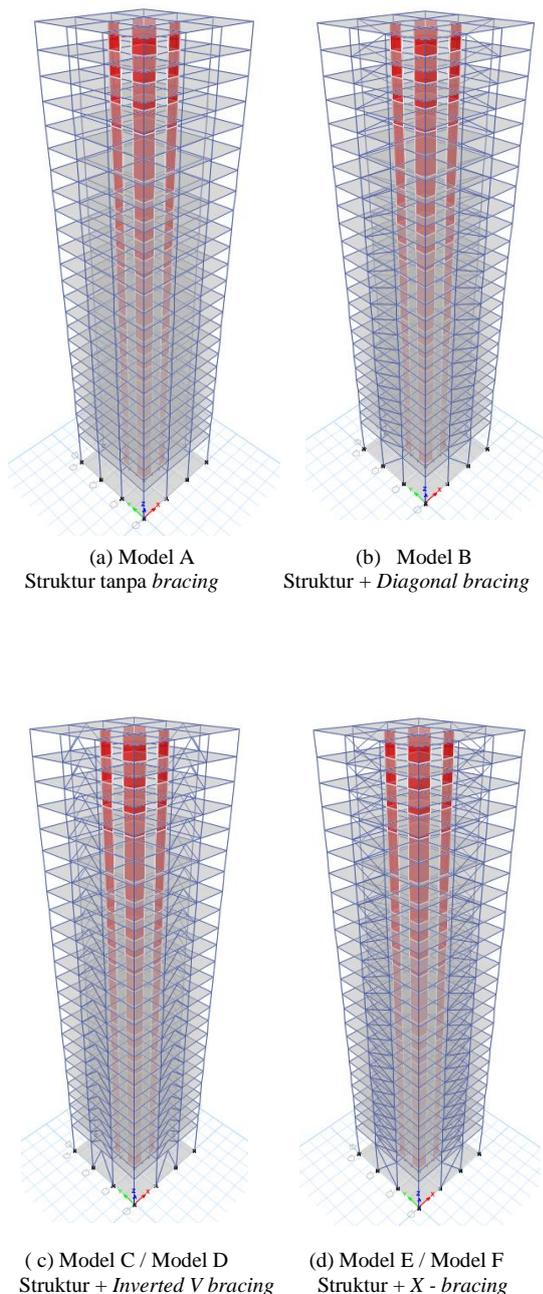
- Lokasi bangunan = kota manado
- Analisa gempa = respon spektrum
- Kelas situs = tanah sedang (SD)

Kombinasi Pembebanan

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L$
3. $1,2D + L + 1,0EX + 0,3EY$
4. $1,2D + L + 0,3EX + 1,0EY$

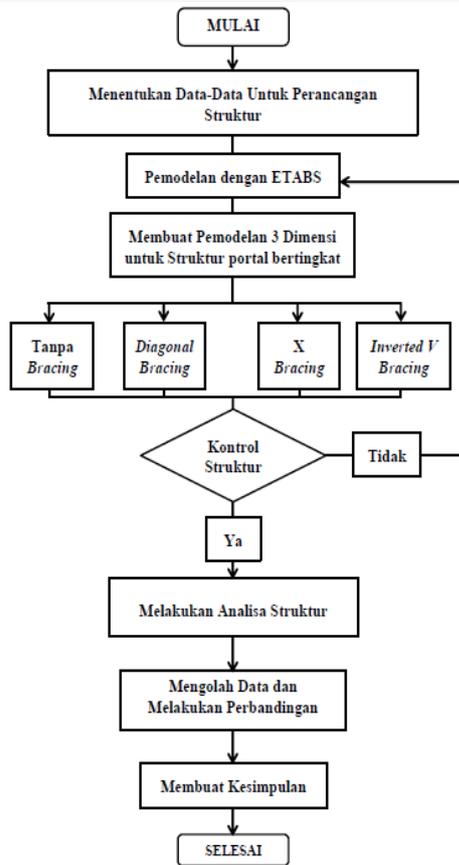
Langkah-Langkah Penelitian

1. Menentukan data-data yang mendukung perancangan struktur, seperti model struktur, denah struktur, dan beban-beban yang akan digunakan.
2. Membuat pemodelan struktur 3 dimensi bangunan bertingkat 25 tanpa dan dengan variasi model bracing, yaitu bracing tipe Diagonal Bracing, X-Bracing, dan Inverted V Bracing.
3. Menentukan jenis pembebanan dan melakukan perhitungan beban, serta memasukkan tiap beban pada tiap-tiap pemodelan struktur.
4. Melakukan analisa struktur terhadap tiap-tiap pemodelan dengan bantuan *software* ETABS.
5. Melakukan kontrol struktur untuk tiap-tiap pemodelan struktur.
6. Mengolah data dan melakukan perbandingan data hasil analisa antar tiap-tiap pemodelan struktur.
7. Mengambil kesimpulan berdasarkan hasil perbandingan dan melakukan pembahasan yang sesuai dengan tujuan penelitian



Gambar 13. Model Uji

Pembebanan



Gambar 14. Diagram Alir Penelitian

HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pemodelan awal pada *software* ETABS menghasilkan Model A, yaitu struktur tanpa penambahan *bracing*. Selanjutnya dibuat pengembangan model yaitu Model B, untuk struktur dengan penambahan *bracing* tipe *Diagonal bracing* pada sisi luar struktur, Model C dan D, untuk struktur dengan penambahan *bracing* tipe *X-bracing*, serta Model E dan F, untuk struktur dengan penambahan *bracing* tipe *Inverted V bracing*. Pemodelan dengan *bracing* dibuat memiliki berat volume baja yang sama untuk setiap modelnya, namun dengan dimensi yang berbeda-beda.

Setelah dilakukan pemodelan awal yang menghasilkan Model A, dilakukan pengembangan pemodelan yaitu dengan Model B, C, D, E, dan F untuk meneliti lebih lanjut perbandingan respons dinamik yang dihasilkan oleh struktur dengan memvariasikan tipe *braced frames element* pada struktur, tanpa mengabaikan batasan masalah yang sudah dijelaskan pada pendahuluan.

Tabel 6. Perbandingan Nilai Simpangan untuk Beban Gempa Statis

Lantai	Tinggi (m)	Gempa Statis (Q)					
		Model A	Model B	Model C	Model D	Model E	Model F
25	80	71.7	56.6	55.8	55.8	56.4	56.4
24	77	69.8	54.9	54.1	54.2	54.7	54.8
23	74	67.8	53.1	52.4	52.5	52.9	53
22	71	65.6	51.3	50.6	50.7	51.1	51.2
21	68	63.3	49.4	48.6	48.7	49.1	49.2
20	65	60.9	47.3	46.6	46.7	47.1	47.2
19	62	58.4	45.2	44.5	44.6	45	45.1
18	59	55.7	43	42.4	42.5	42.8	42.8
17	56	52.9	40.7	40.1	40.2	40.5	40.6
16	53	50	38.3	37.8	37.9	38.1	38.2
15	50	47	35.9	35.4	35.5	35.7	35.8
14	47	44	33.4	33	33.1	33.3	33.3
13	44	40.8	30.9	30.5	30.6	30.8	30.8
12	41	37.6	28.4	28.1	28.1	28.3	28.3
11	38	34.4	25.9	25.6	25.7	25.8	25.8
10	35	31.1	23.4	23.1	23.2	23.3	23.3
9	32	27.9	20.9	20.7	20.8	20.8	20.9
8	29	24.7	18.5	18.3	18.4	18.4	18.4
7	26	21.5	16.1	15.9	16	16	16
6	23	18.3	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6
5	20	15.2	11.4	11.3	11.3	11.3	11.3
4	17	12.1	9.1	9.1	9.1	9	9.1
3	14	9.1	7	6.9	7	6.9	6.9
2	11	6.3	4.9	4.9	4.9	4.8	4.8
1	8	3.7	2.9	2.9	3	2.9	2.9
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 7. Perbandingan Nilai Simpangan untuk Beban Gempa Dinamis

Lantai	Tinggi (m)	RSP					
		Model A	Model B	Model C	Model D	Model E	Model F
25	80	68.7	61.1	60.3	60.3	60.6	60.6
24	77	66.8	59.2	58.4	58.4	58.7	58.7
23	74	64.8	57.2	56.4	56.5	56.7	56.7
22	71	62.6	55.1	54.4	54.4	54.6	54.6
21	68	60.3	52.9	52.2	52.3	52.4	52.5
20	65	58	50.6	50	50	50.1	50.2
19	62	55.5	48.3	47.7	47.7	47.8	47.9
18	59	52.9	45.9	45.3	45.4	45.4	45.5
17	56	50.3	43.5	42.9	43	43	43.1
16	53	47.6	41	40.4	40.5	40.5	40.6
15	50	44.8	38.5	38	38	38.1	38.1
14	47	42	35.9	35.5	35.5	35.5	35.6
13	44	39.2	33.4	33	33	33	33.1
12	41	36.3	30.8	30.5	30.5	30.5	30.6
11	38	33.4	28.3	28	28	28	28
10	35	30.4	25.8	25.5	25.5	25.5	25.5
9	32	27.5	23.2	23	23.1	23	23
8	29	24.5	20.7	20.6	20.6	20.5	20.5
7	26	21.6	18.2	18.1	18.1	18	18
6	23	18.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.5
5	20	15.5	13.2	13.1	13.2	13	13
4	17	12.5	10.7	10.7	10.7	10.5	10.6
3	14	9.6	8.3	8.3	8.3	8.1	8.1
2	11	6.7	5.9	5.9	5.9	5.7	5.8
1	8	4	3.5	3.6	3.6	3.5	3.5
0	0	0	0	0	0	0	0

Pembahasan Hasil Analisa Struktur

Model A adalah struktur bangunan yang didesain tanpa adanya penambahan *braced frames element*, dan memiliki dinding geser pada inti bangunan tapi tidak di semua bagian (Gambar 13a). Model A didesain memiliki denah struktur yang simetris terhadap dua arah ortogonal. Hal tersebut menyebabkan simpangan

horisontal yang terjadi memiliki nilai yang sama untuk setiap arah gempa yang terjadi, baik gempa arah x , maupun gempa arah y . Oleh karena itu, data hasil analisa struktur yang diambil hanya berdasarkan pengaruh gempa statis dan gempa dinamis terhadap salah satu arah saja. Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, Model A menghasilkan nilai simpangan maksimum paling besar dari seluruh pemodelan, yaitu sebesar 71,7 mm untuk beban gempa statis, dan 68,7 mm untuk beban gempa dinamis.

Model B adalah struktur yang didesain dengan adanya penambahan *braced frames element* tipe *diagonal bracing* dengan dimensi baja yang digunakan yaitu baja IWF (*steel IWF*), dan memiliki dinding geser yang sama seperti model A (Gambar 13b). Model B juga memiliki denah struktur yang simetris, sehingga hanya data hasil analisa struktur terbesar yang diambil. Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, nilai simpangan maksimum yang dihasilkan dari gempa statis adalah 56,6 mm, dan dari beban gempa dinamis adalah 61,1 mm.

Pemodelan selanjutnya adalah Model C dan D, yaitu struktur yang didesain dengan adanya penambahan *braced frames element* tipe *inverted V bracing* dengan volume total baja yang sama, dan memiliki dinding geser yang sama seperti model-model sebelumnya (Gambar 13c dan Gambar 13d). Bedanya yaitu kedua model ini menggunakan baja dengan dimensi yang berbeda dimana untuk Model C menggunakan dimensi baja siku (*steel angle*) dan Model D dengan dimensi baja T (*steel tee*). Model C dan D juga memiliki denah struktur yang simetris terhadap arah x dan y . Berdasarkan Tabel 6. dan Tabel 7, Model C dan Model D menghasilkan nilai simpangan maksimum yang sama yaitu yang paling kecil diantara pemodelan yang lain yaitu sebesar 55,8 mm untuk beban gempa statis, dan 60,3 mm untuk beban gempa dinamis.

Selanjutnya Model E dan F, sama seperti dua model sebelumnya, Model E dan Model F memiliki kesamaan pada denah struktur yaitu simetris, sama-sama didesain dengan penambahan *braced frames element* tipe *X-bracing* pada struktur bagian luar, juga memiliki volume total baja yang sama, dan terdapat dinding geser yang sama seperti model sebelumnya. Bedanya yaitu Model E menggunakan dimensi baja siku (*steel angle*), sedangkan Model E menggunakan dimensi baja T (*steel tee*). Berdasarkan Tabel 6. dan Tabel 7, nilai simpangan maksimum yang diperoleh Model E dan Model F sama yaitu 56,4 mm

untuk gempa statis, dan 60,6 mm untuk gempa dinamis.

Berdasarkan nilai simpangan maksimum yang dihasilkan oleh tiap pemodelan, struktur yang menggunakan *Diagonal bracing*, *X-bracing*, dan *Inverted V bracing* yang diletakkan pada seluruh bentang vertikal di sisi luar bangunan menghasilkan respon (simpangan lateral) yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang tidak menggunakan bracing.

Selanjutnya dibuat perbandingan antara struktur terbuka tanpa dan dengan penambahan *braced frames element* pada bentang vertikal bagian luar struktur. Perbandingan dibuat untuk mengetahui persentase simpangan yang direduksi setelah dibuat penambahan *braced frames element* terhadap struktur Model A yaitu struktur tanpa penambahan *bracing* akibat beban gempa.

Tabel 8. Rata-rata Simpangan yang Direduksi Terhadap Model A

MODEL	REDUKSI SIMPANGAN AKIBAT BEBAN GEMPA STATIS	REDUKSI SIMPANGAN AKIBAT BEBAN GEMPA DINAMIS
	(%)	(%)
B	22.50%	13.21%
C	23.33%	13.89%
D	23.03%	13.81%
E	22.93%	14.20%
F	22.83%	14.04%

Hasil perbandingan rata-rata simpangan yang direduksi oleh tiap pemodelan terhadap Model A memberikan nilai persentase rata-rata yaitu untuk Model B yaitu 22,50 % akibat gempa statis dan 13,21 % akibat gempa dinamis, Model C dengan 22,33 % akibat gempa statis dan 13,89 % untuk gempa dinamis, Model D 23,03 % akibat gempa statis dan 13,81 % akibat gempa dinamis, Model E dengan 22,93 % akibat gempa statis dan 14,20 % akibat gempa dinamis, dan untuk Model F yaitu 22,83 % akibat gempa statis dan 14,04 % akibat gempa dinamis.

Dari tabel 8. dapat dilihat bahwa dengan penambahan *bracing* yang diletakkan pada seluruh bentang vertikal di sisi luar struktur 25 lantai akan mengurangi atau mereduksi simpangan lateral akibat gempa statis sebesar 22,50% sampai 23,33% dan akibat gempa dinamis sebesar 13,21% sampai 14,20% dari besarnya simpangan lateral portal tanpa bracing.

Dari pembahasan diatas dapat diambil gambaran bahwa *bracing* yang diletakkan pada seluruh bentang vertikal di sisi luar struktur 25 lantai, untuk semua pemodelan (Model B, Model C, Model D, Model E, dan Model F) akan efektif penggunaannya karena berpengaruh dalam

mengurangi simpangan lateral yang terjadi pada struktur tanpa adanya penambahan *bracing*.

Kontrol Hasil Analisa Struktur

Cek Ketidakberaturan Vertikal Tingkat Lunak (*Soft Story*) pada Struktur.

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.2 pada Tabel 11 disebutkan bahwa ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Tabel 9. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

MODEL	STORY STIFFNESS		70% LT.2	KONTROL
	LT.1	LT.2		
MODEL A	628941.235	889189.563	658920.19	TIPE 1A
MODEL B	820266.937	1210439.64	847307.74	TIPE 1A
MODEL C	792722.485	1195765.22	837035.65	TIPE 1A
MODEL D	790224.622	1191071.18	833749.83	TIPE 1A
MODEL E	821959.982	1210424.46	847297.12	TIPE 1A
MODEL F	819097.096	1205742.36	844019.65	TIPE 1A

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Penggunaan *Diagonal Bracing* (Model B) pada struktur dengan kekakuan kolom tingkat dasar yang lebih kecil (*soft first story*) yang diletakkan pada bentang tengah vertikal di sisi luar struktur, menghasilkan nilai simpangan maksimum paling besar, yaitu 56,6 mm akibat beban gempa statis dan 61,1 mm akibat gempa dinamis. Selanjutnya diikuti penggunaan *bracing* tipe *X-Bracing* (Model E dan Model F) dengan nilai simpangan maksimum yang sama sebesar 56,4 mm akibat gempa statis dan 60,6 mm akibat gempa dinamis. Untuk nilai simpangan maksimum terkecil dihasilkan dengan penambahan *bracing* tipe *Inverted V* (Model C dan Model D) yaitu sebesar 55,8 mm akibat

beban gempa statis, dan 60,3 mm akibat gempa dinamis.

- Nilai simpangan yang dihasilkan oleh struktur bangunan 25 lantai tanpa penambahan *bracing* (Model A) dapat direduksi setelah adanya penambahan variasi tipe *bracing*. Diantara semua pemodelan, yang memberikan kontribusi terbesar dalam mengurangi simpangan lateral yaitu struktur Model C dan Model D, dimana untuk struktur dengan penambahan *bracing* tipe *Inverted V* dengan dimensi baja yang digunakan yaitu baja siku (Model C) mereduksi 23,33% simpangan lateral akibat gempa statis, dan struktur dengan penambahan *bracing* tipe *X* dengan dimensi baja yang digunakan yaitu baja siku (Model E) mereduksi 14,20 % simpangan lateral akibat gempa dinamis.
- Untuk seluruh pemodelan dengan variasi *bracing* (*Diagonal Bracing*, *X-Bracing*, dan *Inverted V Bracing*) yang diletakkan pada seluruh bentang vertikal di sisi luar struktur akan efektif penggunaannya, karena dapat mengurangi simpangan lateral yang terjadi pada struktur akibat beban gempa.

Saran

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa hal yang patut diperhatikan, yaitu:

- Diperlukan ketelitian dalam menggunakan *software* agar dapat menghasilkan analisa yang sesuai dengan keadaan di lapangan nanti.
- Struktur hanya dianalisa pada kondisi struktur yang terbatas, yaitu pada kondisi struktur 3 dimensi dengan bentuk struktur yang simetris serta letak *bracing* yang simetris. Untuk itu perlu diadakan studi dan penelitian yang lebih lanjut pada struktur 3 dimensi dengan bentuk-bentuk yang tidak simetris, sehingga dapat diketahui simpangan lateral yang terjadi serta penempatan dan perilaku *bracing* pada kondisi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional., 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung (SNI 1726:2012)*. Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional., 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Bandung.

- Hasan, Armando., 2006. *Respon Dinamis Struktur Bertingkat Banyak Menggunakan Braced Frames Element Terhadap Beban Gempa*. Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Maheri M.R. dan Sahebi A., 1997. *Use of Steel Bracing in Reinforced Concrete Frames, Engineering Structures, Vol. 19*. Elsevier.
- Nageh, Makar., 2007. *How to Model and Design Highrise Building using ETABS Program*. Cairo: Scientific Book House.
- Schodek, Daniel. L., 1999. *Struktur Edisi kedua*. Jakarta: Erlangga
- Schueller, Wolfgang., 2001. *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung: Eresco.
- Uniform Building Code (UBC)., 1997, *Structural Engineering Design Provisions, Vol. 2*, ICBO. U.S.A.

Halaman ini sengaja dikosongkan