

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Gempa

Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena terjadi pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Gempa bumi tersebut disebut gempa bumi tektonik. Selain itu, gempa bumi juga dapat disebabkan oleh aktivitas gunung berapi yang disebut sebagai gempa bumi vulkanik. Pergerakan secara tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi tersebut akan menghasilkan energi berupa gelombang seismik. Getaran tersebut ketika mencapai permukaan bumi dapat merusak apapun yang ada di permukaan bumi salah satunya yaitu bangunan dan infrastruktur lainnya dan hal tersebut dapat menyebabkan kerugian secara materi bahkan korban jiwa (Sunarjo, M. Taufik, dan Sugeng, 2010).

2.1.1 Kedalaman dan Kekuatan Gempa bumi

Fowler (dikutip di Sunarjo, M. Taufik, dan Sugeng, 2010, h. 32) mengelompokkan gempa bumi menurut kedalaman fokus (*hypocentre*) sebagai berikut: gempa bumi dangkal (*shallow*) kurang dari 70 km, gempa bumi menengah (*intermediate*) kurang dari 300 km, dan gempa bumi dalam (*deep*) lebih dari 300 km atau 450 km. Gempa bumi dangkal akan menimbulkan efek getaran dan kehancuran yang lebih kuat dibanding gempa bumi dalam karena sumber gempa bumi lebih dekat ke permukaan bumi (Sunarjo, M. Taufik, dan Sugeng, 2010).

Berdasarkan kekuatannya atau magnitudo (M) berskala Richter (SR) dapat dibedakan atas:

- a. Gempa bumi sangat besar $M > 8$ SR
- b. Gempa bumi besar $M 7 - 8$ SR
- c. Gempa bumi merusak $M 5 - 6$ SR
- d. Gempa bumi sedang $M 4 - 5$ SR.

- e. Gempa bumi kecil $M 3 - 4$ SR
- f. Gempa bumi mikro $M 1 - 3$ SR
- g. Gempa bumi ultra mikro $M < 1$ SR

Kondisi tektonik Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil atau *microblocks* (Bird, 2003), menyebabkan daerah tersebut memiliki potensi untuk mengalami cukup banyak kejadian gempa. Objek yang akan sangat terpengaruh oleh efek gempa adalah bangunan. Jika bangunan tidak dibuat cukup kuat, maka bangunan akan mengalami keretakan dan bahkan dapat langsung rubuh ketika gempa terjadi. Oleh karena itu, bangunan-bangunan tinggi di Indonesia harus dirancang untuk dapat menahan beban gempa.

2.2 Bangunan Tahan Gempa

Berdasarkan Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, bangunan tahan gempa bukan berarti suatu bangunan yang tidak akan rusak jika terjadi gempa, namun maksud dari bangunan tahan gempa yaitu untuk meminimalisir resiko kerugian penghuni dan sekitarnya akibat bencana gempa.

Sedangkan berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) 1997, tujuan dari bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan tiga kriteria standar sebagai berikut:

1. Ketika terjadi gempa kecil, tidak terjadi kerusakan sama sekali.
2. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan kerusakan struktural.
3. Ketika terjadi gempa kuat, diperbolehkan terjadi kerusakan struktural dan non-struktural namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan keruntuhan total.

2.2.1 Konsep Dasar

Konsep dasar bangunan tahan gempa adalah upaya untuk membuat seluruh elemen rumah menjadi satu kesatuan yang utuh. Penerapan konsep tahan gempa diantaranya adalah dengan membuat sambungan yang cukup kuat dan memilih

material dan melakukan tahapan pelaksanaan yang tepat. Penggunaan bahan yang baik dengan mutu yang sesuai dengan apa yang disyaratkan merupakan hal penting yang harus dipenuhi dalam membuat rumah tahan gempa. Untuk mendapatkan mutu bangunan yang baik, pengerjaan rumah tahan gempa, harus mengikuti prosedur-prosedur yang baik dan benar. (Prihatmaji, Yulianto P., Wahyudi Budi Pramono, dan Chandra Adi Nugroho, 2013)

2.2.2 Tinjauan Arsitektur

Tinjauan arsitektur bentuk bangunan yang baik adalah bentuknya simetris (bujursangkar, segi empat) dan perbandingan antara sisi yang baik yaitu panjang kurang dari 3 kali lebar. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi gaya puntir (torsion) yang mungkin terjadi jika gempa terjadi. Selain itu untuk mengurangi efek gempa dapat juga dilakukan pemisahan bangunan (dilatasi struktur) pada bangunan yang panjang (Prihatmaji, Yulianto P., Wahyudi Budi Pramono, dan Chandra Adi Nugroho, 2013).

2.2.3 Konsep Perencanaan dalam Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Pada peraturan-peraturan SNI yang membahas tata cara perencanaan bangunan gedung, terdapat beberapa sistem yang dapat digunakan untuk merencanakan sebuah bangunan tahan gempa, diantaranya adalah:

a. Sistem Rangka Pemikul Momen

Berdasarkan SNI 1726-2019, sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur rangka yang elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban-beban lateral melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

b. Sistem Rangka Bresing

Rangka bresing merupakan suatu rangka batang vertikal, atau yang setara dengan jenis konsentris, atau eksentris, yang disediakan pada sistem rangka bangunan atau sistem ganda untuk menahan gaya lateral gempa (SNI 1726,

2019). Sistem rangka bresing dikategorikan menjadi rangka bresing konsentrik dan rangka bresing eksentrik.

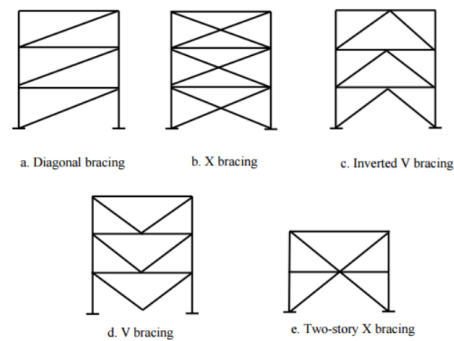
1. Struktur rangka bresing konsentrik (SRBK) merupakan rangka bresing yang fungsi utama dari elemen-elemen strukturnya adalah untuk menahan gaya-gaya lateral (SNI 1726-2019). SRBK dapat dikategorikan menjadi struktur rangka bresing konsentrik biasa (SRBKB) dan struktur rangka bresing konsentrik khusus (SRBKK).
2. Struktur rangka bresing eksentrik (SRBE) merupakan suatu sistem rangka yang diberi bresing diagonal elemen diagonal nya tidak bertemu dan salah satu ujung dari setiap elemen bresingnya merangka pada balok sejarak tertentu dari lokasi sambungan balok-kolom atau ujung bresing diagonal yang lain (SNI 1726-2019).

2.3 Sistem Rangka Bresing Konsentrik

Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) adalah hasil pengembangan dari sistem portal tak berpengaku atau *Moment Resisting Frames* (MRF). Sistem Rangka Bresing Konsentrik ini dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik (Fauzi, 2012). SRBK merupakan sistem rangka yang relatif kaku sehingga dapat dianggap sebagai rangka tidak bergoyang karena mengandalkan perilaku aksial pada elemen strukturnya (Dewobroto, 2015).

2.3.1 Tipe Sistem Rangka Bresing Konsentrik

Sistem rangka bresing konsentrik yang biasa digunakan terdapat dari beberapa macam tipe. Berbagai tipe Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) tersebut yaitu tipe-X, tipe diagonal, tipe-K, tipe-V, dan tipe V-terbalik (*inverted V*).



Gambar 2.1 Tipe Rangka Bresing Konsentrik

(Sumber: Momenzadeh, 2017)

Bresing tipe V, tipe *Inverted V*, dan tipe X merupakan tiga konfigurasi bresing berbeda yang paling sering digunakan pada Sistem Rangka Bresing Konsentrik, tetapi Bresing Tipe X menjadi jarang digunakan karena membutuhkan biaya tambahan pada sambungan. Disisi lain, pada *seismic design of brace-intersected girders* penggunaan bresing tipe V dan *Inverted V* membutuhkan ukuran girder yang besar, sehingga untuk mengurangi ukuran girder, *engineers* menggunakan bresing tipe *two story X*. Sebagai hasil, bresing tipe V, tipe *Inverted V*, dan tipe X seperti terlihat pada **Gambar 2.1** merupakan tiga kategori utama yang sering digunakan pada SRBK. (Momenzadeh, 2017)

X Bracing, Sistem pada bresing tipe X ini bekerja dengan cara mengikat kolom-kolom utama beserta plat-plat lantai menjadi satu kesatuan sistem struktur. Setelah menjadi satu kesatuan sistem, struktur ini akan dapat mendukung suatu bangunan tinggi untuk menahan beban-beban yang bekerja pada bangunan tersebut (Handoyo, 2010)

Inverted-V Bracing, Kelebihan dari bresing tipe *Inverted V* ini yaitu dari segi arsitektural akan memberikan ruang yang lebih besar dan cukup banyak diterapkan karena cukup efisien dalam menahan beban lateral. Selain itu, bresing tipe *Inverted-V* ini cukup banyak diterapkan karena cukup efisien dalam menahan beban lateral. Bresing tipe ini dapat mengurangi profil dimensi balok karena bresing menahan balok di tengah bentang (Windah, 2011).

2.4 Pembebanan

Salah satu hal yang utama dalam perencanaan struktur yaitu adalah melakukan estimasi beban yang akan diterima oleh suatu konstruksi tersebut, atau lebih dikenal dengan istilah pembebanan.

2.4.1 Beban Mati dan Beban Mati Tambahan

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, serta komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727-2013). Sedangkan beban mati tambahan (SIDL) didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen tambahan yang bersifat permanen.

2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup yaitu beban yang terjadi dan diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727, 2013).

2.4.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh pergeseran tanah yang disebabkan oleh adanya gempa bumi (Saputra, 2015).

Berikut adalah beberapa penjelasan mengenai Beban Gempa pada Struktur Gedung yang diatur dalam SNI 1726-2019.

A. Gempa Rencana

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan sudah dilampaui besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2% atau nilai beban gempa dengan perioda ulang adalah 500 tahun (SNI 1726, 2019).

B. Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko bangunan diatur dalam SNI 1726-2019. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan **Tabel 2.1**,

pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan Ie berdasarkan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas Sementara - Gudang Penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki uni bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara 	III

Tabel 2.1 (Lanjutan)

<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk dalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan masal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas genangan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disarankan instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726-2019

Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV (SNI 1726, 2019).

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726-2019

C. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs digunakan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu (SNI 1726, 2019)

Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan **Tabel 2.3** yang terdapat pada SNI 1726-2019, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik.

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

Tabel 2.3 (lanjutan)			
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 		
	<ul style="list-style-type: none"> - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi dengan ketebalan $H > 7,5$ m dan $PI > 75$ - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35m$ dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa 		

Sumber: SNI 1726-2019

2.5 Periode Struktur

Periode struktur bangunan merupakan salah satu parameter yang cukup penting dalam melakukan desain struktur bangunan. Untuk menentukan periode struktur dapat dilakukan dengan mengaplikasikan persamaan-persamaan yang tercantum dalam SNI 1726-2019 maupun melalui prosedur analisis dengan bantuan perangkat lunak seperti ETABS.

Dalam SNI 1726-2019 dijelaskan bahwa periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan, T_a .

Tabel 2.4 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien, C_u
$> 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726-2019

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari

Persamaan 2.1 berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.1)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m) dari atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 2.3

Tabel 2.5 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	Koefisien, C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
< Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
< Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan breising eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresising terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726-2019

2.6 Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726-2019, penentuan simpangan antar tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan pusat massa di tingkat- x harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 2.2** berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.2)$$

Keterangan:

C_d adalah faktor pembesaran simpangan, δ_{xe} adalah simpangan ditingkat- x , dan I_e adalah faktor keutamaan gempa.

Dalam SNI 1726-2019 juga dijelaskan bahwa simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin seperti didapatkan pada **Tabel 2.6** untuk semua tingkat.

Tabel 2.6 Simpangan antar tingkat izin

Struktur	Kategori Resiko		
	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 mengakomodasikan simpangan antar tingkat	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 1726-2019

Catatan:

h_{sx} adalah tinggi tingkat dibawah tingkat- x

2.7 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Analisis struktur terhadap beban gempa secara umum terdapat 2 macam, yaitu:

1. Analisis beban statik ekivalen merupakan cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap menjadi beban statik yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan massa struktur.
2. Analisis dinamik, pada analisis dinamik pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur diperhitungkan. Analisis dinamik dibagi menjadi 2 macam, yaitu analisis ragam respon spektrum dan analisis riwayat waktu.

Tujuan dari analisis dinamik yaitu untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat pergerakan tanah yang terjadi karena gempa. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekivalen (Edi Purnomo, Edy Purwanto, dan Agus Supriyadi, 2014).

2.7.1 Analisis Statik Ekivalen

Pada analisa statik ekivalen, beban gempa yang bekerja dianggap sebagai beban titik yang bekerja pada setiap lantai. Beban geser dasar (*base shear*) statik ekivalen merupakan gaya yang terjadi di dasar struktur. Meskipun sifat nya statik, tetapi nilai beban geser dasar diperoleh dari prinsip statik, namun prinsip-prinsip dinamik telah diperhitungkan (Widodo, 2001). Pada konsep statik ekivalen hanya memperhitungkan massa, sedangkan konsep dinamik memperhitungkan massa, kekakuan dan redaman.

Berdasarkan SNI 1726-2019, gaya geser dasar seismik, V , harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 2.3** berikut:

$$V = C_s W \quad (2.3)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien Seismik

W = Berat Struktur

Koefisien seismik harus dihitung berdasarkan **Persamaan 2.4**:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain

R = koefisien modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung tidak perlu melebihi **Persamaan 2.5** berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \frac{R}{I_e}} \quad (2.5)$$

C_s tidak harus kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.6)$$

Pendistribusian gaya gempa pada tiap tingkatan bangunan gedung, bergantung pada ketinggian tiap tingkat acuan, dirumuskan dalam **Persamaan 2.7** berikut:

$$F_x = \frac{W_i h_i}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} V \quad (2.7)$$

Dimana W_i adalah berat lantai tingkat ke- i , h_i adalah ketinggian lantai tingkat ke- i , sedangkan n adalah nomor lantai tingkat paling atas.

2.7.2 Analisis Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*)

Analisis dinamik riwayat waktu adalah analisis dinamik dimana catatan rekaman gempa dan respon spektrum dihitung setiap langkah dalam interval waktu tertentu diberikan pada model struktur (Diredja, 2012). Pada analisa dinamik riwayat waktu, beban gempa yang dimasukkan pada pembebanan struktur yaitu data rekam gerakan tanah (*ground motion*) dari gempa-gempa yang sebelumnya pernah terjadi. Metoda analisa dinamik tiga dimensi dilakukan untuk menghitung respon dinamik struktur terhadap pengaruh gempa rencana dapat berupa analisis respons dinamik linier dan non-linier riwayat waktu dengan suatu akselerogram gempa sebagai *input* gerakan tanah.

2.7.3 Rekaman Percepatan Gempa

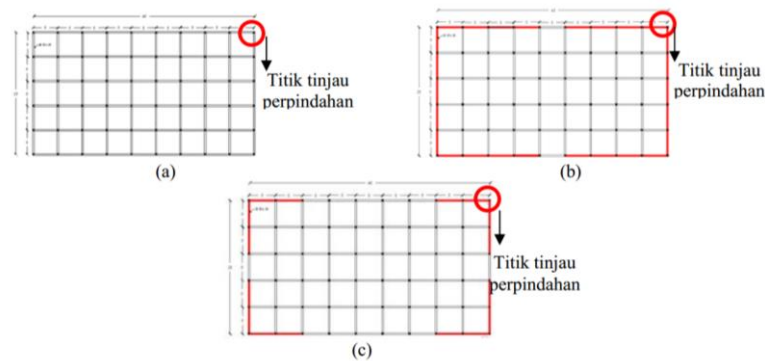
Di Indonesia, data percepatan tanah masih sangat sedikit, sehingga pada umumnya digunakan data percepatan tanah (*ground acceleration*) daerah lain untuk analisis. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bambang Sunardi tahun 2015 yang berjudul “Percepatan Tanah Sintetis Kota Yogyakarta Berdasarkan Deagregasi Bahaya Gempa” data percepatan tanah asli (*original*) gempa Kern County tahun 1952 dapat merepresentasikan sumber gempa subduksi untuk Kota Yogyakarta. Gempa Kern County tahun 1952 memiliki kekuatan (M) 7,4 dengan jarak (R) 121 km, tidak persis sama namun cukup mendekati hasil deagregasi bahaya gempa Kota Yogyakarta dengan sumber gempa dalam/subduksi yang memiliki kekuatan (M) 7,1 dengan jarak (R) 200 km. Sedangkan untuk merepresentasikan sumber gempa dangkal (*shallow crustal*), dapat menggunakan data percepatan tanah gempa Imperial Valley tahun 1979. Gempa tersebut memiliki kekuatan (M) 6,6 dengan jarak (R) 18 km, dan mendekati hasil deagregasi bahaya gempa Kota Yogyakarta untuk sumber gempa dangkal yang kekuatannya (M) 6,7 dengan jarak (R) 15 km. Oleh karena itu, data percepatan gempa yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data percepatan gempa Imperial Valley 1979.

2.8 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini, dicantumkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu yang mempunyai keterkaitan dan dapat dijadikan sebagai bahan referensi. Penelitian tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian Julita Andrini Repadi (2016)

Penelitian ini berjudul “Analisis Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Variasi Penempatan *Bracing Inverted V*”. Dalam penelitian ini peneliti melakukan analisis terhadap kinerja struktur beton bertulang 4 lantai dengan variasi penempatan *bracing inverted V* dan membandingkan struktur yang menggunakan bresing dan struktur tanpa bresing.



Gambar 2.2 Denah Model Struktur (a) Tanpa Bracing (b) Dengan Variasi Penempatan *Bracing* 1 (c) Dengan Variasi Penempatan *Bracing*

(Sumber: Repadi, Julita A., 2016)

Hasil analisis dari penelitian yang dilakukan Julita A. Repadi ini menyimpulkan bahwa dengan menggunakan bresing, *displacement* dan daktilitas struktur dapat berkurang serta dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur.

2. Penelitian Diva Rahma Benita (2019)

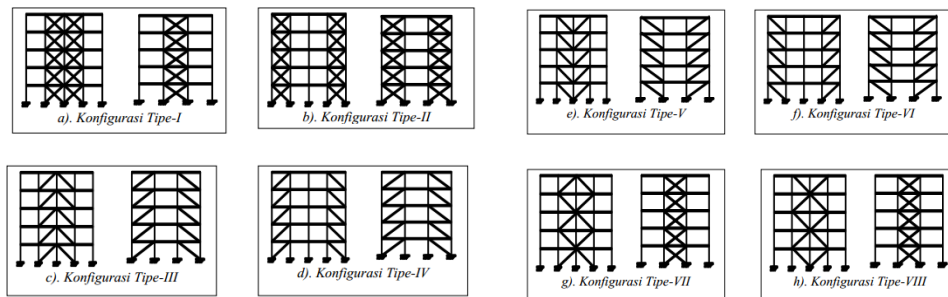
Penelitian ini berjudul “Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Baja SRBKK Tipe *Inverted V* pada Gedung Bertingkat 12, 16, dan 20 Lantai”. Peneliti melakukan analisis terhadap struktur gedung rangka baja dengan jumlah variasi tingkat gedung yang menggunakan bresing konsentrik khusus tipe V terbalik untuk mengetahui kinerja struktur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua struktur yang dianalisis baik pada struktur baja bertingkat 12, 16 dan 20 lantai berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah bahwa struktur baja bertingkat 12 lantai yang menggunakan bresing konsentrik tipe V terbalik memiliki perioda struktur yang paling kecil.

3. Penelitian Fajri (2015)

Penelitian ini berjudul “Analisis Konfigurasi Bentuk Pengaku Pada Perencanaan Gedung Rangka Baja Dengan Pengaku Konsentrik”. Fajri melakukan

penelitian terhadap struktur gedung rangka baja 5 lantai dengan variasi konfigurasi bentuk, dengan tipe pengaku yang berbeda.



Gambar 2.3 Bentuk Konfigurasi Bresing

(Sumber: Fajri, 2015)

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa bresing yang dipasang pada setiap portal pinggir dalam potongan memanjang maupun memendek menunjukkan perilaku struktur yang simetris, sedangkan bresing yang dipasang pada portal tengah tidak menunjukkan perilaku struktur yang simetris, hal ini terlihat pada hasil yang dikeluarkan program SAP dimana arah mode-nya mengalami rotasi.

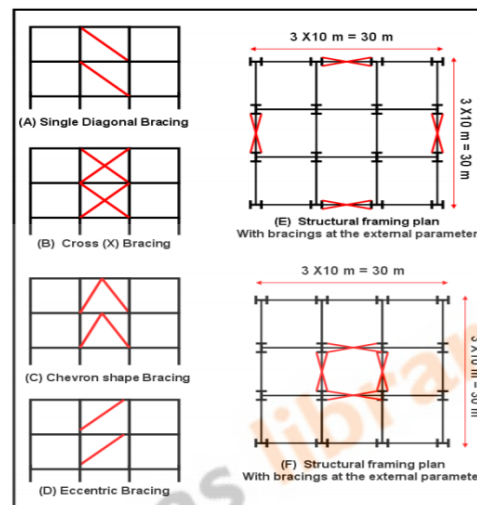
4. Penelitian Royce Antonio Wijaya (2018)

Penelitian ini berjudul “Pengaruh Tata Letak Pengaku (Bracing) Ganda X Terhadap Perpindahan Lateral Pada Portal Baja Ruang Bertingkat”. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak STAAD Pro dan menggunakan metode elemen hingga. Analisis dilakukan dengan melihat pengaruh penempatan pengaku berbentuk “X” terhadap perpindahan lateral dengan beberapa variasi letak pengaku dan variasi jumlah tingkat portal baja.

Hasil analisa menunjukan bahwa variasi penempatan pengaku akan memberikan respon struktur yang berbeda-beda dalam menerima beban aksial yang sama dan letak pengaku di tengah bentang akan lebih efektif dalam bekerja menahan perpindahan lateral.

5. Penelitian Alshamrani, 2009

Pada penelitian yang berjudul “*Optimal Bracing Type and Position to Minimize Lateral Drift in High-t k u g*” D w a l i s i s d i l a k u k a n t e r h a d a p 4 j e n i s b r e s i n g y a i t u *diagonal bracing*, *inverted v bracing*, *x bracing* dan *eccentric bracing* juga dengan dua variasi penempatan bracing yaitu di inti bangunan dan di luar bangunan(fasad struktur).



Gambar 2.4 Prototipe berbagai jenis dan posisi bresing

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menambahkan bresing pada struktur dapat mengurangi *displacement* dan dapat meningkatkan stabilitas. Bresing *Inverted V* merupakan bresing yang optimal dan penempatan bresing pada inti bangunan akan lebih optimal jika dibandingkan penempatan bresing di fasad bangunan.