

2 LANDASAN TEORI

2.1 Perencanaan Gedung

Konsep perencanaan dari suatu konstruksi bangunan perlu memperhatikan kriteria-kriteria perencanaan bangunan. Saat merencanakan struktur bangunan, perlu menentukan aspek yang akan dijadikan sebagai tolak ukur untuk menentukan jenis struktur yang akan digunakan. Kriteria dalam perencanaan konstruksi bangunan antara lain:

1. Kemampuan Layan (*Service Ability*)

Kriteria ini merupakan kriteria dasar yang sangat penting. Struktur yang dirancang harus mendukung beban secara penuh tanpa mengalami tegangan yang berlebih atau deformasi yang melebihi batas.

2. Aspek Fungsional

Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi dari bangunan tersebut. Berkaitan dengan penggunaan ruang, aspek fungsional sangat dipengaruhi oleh ukuran dari elemen struktur yang direncanakan.

3. Kekuatan dan Kestabilan Struktur

Kekuatan dan Kestabilan struktur mempunyai kaitan yang cukup erat. Kemampuan struktur untuk menerima beban-beban yang bekerja, baik beban-beban vertikal dan lateral, stabilitas struktur baik dalam arah vertikal maupun lateral.

4. Aspek Arsitektural

Aspek Arsitektural dipertimbangkan sesuai dengan kebutuhan dan keindahan jiwa manusia. Bentuk-bentuk struktur yang direncanakan harus mengacu pada kebutuhan.

5. Faktor Ekonomi dan Kemudahan Pelaksanaan

Biasanya dari sebuah bangunan dapat digunakan lebih dari satu system struktur, sehingga faktor ekonomi dan implementasi adalah faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang dipilih. Baik faktor ekonomi dan implementasinya merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang dipilih.

2.2 Struktur Baja

Baja merupakan material yang paling banyak digunakan sebagai bahan industri. Karena baja mempunyai sifat – sifat fisik dan mekanis yang bervariasi. Baja merupakan material utama untuk menunjang berbagai keperluan industri terus meningkat, dimulai dari industri otomotif, perkapalan, permesinan, industri bahan bangunan, serta industri lainnya (Saefudin, 2008).

Baja adalah campuran besi dan karbon, dimana unsur karbon menjadi dasar campurannya. Dengan penambahan atau pengurangan kadar karbon atau unsur paduan lain akan diperoleh kekuatan baja sesuai yang di inginkan (Amanto H, 1999).

Struktur baja merupakan bahan logam murni dari fabrikasi yang dirancang untuk menerima beban dengan batasan tertentu agar dapat bekerja dengan baik pada struktur bangunan. Kekuatan baja terdapat beberapa kriteria salah satunya adalah baja mutu tinggi. Baja mutu tinggi dalam struktur bangunan baja dapat menerima beban yang lebih besar dibandingkan dengan struktur beton maupun struktur baja.

Baja dapat dikelompokkan menurut dengan kegunaanya, yaitu baja konstruksi dan baja non konstruksi. Baja konstruksi biasanya digunakan untuk bahan konstruksi bangunan dan bagian-bagian dari mesin. Baja konstruksi mempunyai beberapa keuntungan diantaranya memiliki kekuatan yang tinggi, sifat homogenitas, elastisitas, daktilitas, awet dan mudah dalam tahap pemasangan dan tahap pengerjaan.

Secara umum, penggunaan baja lebih praktis daripada beton dalam tujuan untuk mengurangi durasi pelaksanaan proyek sehingga resiko kerusakan lebih kecil. Selain itu, pekerjaan dapat dilakukan dengan cara yang lebih aman dan lebih mudah seperti persiapan, pemasangan, dan pemeliharaan. Sehingga struktur baja ini menjadi salah satu solusi untuk dunia konstruksi yang sekarang banyak digunakan dalam berbagai proyek pembangunan gedung, perkantoran maupun jembatan. Karena sudah banyak komponen struktur seperti kolom dan balok yang dapat dibuat menjadi sebuah bangunan strukur.

Penggunaan baja dalam struktur gedung atau bangunan yang merupakan objek arsitektural terus mengalami peningkatan atau bertambah. Rangka baja sangat cocok diterapkan guna memaksimalkan tinggi dan lebar ruang karena kebutuhan dimensi struktur baja lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan bahan lainnya. Menggunakan struktur baja dalam memaksimalkan tinggi dan lebar ruang karena kebutuhan dimensi yang lebih kecil atau juga sempitnya lahan.

Kelebihan dari memakai baja sebagai material struktur diantaranya memiliki kekakuan yang tinggi, relatif ringan dan juga memiliki daktilitas. Daktilitas didefinisikan sebagai sifat material untuk menahan deformasi yang besar tanpa adanya keruntuhan terhadap beban tarik. Baja struktur ialah suatu jenis baja yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya kompatibel sebagai pemikul beban dengan memiliki beberapa keuntungan diantaranya:

- Dapat dibongkar pasang
- Memiliki sifat elastisitas atau dapat kembali ke posisi awal jika bebanya dihilangkan
- Memiliki kekuatan yang cukup tinggi dan merata
- Dapat disambung dengan metode pengelasan yang tidak memiliki perlemahan penampang
- Akan tahan lama apabila dipelihara

Sifat-sifat mekanis baja dalam perencanaan sesuai SNI 03-1729-2020 adalah sebagai berikut:

- Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$
- Modulus Geser : $G = 80.000 \text{ Mpa}$
- Nisbah poisson : $\mu = 0,3$
- Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$

Menurut SNI 03-1729-2020 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, f_u (Mpa)	Tegangan Leleh Minimum, f_y (Mpa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber: SNI 03-1729-2020)

Dimana untuk tegangan leleh (f_y) tidak boleh melebihi nilai yang telah diberikan. Tegangan putus untuk perencanaan (f_u) tidak boleh diambil melebihi nilai yang telah diberikan atau ditentukan.

2.3 Metode LRFD (*Load and Resistance Faktor Design*)

Metode yang sering digunakan dalam merencanakan struktur baja yaitu metode ASD (*Allowable Stress Design*) dan metode LRFD (*Load and Resistance Faktor Design*). Metode ASD yaitu berdasarkan dengan tegangan kerja yang mengacu pada perencanaan elastis dimana semua tegangan berada dibawah tegangan yang diizinkan. Metode LRFD ialah metode perencanaan yang berdasarkan dengan beban terfaktor yang memperhitungkan kondisi batas, yaitu kondisi maksimum yang dapat dibagi oleh suatu penampang yang berada di luar batas elastis serta dengan memperhitungkan tegangan baja *ultimate* (f_u). Pada penelitian ini menggunakan metode LRFD (*Load and Resistance Faktor Design*).

Desain yang memenuhi metode LRFD jika persyaratan spesifikasi pada setiap komponen structural sama atau lebih dari ketentuan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban LRFD. Desain harus memenuhi persamaan berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.1)$$

Dimana:

R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban

ϕ = Faktor ketahanan

R_n = Kekuatan nominal

ϕR_n = Kekuatan desain

2.4 Perencanaan Struktur

Untuk mencapai kinerja struktur baja tahan gempa yang baik, terdapat beberapa persyaratan yang harus diperhatikan yaitu:

a. Spesifikasi bahan

Spesifikasi bahan harus dapat menjamin beberapa hal yaitu:

- 1) Terjadinya deformasi leleh berupa regangan plastis bahan yang cukup besar tanpa mengalami fraktur
- 2) Adanya kuat lebih bahan yang signifikan melampaui kemampuan *strain-hardening* ($f_y f_u < 0,85$).
- 3) Tidak terjadi kegagalan pada sambungan las
- 4) Mudah untuk dilas

b. Stabilitas penampang komponen dan struktur

Stabilitas penampang, komponen, dan struktur harus dipenuhi untuk menjamin daktilitas dan disipasi energi. Dalam hal baja, stabilitas penampang dan komponen mencakup isu kelangsingan, kekompakan penampang, dan tekuk. Penampang yang boleh digunakan dalam struktur baja tahan gempa pun dibatasi oleh peraturan

c. Daktilitas struktur

Selain daktilitas material yang telah dijelaskan sebelumnya, daktilitas penampang komponen, dan struktur juga harus dijamin ketercapaiannya. Secara keseluruhan, struktur dikatakan daktil apabila mampu mencapai kekuatan batasnya tanpa terjadi ketidakstabilan struktur seperti *soft-story*.

d. *Detailing*

Detailing yang baik diperlukan untuk memastikan struktur memiliki perilaku daktil ketika terkena gempa kuat. *Detailing* dapat berupa perkuatan pada daerah yang kritis, seperti sambungan yang rentan oleh fraktur, pengaku penampang 20 untuk mencegah tekuk lokal, dan pengaku lateral untuk mencegah tekuk lateral torsi komponen. Tanpa *detailing* yang baik, perilaku struktur yang didesain daktil dan mampu menyerap energi gempa tidak dijamin.

e. Batas kelangsingan

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan $\lambda = Lk/r$ dibatasi sebesar 200. Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tarik, angka perbandingan kelangsingan L/r dibatasi sebesar 300 untuk batang sekunder dan 240 untuk batang primer. Ketentuan di atas tidak berlaku untuk batang bulat dalam tarik. Batang-batang yang ditentukan oleh gaya tarik, namun dapat berubah menjadi tekan yang tidak dominan pada kombinasi pembebanan yang lain, tidak perlu memenuhi batas kelangsingan batang tekan.

2.5 Struktur Bangunan Tahan Gempa

Dalam konsep desain struktur bangunan gedung harus diperhatikan kemampuannya untuk menahan beban-beban yang bekerja, antara lain beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Dalam mendesain bangunan tahan gempa, gaya lateral pada struktur harus dipertimbangkan sama seperti halnya gaya gravitasi. Gaya lateral yang dapat berupa tekanan angin atau beban gempa bekerja dari arah samping bangunan yang dapat menimbulkan defleksi lateral. Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan yaitu kekuatan bangunan yang memadai untuk memberikan rasa nyaman bagi penghuninya. Semakin tinggi gedung defleksi lateral yang terjadi juga semakin besar pada lantai atas (Jack C, 2003).

Struktur bangunan tahan gempa ialah struktur bangunan yang direncanakan sedemikian rupa, sehingga struktur bangunan itu dapat dianggap kuat dan mampu beradaptasi dengan gaya lateral yang ditimbulkan akibat adanya gempa bumi dengan kekuatan yang tinggi sehingga melebihi kapasitas dari bangunan dalam menahan beban gempa yang telah direncanakan, maka struktur gedung atau bangunan itu tidak mengalami keruntuhan langsung tetapi perlahan sehingga dapat memberikan waktu bagi penghuni gedung agar dapat menyelamatkan diri. Persyaratan-persyaratan bangunan tahan gempa diantaranya adalah:

1. Bangunan harus terletak diatas tanah yang stabil (kering, padat, dan kekerasannya merata).
2. Denah bangunan sederhana, simetris atau seragam. Apabila terpaksa harus membuat bangunan dengan denah U, T, L atau serupa dan tidak simetris maka bisa dilakukan pemisahan struktur atau dilatasi.
3. Pondasi harus terletak di atas tanah keras, sebaiknya letak pondasi lebih dari 45 cm dari tanah asli. Pondasi dibuat mengelilingi bangunan tanpa terputus.
4. Keseluruhan rangka bangunan harus terikat dengan kaku dan kokoh.

Daktalitas, ialah kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar dengan cara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa, yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, dengan mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Ditinjau dari faktor daktalitas, struktur dibagi menjadi 3 kategori, diantaranya:

- a) Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) atau yang biasa disebut prinsip elastik penuh
- b) Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) atau yang biasa disebut prinsip daktail parsial.
- c) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) atau yang biasa disebut prinsip daktail penuh

Sendi plastis, ialah panjang elemen rangka yang dimana pelelehan lenturnya diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa. Ketika gempa itu terjadi struktur akan memperoleh gaya lateral bolak-balik, sehingga pada daerah yang

mempunyai momen terbesar yaitu pada ujung-ujung balok, dan akan mengalami regangan tarik baja tulangan secara bergantian Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) ialah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya lateral, baik gaya lateral akibat gempa maupun akibat angin. Umumnya Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) cukup efektif digunakan untuk gedung <25 tingkat.

Pada Sistem Rangka Pemikul Momen beban lateral khususnya gempa akan ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Menurut (Badan Standarisasi Nasional , 2020) Sistem Rangka Pemikul Momen adalah sistem struktur yang dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap sedangkan beban lateral yang disebabkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

2.5.1 Rangka *Bracing*

Bracing merupakan teknologi yang digunakan untuk memperkecil nilai eksentrisitas dan meningkatkan stabilitas dari gedung. Struktur rangka *bracing* adalah sistem struktur yang dirancang untuk menahan beban gempa lateral. Elemen rangka *bracing* hanya menerima gaya tarik atau tekan, seperti struktur batang.

Bracing pada struktur portal bertingkat banyak dinilai dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur bangunan gedung tersebut, sehingga dapat menahan beban lateral akibat angin atau gempa, selain itu penggunaan *bracing* juga cenderung lebih efisien dan ekonomis (Anwar, 2016).

Oleh karena itu, penggunaan *bracing* juga dimaksudkan untuk membantu mengurangi gaya pada saat gaya lateral dibangkitkan (Arsitekta, 2022). Hal ini tidak hanya memungkinkan struktur ditopang oleh balok dan elemen kolom struktur, tetapi juga dapat ditahan oleh *bracing* (Repadi, Sunaryati, & & Thamrin, 2016). Namun, penempatan *bracing* pada struktur harus hati-hati karena *bracing* yang salah dapat menyebabkan gaya geser yang lebih besar pada kolom (Nugroho, 2018).

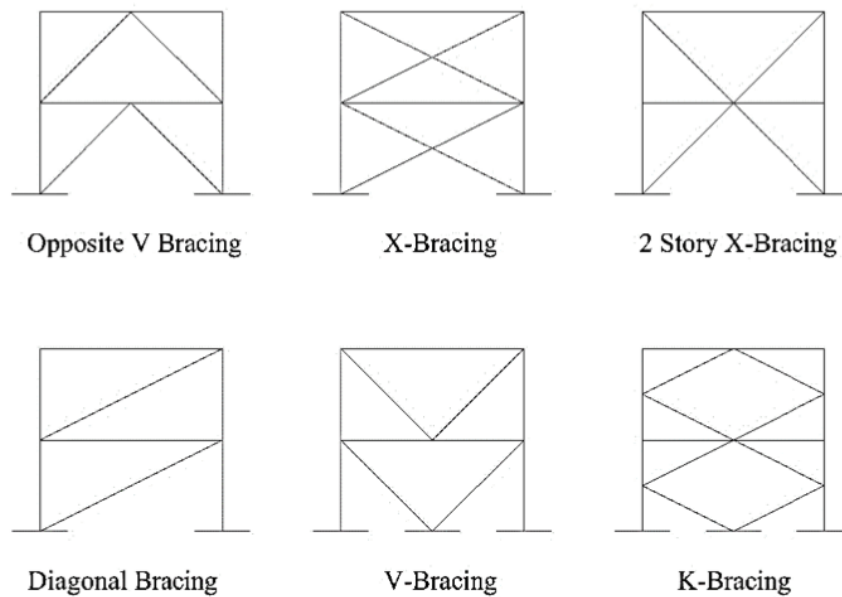
Portal dengan *bracing* diharapkan tahan gempa karena *bracing* memiliki kekuatan tarik maksimum. Dalam struktur baja, pilihan jenis dan detail rakitan sambungan merupakan faktor penting yang tidak dapat diabaikan (Gati Annisa Hayu, 2021). Penguatan struktur dengan *bracing* baja memiliki beberapa keunggulan: memiliki waktu pengerjaan yang lebih singkat dan tidak mempengaruhi berat struktur secara signifikan (Made Sukrawa, 2016). Hal tersebut dapat memperkuat keseluruhan struktur pada gedung

Bracing digunakan untuk meminimalkan simpangan horizontal (*displacement*) dan meningkatkan kapasitas gaya geser lantai dasar (*base shear*) sehingga peluang terjadinya keretakan pada sambungan antar balok dan kolom dapat dihindari. Tujuan dari penggunaan *bracing* adalah agar gaya lateral yang mengenai struktur saat terjadi gempa ditahan oleh sistem *bracing* selain oleh elemen balok dan kolom pada struktur.

Sistem struktur rangka *bracing* mempunyai dua jenis yaitu Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK) dan Sistem Rangka *Bracing* Eksentrik (SRBE).

2.5.1.1 Sistem Struktur Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK)

Sistem Struktur Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK) mulanya memiliki kekakuan yang besar dan konstruksi yang relatif sederhana. Sistem Struktur Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK) ialah sistem struktur yang dimana elemen *bracing* diagonalnya bertemu di satu titik. Pada Sistem Struktur Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK) berperilaku tergantung pada beban lateral gempa, salah satu batang akan bertindak sebagai batang tarik atau tekan.



Gambar 2.1 Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik

(Sumber: A. Rengganis, 2012)

Sistem Struktur Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK) pada umumnya dibagi menjadi dua jenis sistem yaitu, Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik Khusus (SRBKK).

1. Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik Biasa (SRBKB)

Pada SRBKB diharapkan dapat mengalami deformasi *inelastic* secara terbatas ketika struktur dibebani oleh gaya yang berasal dari beban gempa yang sebelumnya telah direncanakan.

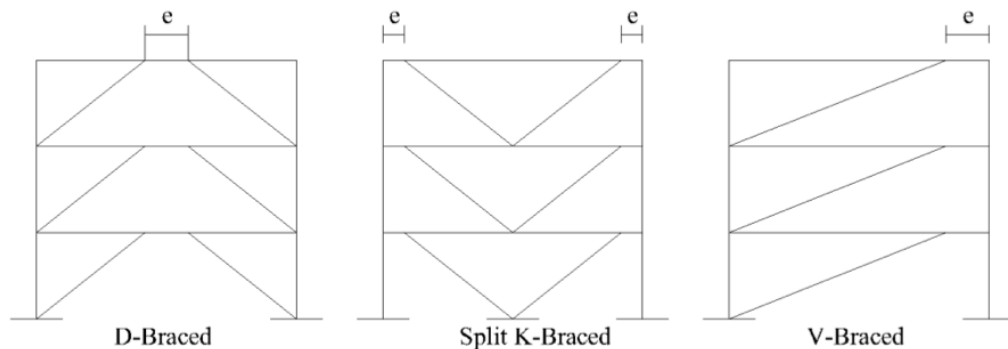
2. Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik Khusus (SRBKK)

Pada SRBKK mempunyai tingkat daktilitas yang lebih besar apabila dibandingkan dengan SRBKB. Tingkat kelangsingannya harus dipertimbangkan karena penurunan kekuatannya lebih kecil saat batang *bracing* tekuk

2.5.1.2 Sistem Rangka *Bracing* Eksentrik (SRBE)

Pada Sistem Rangka *Bracing* Eksentrik (SRBE) semua sumbu elemennya (kolom, balok, dan *bracing*) saling berpotongan pada satu titik sehingga terbentuk gaya aksial. SRBE terdapat suatu balok yang disebut *link* dan direncanakan secara

husus. *Link* diartikan sebagai bagian dari balok yang direncanakan untuk mengantisipasi adanya energi pada saat terjadi gempa. Elemen *link* akan mengalami kelelahan terlebih dahulu melalui proses lentur atau geser sebelum terjadi tekuk pada elemen yang mengalami tekan.



Gambar 2.2 Sistem *Bracing* Eksentrik

(Sumber: A. Rengganis, 2012)

Sebagai akibat dari sistem rangka *bracing* eksentrik diharapkan mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada sambungan saat memikul gaya. Karena gaya yang dihasilkan oleh *link* saat mengalami pelelehan penuh, kolom, batang, *Bracing* dan bagian balok diluar *link* harus dirancang agar tetap elastis.

2.5.2 *Bracing* V

Struktur *bracing* V ialah salah satu elemen struktural yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan gedung terhadap gaya geser lateral yang dihasilkan dari gaya gempa atau beban lateral lainnya. *Bracing* ini membentuk seperti huruf V dengan titik pertemuan di tengah. Bentuknya yang menyerupai huruf V memungkinkan untuk mendistribusi beban secara merata pada *bracing*, sehingga menyebabkan meningkatnya kestabilan struktur bangunan. *Bracing* V juga dapat memisahkan antara beban lateral dan beban vertikal secara efisien.

2.5.3 *Bracing Inverted V*

Struktur *bracing inverted V* ialah salah satu jenis dari *bracing* vertikal konsentrik, pada jenis ini kedua batang diagonal akan menahan beban horizontal secara bersamaan. Beban gravitasi mengakibatkan gaya aksial pada *bracing* tipe

inverted V. Pada saat *bracing* menahan balok pada tengah bentang maka akan mengurangi balok efektif dan kapasitas momen yang terjadi. Kedua batang tipe ini sama-sama memikul beban horizontal. Secara arsitektural tipe ini dapat mengurangi profil dimensi balok. *Bracing inverted V* dapat membantu mendistribusikan beban secara merata ke pondasi bangunan sehingga menyebabkan berkurangnya beban titik pada titik-titik dukungan dan mencegah terjadi kerusakan struktural yang disebabkan oleh beban yang tidak merata.

2.6 Konsep Pembebanan

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur, acuan yang dipakai dalam merencanakan pembebanan sebagai berikut:

1. Perancangan elemen struktur mengacu pada Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2020
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung SNI 1726-2019
3. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727-2020

Beban yang bekerja pada struktur dibedakan menjadi dua yaitu beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi terdiri dari beban mati (*Dead Load*) dan beban Hidup (*Live Load*). Sedangkan beban lateral terdiri dari beban gempa (*Earthquake*) dan beban angin (*Wind*).

2.6.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan beban yang berasal dari berat sendiri semua bagian dari gedung yang bersifat tetap. Beban mati ialah berat dari seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai atap, plafon, Tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan lain terpasang lain termasuk dengan berat derek dan sistem pengangkut material. Dalam menentukan beban mati desain, harus diperhitungkan berat layanan termasuk berat maksimum pengisi peralatan layanan lengkap (Badan Standarisasi Nasional, 2020).

Beban mati adalah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan dari bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Berikut ini disajikan tabel yang terdiri dari berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung:

Tabel 2.2 Berat Mati Desain Minimum

Komponen	Beban (kN/m ²)
CEILINGS	
<i>Acoustical fiberboard</i>	0,05
<i>Gypsum board (per mm thickness)</i>	0,008
<i>Mechanical duct allowance</i>	0,19
<i>Plaster on tile or concrete</i>	0,24
<i>Plaster on wood lath</i>	0,38
<i>Suspended steel channel system</i>	0,1
<i>Suspended metal lath and cement plaster</i>	0,72
<i>Suspended metal lath and gypsum plaster</i>	0,48
<i>Wood furring suspension system</i>	0,12
COVERINGS, ROOF, AND WALL	
<i>Asbestos-cement shingles</i>	0,19
<i>Asphalt shingles</i>	0,1
<i>Cement tile</i>	0,77
<i>Clay tile (for mortar add 0.48 kN/m²)</i>	
<i>Book tile, 51 mm</i>	0,57
<i>Book tile, 76 mm</i>	0,96
<i>Ludowici</i>	0,48
<i>Roman</i>	0,57
<i>Spanish</i>	0,91
<i>Composition:</i>	
<i>Three-ply ready roofing</i>	0,05
<i>Four-ply felt and gravel</i>	0,26
<i>Five-ply felt and gravel</i>	0,29
<i>Copper or tin</i>	0,05
<i>Corrugated asbestos-cement roofing</i>	0,19
<i>Deck, metal, 20 gauge</i>	0,12

Komponen	Beban (kN/m²)
<i>Deck, metal, 18 gauge</i>	0,14
<i>Decking, 51-mm wood (Douglas fir)</i>	0,24
<i>Decking, 76-mm wood (Douglas fir)</i>	0,38
<i>Fiberboard, 13 mm</i>	0,04
<i>Gypsum sheathing, 13 mm</i>	0,1
<i>Insulation, roof boards (per mm thickness)</i>	
<i>Cellular glass</i>	0,0013
<i>Fibrous glass</i>	0,0021
<i>Fiberboard</i>	0,0028
<i>Perlite</i>	0,0015
<i>Polystyrene foam</i>	0,0004
<i>Urethane foam with skin</i>	0,0009
<i>Plywood (per mm thickness)</i>	0,006
<i>Rigid insulation, 13 mm</i>	0,04
<i>Skylight, metal frame, 10-mm wire glass</i>	0,38
<i>Slate, 5 mm</i>	0,34
<i>Slate, 6 mm</i>	0,48
<i>Waterproofing membranes:</i>	
<i>Bituminous, gravel-covered</i>	0,26
<i>Bituminous, smooth surface</i>	0,07
<i>Liquid applied</i>	0,05
<i>Single-ply, sheet</i>	0,03
<i>Wood sheathing (per mm thickness)</i>	
<i>Plywood</i>	0,0057
<i>Oriented strand board</i>	0,0062
<i>Wood shingles</i>	0,14
FLOOR	
FILL	
<i>Cinder concrete, per mm</i>	0,017
<i>Lightweight concrete, per mm</i>	0,015
<i>Sand, per mm</i>	0,015
<i>Stone concrete, per mm</i>	0,023
FLOORS AND FLOOR FINISHES	
<i>Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar</i>	1,44
<i>Cement finish (25 mm) on stone– concrete fill</i>	1,53

Komponen	Beban (kN/m ²)		
<i>Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13-mm mortar bed</i>			0,77
<i>Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed</i>			1,1
<i>Concrete fill finish (per mm thickness) 0.023</i>			0,023
<i>Hardwood flooring, 22 mm 0.19</i>			0,19
<i>Linoleum or asphalt tile, 6 mm 0.05</i>			0,05
<i>Marble and mortar on stone-concrete fill 1.58</i>			1,58
<i>Slate (per mm thickness) 0.028</i>			0,028
<i>Solid flat tile on 25-mm mortar base 1.10</i>			1,1
<i>Subflooring, 19 mm 0.14</i>			0,14
<i>Terrazzo (38 mm) directly on slab 0.91</i>			0,91
<i>Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill 1.53</i>			1,53
<i>Terrazzo (25 mm), 51-mm stone concrete 1.53</i>			1,53
<i>Wood block (76 mm) on mastic, no fill 0.48</i>			0,48
<i>Wood block (76 mm) on 13-mm mortar base 0.77</i>			0,77
FLOORS, WOOD-JOIST (NO PLASTER)			
DOUBLE WOOD FLOOR			
<i>Joint sizes (mm):</i>	<i>305-mm spacing</i>	<i>406-mm spacing</i>	<i>610-mm spacing</i>
<i>51 × 152</i>	<i>0.29</i>	<i>0.24</i>	<i>0.24</i>
<i>51 × 203</i>	<i>0.29</i>	<i>0.29</i>	<i>0.24</i>
<i>51 × 254</i>	<i>0.34</i>	<i>0.29</i>	<i>0.29</i>
<i>51 × 305</i>	<i>0.38</i>	<i>0.34</i>	<i>0.29</i>
FRAME PARTITIONS			
<i>Movable steel partitions</i>			0,19
<i>Wood or steel studs, 13-mm gypsum board each side</i>			0,38
<i>Wood studs, 51 × 102, unplastered</i>			0,19
<i>Wood studs, 51 × 102, plastered one side</i>			0,57
<i>Wood studs, 51 × 102, plastered two sides</i>			0,96

Komponen	Beban (kN/m ²)				
FRAME WALLS					
<i>Exterior stud walls:</i>					
<i>51 mm × 102 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding</i>	0,53				
<i>51 mm × 152 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding</i>	0,57				
<i>Exterior stud walls with brick veneer</i>	2,3				
<i>Windows, glass, frame, and sash</i>	0,38				
<i>Clay brick wythes:</i>					
<i>102 mm</i>	1,87				
<i>203 mm</i>	3,78				
<i>305 mm</i>	5,51				
<i>406 mm</i>	7,42				
<i>Hollow concrete masonry unit wythes:</i>					
<i>Wythe thickness (in mm)</i>	<i>102</i>	<i>152</i>	<i>204</i>	<i>254</i>	<i>305</i>
<i>Density of unit (16.49 kN/m³) with grout spacing as follows:</i>					
<i>No grout</i>	<i>1,05</i>	<i>1,29</i>	<i>1,68</i>	<i>2,01</i>	<i>2,35</i>
<i>1,219 mm</i>		<i>1,48</i>	<i>1,92</i>	<i>2,35</i>	<i>2,78</i>
<i>1,016 mm</i>		<i>1,58</i>	<i>2,06</i>	<i>2,54</i>	<i>3,02</i>
<i>813 mm</i>		<i>1,63</i>	<i>2,15</i>	<i>2,68</i>	<i>3,16</i>
<i>610 mm</i>		<i>1,77</i>	<i>2,35</i>	<i>2,92</i>	<i>3,45</i>
<i>406 mm</i>		<i>2,01</i>	<i>2,68</i>	<i>3,35</i>	<i>4,02</i>
<i>Full grout</i>		<i>2,73</i>	<i>3,69</i>	<i>4,69</i>	<i>5,7</i>
<i>Density of unit (19.64 kN/m³) with grout spacing as follows:</i>					
<i>No grout</i>	<i>1,25</i>	<i>1,34</i>	<i>1,72</i>	<i>2,11</i>	<i>2,39</i>
<i>1,219 mm</i>		<i>1,58</i>	<i>2,11</i>	<i>2,59</i>	<i>2,97</i>
<i>1,016 mm</i>		<i>1,63</i>	<i>2,15</i>	<i>2,68</i>	<i>3,11</i>
<i>813 mm</i>		<i>1,72</i>	<i>2,25</i>	<i>2,78</i>	<i>3,26</i>
<i>610 mm</i>		<i>1,87</i>	<i>2,44</i>	<i>3,02</i>	<i>3,59</i>
<i>406 mm</i>		<i>2,11</i>	<i>2,78</i>	<i>3,5</i>	<i>4,17</i>
<i>Full grout</i>		<i>2,82</i>	<i>3,88</i>	<i>4,88</i>	<i>5,89</i>
<i>Density of unit (21.21 kN/m³) with grout spacing as follows:</i>					
<i>No grout</i>	<i>1,39</i>	<i>1,68</i>	<i>2,15</i>	<i>2,59</i>	<i>3,02</i>
<i>1,219 mm</i>		<i>1,7</i>	<i>2,39</i>	<i>2,02</i>	<i>3,45</i>
<i>1,016 mm</i>		<i>1,72</i>	<i>2,54</i>	<i>3,11</i>	<i>3,69</i>
<i>813 mm</i>		<i>1,82</i>	<i>2,63</i>	<i>3,26</i>	<i>3,83</i>
<i>610 mm</i>		<i>1,96</i>	<i>2,82</i>	<i>3,5</i>	<i>4,12</i>
<i>406 mm</i>		<i>2,25</i>	<i>3,16</i>	<i>3,93</i>	<i>4,69</i>
<i>Full grout</i>		<i>3,06</i>	<i>4,17</i>	<i>5,27</i>	<i>6,37</i>

Komponen	Beban (kN/m ²)				
<i>Solid concrete masonry unit</i>					
<i>Wythe thickness (in mm)</i>	102	152	203	254	305
<i>Density of unit (16,49 kN/m³)</i>	1,53	2,35	3,21	4,02	4,88
<i>Density of unit (19,64 kN/m³)</i>	1,82	2,82	3,78	4,79	5,79
<i>Density of unit (21,21 kN/m³)</i>	1,92	3,02	4,12	5,17	6,27

(Sumber: SNI 1727:2020)

Tabel 2.3 Densitas Minimum untuk Beban Desain dari Material

Material	Densitas (lb/ft ³)	Densitas (kN/m ³)
<i>Aluminum</i>	170	27
<i>Bituminous products</i>		
<i>Asphaltum</i>	81	12,7
<i>Graphite</i>	135	21,2
<i>Paraffin</i>	56	8,8
<i>Petroleum, crude</i>	55	8,6
<i>Petroleum, refined</i>	50	7,9
<i>Petroleum, benzine</i>	46	7,2
<i>Petroleum, gasoline</i>	42	6,6
<i>Pitch</i>	69	10,8
<i>Tar</i>	75	11,8
<i>Brass</i>	526	82,6
<i>Bronze</i>	552	86,7
<i>Cast-stone masonry (cement, stone, sand)</i>	144	22,6
<i>Cement, Portland, loose</i>	90	14,1
<i>Ceramic tile</i>	150	23,6
<i>Charcoal</i>	12	1,9
<i>Cinder fill</i>	57	9
<i>Cinders, dry, in bulk</i>	45	7,1
<i>Coal</i>		
<i>Anthracite, piled</i>	52	8,2
<i>Bituminous, piled</i>	47	7,4
<i>Lignite, piled</i>	47	7,4
<i>Peat, dry, piled</i>	23	3,6
<i>Concrete, plain</i>		

Material	Densitas (lb/ft³)	Densitas (kN/m³)
<i>Cinder</i>	108	17
<i>Expanded-slag aggregate</i>	100	15,7
<i>Haydite (burned-clay aggregate)</i>	90	14,1
<i>Slag</i>	132	20,7
<i>Stone (including gravel)</i>	144	22,6
<i>Vermiculite and perlite aggregate, nonload-bearing</i>	25-50	3,9 - 7,9
<i>Other light aggregate, load-bearing</i>	70-105	11,0-16,5
<i>Concrete, reinforced</i>		
<i>Cinder</i>	111	17,4
<i>Slag</i>	138	21,7
<i>Stone (including gravel)</i>	150	23,6
<i>Copper</i>	556	87,3
<i>Cork, compressed</i>	14	2,2
<i>Earth (not submerged)</i>		
<i>Clay, dry</i>	63	9,9
<i>Clay, damp</i>	110	17,2
<i>Clay and gravel, dry</i>	100	15,7
<i>Silt, moist, loose</i>	78	12,3
<i>Silt, moist, packed</i>	96	15,1
<i>Silt, flowing</i>	108	17
<i>Sand and gravel, dry, loose</i>	100	15,7
<i>Sand and gravel, dry, packed</i>	110	17,3
<i>Sand and gravel, wet</i>	120	18,9
<i>Earth (submerged)</i>		
<i>Clay</i>	80	12,6
<i>Soil</i>	70	11
<i>River mud</i>	90	14,1
<i>Sand or gravel</i>	60	9,4
<i>Sand or gravel and clay</i>	65	10,2
<i>Glass</i>	160	25,1
<i>Gravel, dry</i>	104	16,3
<i>Gypsum, loose</i>	70	11
<i>Gypsum, wallboard</i>	50	7,9
<i>Ice</i>	57	9
<i>Iron</i>		
<i>Cast</i>	450	70,7
<i>Wrought</i>	480	75,4
<i>Lead</i>	710	111,5

Material	Densitas (lb/ft³)	Densitas (kN/m³)
<i>Lime</i>		
<i>Hydrated, loose</i>	32	5
<i>Hydrated, compacted</i>	45	7,1
<i>Masonry, ashlar stone</i>		
<i>Granite</i>	165	25,9
<i>Limestone, crystalline</i>	165	25,9
<i>Limestone, oolitic</i>	134	21,2
<i>Marble</i>	173	27,2
<i>Sandstone</i>	144	22,6
<i>Masonry, brick</i>		
<i>Hard (low absorption)</i>	130	20,4
<i>Medium (medium absorption)</i>	115	18,1
<i>Soft (high absorption)</i>	100	15,7
<i>Masonry, concrete</i>		
<i>Lightweight units</i>	105	16,5
<i>Medium weight units</i>	125	19,6
<i>Normal weight units</i>	135	21,2
<i>Masonry grout</i>	140	22
<i>Masonry, rubble stone</i>		
<i>Granite</i>	153	24
<i>Limestone, crystalline</i>	147	23,1
<i>Limestone, oolitic</i>	138	21,7
<i>Marble</i>	156	24,5
<i>Sandstone</i>	137	21,5
<i>Mortar, cement or lime</i>	130	20,4
<i>Particleboard</i>	45	7,1
<i>Plywood</i>	36	5,7
<i>Riprap (not submerged)</i>		
<i>Limestone</i>	83	13
<i>Sandstone</i>	90	14,1
<i>Sand</i>		
<i>Clean and dry</i>	90	14,1
<i>River, dry</i>	106	16,7
<i>Slag</i>		
<i>Bank</i>	70	11
<i>Bank screenings</i>	108	17
<i>Machine</i>	96	15,1
<i>Sand</i>	52	8,2
<i>Slate</i>	172	27
<i>Steel, cold-drawn</i>	492	77,3

Material	Densitas (lb/ft³)	Densitas (kN/m³)
<i>Stone, quarried, piled</i>		
<i>Basalt, granite, gneiss</i>	96	15,1
<i>Limestone, marble, quartz</i>	95	14,9
<i>Sandstone</i>	82	12,9
<i>Shale</i>	92	14,5
<i>Greenstone, hornblende</i>	107	16,8
<i>Terra cotta, architectural</i>		
<i>Voids filled</i>	120	18,9
<i>Voids unfilled</i>	72	11,3
<i>Tin</i>	459	72,1
<i>Water</i>		
<i>Fresh</i>	62	9,7
<i>Sea</i>	64	10,1
<i>Wood, seasoned</i>		
<i>Ash, commercial white</i>	41	6,4
<i>Cypress, southern</i>	34	5,3
<i>Fir, Douglas, coast region</i>	34	5,3
<i>Hem fir</i>	28	4,4
<i>Oak, commercial reds and whites</i>	47	7,4
<i>Pine, southern yellow</i>	37	5,8
<i>Redwood</i>	28	4,4
<i>Spruce, red, white, and</i>		
<i>Sitka</i>	29	4,5
<i>Western hemlock</i>	32	5
<i>Zinc, rolled sheet</i>	449	70,5

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.6.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup yaitu semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung tersebut. Sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban jatuh (energi kinetik) butiran air. Beban hidup ialah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, atau beban mati (Badan Standarisasi Nasional , 2020).

Tabel 2.4 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat Pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek		Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)				
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal)					

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat Pasal
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])		-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2			Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1	
Batang pegangan				Lihat 4.5.2	
Helipad (Lihat Pasal 4.11)					
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)		Lihat Pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)		Lihat Pasal 4.11.2	
Rumah sakit					
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan					
Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	4.13
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat Pasal
Pabrik					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2.000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3.000 (13,35)	
Gedung perkantoran					
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Lembaga hukum					
Blok sel	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tempat rekreasi					
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang dansa dan ballroom	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang publik	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Atap					

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat Pasal
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Awning dan kanopi					
Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)			
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
	berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka				
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja				2000 (8,90)	
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel		-	-	300 (1,33)	

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat Pasal
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan					
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama					
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,60)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai diatasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	
Penghalang kendaraan				Lihat Pasal 4.5.3	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat Pasal
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.6.3 Beban Angin

Struktur yang ada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik angin akan berubah bentuk menjadi energi potensial yang berupa tekanan atau isapan pada struktur. Besar tekanan atau isapan yang diakibatkan oleh angin pada suatu titik bergantung pada kecepatan angin, rapat massa udara, lokasi yang ditinjau pada struktur, perilaku permukaan struktur, bentuk geometris, dimensi dan orientasi struktur, dan kelakuan keseluruhan struktur.

Salah satu faktor yang mempengaruhi besar gaya yang ada pada saat udara bergerak disekitar benda adalah kecepatan angin. Kecepatan angin rencana untuk berbagai lokasi geografis ditentukan dari observasi empiris Kecepatannya sekitar 60 mph (96 km/jam) sampai sekitar 100 mph (161 km/jam) dan di daerah pantai sekitar 120 mph (193 km/jam). Kecepatan rencana biasanya didasarkan atas periode 50 tahun. Karena kecepatan angin akan semakin tinggi dengan ketinggian di atas tanah, maka tinggi kecepatan rencana juga demikian. Selain itu perlu juga diperhatikan apakah bangunan itu terletak di perkotaan atau di pedesaan. Analisis yang lebih rumit juga memasukkan renpos-embusan yang merupakan fungsi dari ukuran dan tinggi struktur, kekasaran permukaan, dan benda-benda lain disekitar struktur. Peraturan bangunan lokal harus diperhatikan untuk menentukan beban angin atau kecepatan rencana. Untuk menghitung pengaruh angin pada struktur dapat disyaratkan sebagai berikut:

- tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m²
- tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m²

- untuk tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang mungkin mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar, tekanan tiup angin (p) dapat ditentukan berdasarkan rumus:

$$p = \frac{v^2}{16} (kg/m^3) \quad (2.1)$$

Dimana v adalah kecepatan angin (m/detik).

Sedangkan koefisien untuk gedung tertutup:

1. Dinding vertikal
 - a. Dipihak angin + 0,9
 - b. Dibelakang angin - 0,40
2. Atap segitiga dengan sudut kemiringan α
 - a. Dipihak angin: $\alpha < 65^\circ$ 0,02 α - 0,40
 $65^\circ < \alpha < 90^\circ$ + 0,90
 - b. Dibelakang angin untuk semua α - 0,40

2.6.4 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Fenomena getaran yang disebabkan oleh kejutan pada kerak bumi dikenal sebagai gempa bumi. Banyak faktor dapat menyebabkan beban kejut ini, tetapi benturan pergesekan kerak bumi, yang mempengaruhi permukaan kerak bumi, adalah yang paling penting. *Fault zones* adalah tempat dimana gesekan terjadi. Kejutan yang disebabkan oleh benturan itu berkembang menjadi gelombang. Gelombang ini menggerakkan bumi dan struktur di atasnya. Karena kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan saat bergetar, strukturnya menghasilkan gaya yang berbeda.

Gaya yang timbul ini disebut inersia. Besar gaya-gaya tersebut bergantung pada banyak faktor. Massa bangunan merupakan faktor yang paling utama karena gaya tersebut melibatkan inersia. Faktor lain adalah bagaimana massa tersebut terdistribusi, kekakuan struktur, kekakuan tanah, jenis fondasi, adanya mekanisme redaman pada bangunan, dan tentu saja perilaku dan besar getaran itu sendiri. Yang terakhir ini sulit ditentukan secara tepat karena sifatnya yang acak (*random*) sekalipun kadang kala dapat juga tertentu. Gerakan yang diakibatkan tersebut

berperilaku tiga dimensi. Gerakan tanah horizontal biasanya merupakan bentuk terpenting dalam tinjauan desain struktural.

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu sendiri. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa.

Secara umum analisis terhadap beban gempa terbagi menjadi dua macam, yaitu:

1. Beban statik ekuivalen

Beban statik ekuivalen merupakan analisis struktur yang dimana gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal yang didapatkan dengan memperhitungkan respon ragam getar yang pertama. Pada umumnya gaya geser tingkat ragam getar yang pertama diibaratkan sebagai segitiga terbalik.

2. Analisis dinamik

Analisis dinamik merupakan suatu cara struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Pada analisis dinamik dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

a. *Time History*

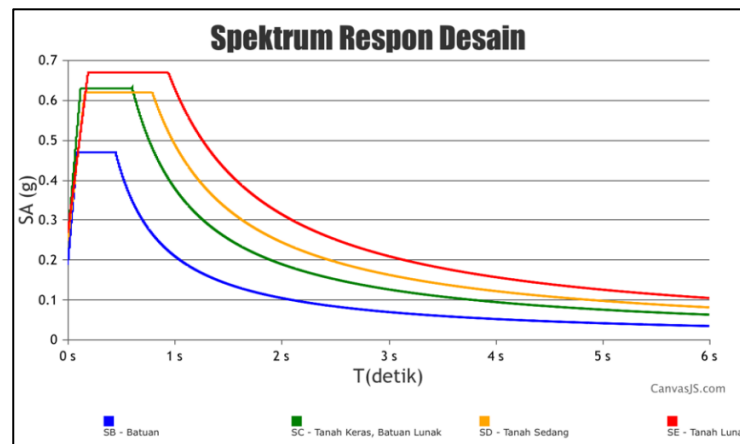
ialah salah satu cara analisis dinamik yang dimana pada model struktur diberi suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung prosesnya pada interval tertentu.

b. Respon Spektrum

Merupakan cara untuk menghitung dan menemukan simpangan, gaya dinamik pada struktur yang dimana total spektrum didapatkan melalui superposisi dari respon masing-masing getaran.

Berdasarkan peraturan SNI-1726-2019, kota atau wilayah di Indonesia memiliki grafik respon spektrum masing-masing tidak hanya terbatas pada 6

wilayah gempa. Untuk mengetahui grafik respons spektrum gempa menggunakan program grafik gempa yang tersedia di website resmi:



Gambar 2.3 Grafik Respon Spektrum Wilayah DKI Jakarta

(Sumber: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

Analisis dinamik pada desain struktur tahan gempa dibuat apabila diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur yang disebabkan oleh gempa. Untuk struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk serta konfigurasi yang tidak teratur, analisis dinamik dapat digunakan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis yaitu analisis ragam riwayat waktu (*time history modal analysis*), yang dimana pada cara ini membutuhkan rekaman percepatan gempa dan analisis ragam spektrum respon (*respons spectrum modal analysis*), yang dimana respon maksimum dari tiap ragam gelar yang terjadi didapat dari spektrum respon rencana design (*respon spectra*).

Pada analisis dinamis elastis digunakan untuk memperoleh respon struktur yang diakibatkan pengaruh dari gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*direct integration method*). Analisis dinamik elastis lebih sering digunakan karena lebih mudah. Analisis dinamik digunakan juga untuk menentukan pemagian gaya geser tingkat yang disebabkan oleh gerakan tanah yang disebabkan oleh gempa sepanjang tinggi pada analisis beban static ekuivalen.

Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberi kekuatan, kekakuan, dan kapasitas

disipasi energi yang cukup untuk menahan gerakan tanah desain dalam kebutuhan deformasi dan kekuatan yang ditentukan. Gaya gempa desain dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan harus ditetapkan menggunakan prosedur yang sesuai. Gaya dalam dan deformasi yang terkait pada komponen elemen struktur harus ditentukan menggunakan model yang kolaboratif. Tidak ada metode alternatif yang disetujui yang boleh digunakan untuk menentukan gaya gempa dan distribusinya.

Bangunan harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Seharusnya gerakan tanah desain terjadi di setiap arah horizontal struktur bangunan gedung. Pembuatan model matematik dan evaluasi pengaruh gerak tanah desain harus dilakukan untuk membuktikan kecukupan sistem struktur. Gaya gempa desain dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan harus ditetapkan menggunakan prosedur yang sesuai. Gaya dalam dan deformasi yang terkait pada struktur harus ditentukan menggunakan model yang kolaboratif. Tidak ada metode alternatif yang disetujui yang boleh digunakan untuk menentukan gaya gempa dan distribusinya,

1. Faktor keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan

Berdasarkan SNI 03-1726-2019 kategori struktur bangunan gedung dan non gedung yang memiliki risiko terhadap jiwa manusia termasuk ke dalam kategori resiko III.

Tabel 2.5 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non-gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan	II

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	
Gedung dan non-gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non-gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non-gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi 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 di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan non-gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- 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 (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non-gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	

(Sumber: SNI 1726-2019)

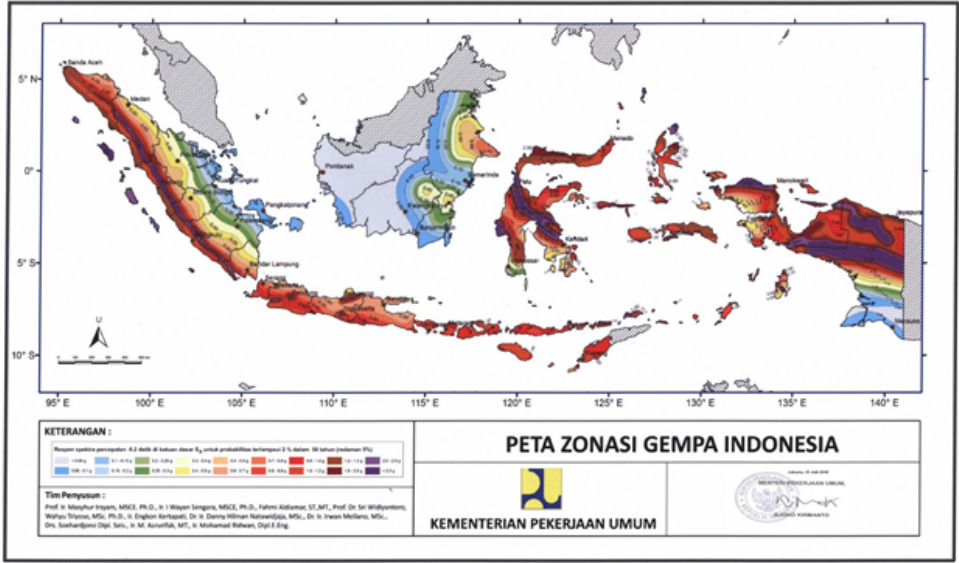
Tabel 2.6 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

(Sumber: SNI 1726-2019)

2. Parameter percepatan gempa

Parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1) harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Untuk cara menentukan (S_s) dan (S_1) yaitu dengan melihat pada peta gempa.



Gambar 2.4 Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R)

(Sumber: <https://dpu.kulonprogokab.go.id>)

3. Klasifikasi situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs maka situs diklasifikasi sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, SF yang berdasarkan SNI 1726-2019. Jika sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas dan tidak bisa ditentukan situsnya maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali pemerintah ataupun dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF.

Tabel 2.7 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V_s (m/s)	N atau N_{ch}	Su (kPa)
SA (batuan keras)	>1500 m/s	N/A	N/A
SB (batuan)	750 - 1600 m/s	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 - 750 m/s	>50	>100 kN/m ²
SD (tanah sedang)	175 - 350 m/s	15 - 50	50 - 100 kN/m ²
SE (tanah lunak)	<175 m/s	<15	<50 kN/m ²
	atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air, $w > 40\%$		

Kelas Situs	V_s (m/s)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
	Kuat geser niralir $S_u < 25$ Kpa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastis sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ dengan $S_u < 50$ kPa		

(Sumber: SNI 1726-2019)

3. Koefisien situs dan parameter respons spektral percepatan gempa

Bagi penentuan respon spektral percepatan gempa di permukaan tanah memerlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode pendek 0,2 detik dan periode 1 detik, faktor amplifikasi tersebut meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili periode 1 detik (F_y).

Tabel 2.8 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T = 0,2 detik, Ss				
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss ≥ 1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS _b				

Catatan:

a) Untuk nilai-nilai antara Ss, dapat dilakukan interpolasi linier

b) SS_b = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.9 Koefisien Situs, F_y

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, 1 detik, S1				
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss ≥ 1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SSb				
catatan: a) Untuk nilai-nilai antara Ss, dapat dilakukan interpolasi linier b) SSb = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik, lihat 6.10.1					

(Sumber: SNI 1726-2019)

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.2)$$

$$S_{M1} = F_y S_1 \quad (2.3)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan perioda pendek,

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan perioda 1 detik.

4. Parameter spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{D1}), harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.5)$$

5. Spektral respons desain

Untuk membuat periode yang lebih kecil dari T_0 nilai S_a menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (2.6)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7)$$

$$T_0 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

6. Kategori desain seismik

Semua struktur harus diberi klasifikasi desain seismiknya sesuai dengan kategori risikonya. Berdasarkan tabel dalam (Badan Standarisasi Nasional, 2019) berikut merupakan desain seismik berdasarkan parameter percepatan spektral desain.

Tabel 2.10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	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

Tabel 2.11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	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 1726-2019)

7. Koefisien modifikasi respons

Untuk menahan gaya gempa di kedua arah sumbu orthogonal struktur, sistem penahan gaya gempa yang berbeda diizinkan. Bila sistem berbeda

dipakai, masing-masing nilai R , C_d dan Ω_0 harus dipakai pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang ada dalam tabel dibawah ini:

Tabel 2.12 Faktor R , Ω_0 , C_d untuk sistem struktur tahan gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h_n , (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
A. Sistem Dinding Penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2 ½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2 ½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2 ½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1 ½	2 ½	1 1/2	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2 ½	4	TB	TB	TB	12'	12'
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2 ½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2 ½	3 1/2	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3 ½	2 ½	2 1/4	TB	TB	TB	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2 ½	1 3/4	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2 ½	1 3/4	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1 ½	2 ½	1 1//4	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1 ½	2 ½	1 3/4	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2 ½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1 ½	2 ½	1 1/2	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6 ½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6 ½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2 ½	2	TB	TB	10	TI	TI

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur hn, (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3 ½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3 ¾	2	3 ¼	TB	TB	10'	10'	TI
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6	2 ½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2 ½	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2 ½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1,5	2 ½	1 ½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2 ½	4 ½	TB	TB	12'	12'	12'
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2 ½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4 ½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6 ½	2 ½	5 ½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2 ½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2 ½	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	2 ½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2 ½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2 ½	2	TB	48	TI	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2 ½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2 ½	1 ¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1 ½	2 ½	1 ¾	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi	7	2 ½	4 ½	TB	TB	22	22	22

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h_n , (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser								
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2 ½	4 ½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2 ½	2 ½	2 ½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2 ½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 ½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4 ½	3	4	TB	TB	10 ^K	TI ^K	TI
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3 ½	3	3	TB	TB	TI ^I	TI ^I	TI ^I
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	7	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 ½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3 ½	3°	3 ½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen								

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur hn, (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2 ½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7 ½	2 ½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2 ½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2 ½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5 ½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3 ½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2 ½	6 ½	TB	TB	TB	TB	TB
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2 ½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6 ½	2 ½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2 ½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3 ½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5 ½	2 ½	4 ½	TB	TB	48	30	TI

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur hn, (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3 ½	2 ½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasag	5 ½	2 ½	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^g	4 ½	2 ½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2 ½	1 ¼	2 ½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom aja dengan kantilever biasa	1 ¼	1 ¼	1 ¼	10	10	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2 ½	1 ¼	2 ½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1 ½	1 ¼	2 ½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1 1/4	1 ½	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1 ½	1 ½	1 ½	10	10	10	TI	TI
H. sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
CATATAN: TB = Tidak dibatasi TI = Tidak diizinkan								

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.7 Kombinasi Pembebanan

Untuk memastikan bahwa struktur tidak runtuh saat menerima kombinasi beban yang mungkin terjadi, setiap perencanaan struktur harus mempertimbangkan seluruh beban yang dapat diterima oleh struktur. Beban-beban yang diterima struktur tidak hanya salah satu melainkan kombinasi dari beban-beban tersebut. Oleh karena itu, supaya struktur bangunan memenuhi persyaratan terhadap kombinasi beban maka harus mampu menahan beban kombinasi dasar sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 4.2.2.1 di bawah ini:

$$1. \quad 1,4D \quad (2.9)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr/R) \quad (2.10)$$

$$3. \quad 1,2D + 1,6 (Lr/R) + (L / 0,5W) \quad (2.11)$$

$$4. \quad 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr/R) \quad (2.12)$$

$$5. \quad 0,9D + 1,0W \quad (2.13)$$

$$6. \quad 1,2D + E_v + E_h + L \quad (2.14)$$

$$7. \quad 0,9D - E_v + E_h \quad (2.15)$$

Keterangan:

D = Merupakan beban mati yang muncul akibat dari berat konstruksi, beban ini termasuk dinding bangunan, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan yang bersifat tetap

L = Merupakan beban hidup yang muncul akibat dari penggunaan gedung, namun bukan beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

Lr= Merupakan beban hidup pada atap yang muncul selama proses perawatan oleh pekerja bangunan, material, dan peralatan, atau selama penggunaan biasa dan benda yang bergerak

R = Merupakan beban dari hujan, namun bukan beban yang diakibatkan dari adanya genangan air

W = Merupakan beban angin yang diterima bangunan

E = Merupakan beban gempa yang dialami bangunan, yang ditentukan menurut SNI 03:1726:2012, atau penggantinya

2.8 Gaya Geser (*Base Shear*)

Gaya geser dasar ialah permodelan atau penyederhanaan dari getaran gempa yang bekerja pada dasar bangunan yang nantinya akan digunakan untuk gaya gempa rencana yang ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan. Pengaruh gempa pada struktur bangunan dimodelkan dengan terjadinya gaya geser yang bekerja pada dasar bangunan yang disebut sebagai gaya geser dasar (*base shear*).

Besarnya gempa yang bekerja mempengaruhi gaya geser dasar yang terjadi pada struktur bangunan. Menghitung distribusi beban geser (*base shear*) menjadi gaya geser tingkat, dengan cara analisa statik dan analisa dinamik.

(Wahyudi, 1997) menerangkan bahwa semua komponen struktur, baik beton maupun baja tidak lepas dari masalah gaya geser. Gaya geser biasanya tidak berfungsi sendirian, tetapi seringkali digunakan bersama dengan lentur, torsi atau gaya normal. Studi menunjukkan bahwa elemen struktur beton bertulang menjadi getas (*brittle*), tidak daktil dan runtuh tanpa adanya peringatan. Hal ini disebabkan karena kekuatan geser baja sebagian besar bergantung pada kekuatan tarik dan tekan baja. Situasi ini sangat berbeda dengan tujuan perencanaan yang selalu membutuhkan struktur daktil.

Gaya geser biasanya tidak bekerja sendiri, namun terjadi bersamaan menggunakan gaya lentur/momen, torsi atau normal/aksial. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, diketahui bahwa keruntuhan akibat gaya geser bersifat getas (*brittle*) atau daktil. Akibatnya, keruntuhan terjadi secara tiba-tiba. Hal ini disebabkan oleh kekuatan tunda geser yang lebih banyak berasal dari kuat tarik dan tekan beton dibandingkan dengan kontribusi tulangan geser.

Besar gaya geser pada balok atau kolom, umumnya bervariasi sepanjang bentang, sehingga banyaknya tulangan geser pun bervariasi sepanjang bentang. Ada beberapa sebab retak pada struktur baja, yaitu

- a) Retak akibat lentur/momen
- b) Retak akibat geser

Retak-retak ini bila tidak ditahan dengan tulangan akan mengakibatkan keruntuhan, mengingat sifat beton yang tidak mampu menahan gaya tarik. Retak akibat lentur ditahan dengan tulangan lentur atau tulangan longitudinal atau memanjang karena letak retak yang terletak vertikal ke atas. Sedangkan retak akibat geser ditahan oleh tulangan geser.

2.9 Ketidakberaturan Struktur

2.9.1 Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal merupakan ketidakberaturan konfigurasi yang terlihat pada arah horizontal atau yang biasa disebut sebagai plan irregularity. Kriteria ketidakberaturan horizontal bangunan menurut SNI 1726:2019 ditetapkan seperti pada tabel Tabel 2.13

Tabel 2.13 Ketidakberaturan Horizontal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Torsi Apabila simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu $> 1,2$ kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1a.	Ketidakberaturan Torsi berlebihan Apabila simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu $> 1,4$ kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 17.12.1 Tabel 16	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam Apabila kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam $> 15\%$ dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
	Apabila terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka > 50% daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif > 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya		
4.	Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang Apabila terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakteraturan sistem non paralel Apabila elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu - sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

2.9.2 Ketidakteraturan Vertikal

Ketidakteraturan bertikal merupakan ketidakberaturan yang terjadi apabila suatu bangunan memperlihatkan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan vertikal. Persyaratan ketidakberaturan vertikal suatu struktur ditetapkan pada SNI 1726:2019 yang dapat dilihat pada Tabel 2.14

Tabel 2.14 Ketidakteraturan Vertikal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
	jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.		
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
	berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.		

2.10 Simpangan Antar Lantai Tingkat

Kinerja batas *ultimate* struktur gedung dipengaruhi oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh dari gempa desain dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan. Untuk membatasi kemungkinan terjadinya kegagalan struktur gedung yang bias menimbulkan adanya korban jiwa manusia dan untuk menghindari benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah menggunakan sela pemisah (sela dilatasi).

Simpangan atau yang biasa dikenal dengan *displacement* dapat didefinisikan sebagai perpindahan lateral. Simpangan antar lantai tingkat perlu dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah. Apabila pusat massa tidak terletak segaris di arah vertikal, maka diijinkan untuk menghitung defleksi pada tingkat dasar berdasarkan dengan proyeksi vertikal dari pusat massa pada tingkat atasnya. Defleksi pusat massa pada tingkat (δ_x) harus ditentukan berdasarkan dengan persamaan berikut (Badan Standarisasi Nasional , 2019) :

$$\delta_x = \frac{c_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.16)$$

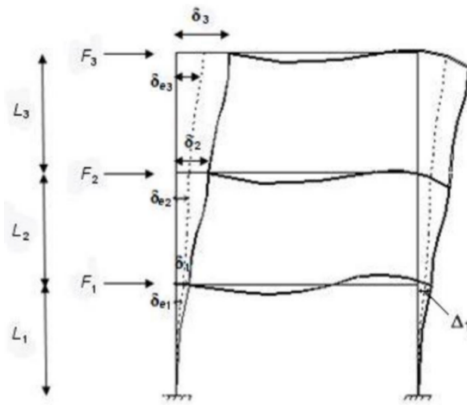
Keterangan:

c_d : Faktor Amplifikasi Defleksi

δ_{xe} : Defleksi pada Lokasi Yang Diisyaratkan

I_e : Faktor Keutamaan Gempa

Penentuan simpangan antar tingkat desain



Gambar 2.5 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(Sumber: SNI 1726-2019)

Catatan:

Tingkat 3

F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e3} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_3 = $\delta_{e3} C_d \delta_{e3} / I_E$ = perpindahan yang diperbesar

Δ_3 = $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_E \leq \Delta_a$

Tingkat 2

F_2 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e2} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_2 = $\delta_{e2} C_d \delta_{e2} / I_E$ = perpindahan yang diperbesar

Δ_2 = $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_E \leq \Delta_a$

Tingkat 1

F_1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e1} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_1 = $\delta_{e1} C_d \delta_{e1} / I_E$ = perpindahan yang diperbesar

$$\Delta_1 = \delta_{e1} \leq \Delta a$$

Δ_1 = simpangan antar tingkat

Δ_1/L_1 = Rasio simpangan antar tingkat

δ_3 = perpindahan total

Pada penentuan kesesuaian menggunakan batasan simpangan antar lantai tingkat. Diizinkan untuk menentukan simpangan antar lantai elastis dengan gaya desain seismik berdasarkan pada periode fundamental struktur gedung yang dihitung tanpa batasan atas. Simpangan antar lantai tingkat desain seperti ditentukan dalam 0, atau 0, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin, seperti didapatkan dari tabel berikut:

Tabel 2.15 Simpangan antar tingkat izin

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 tingkat	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
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:

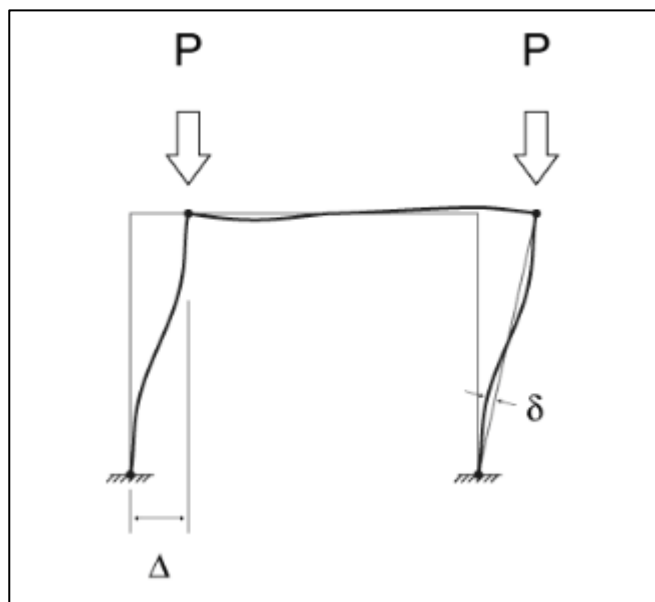
- h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x
- untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan 0.
- tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 0 tidak diabaikan.

- d. Struktur dimana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

2.11 Pengaruh P-delta

Pengaruh p-delta ialah beban gravitasi (P) yang memiliki pengaruh perpindahan horizontal. Ketika suatu elemen struktur mengalami beban lateral akibat gempa, hal ini dapat menyebabkan simpangan atau drift. Drift yang terjadi akan menimbulkan eksentrisitas, yaitu jarak antara garis aksi beban dan sumbu tumpu. Eksentrisitas tersebut menghasilkan momen internal tambahan yang dapat mempengaruhi momen yang dihasilkan dari analisis orde pertama.

Pengaruh P-Delta berasal dari dua sumber, yaitu perpindahan secara global pada batang kolom yang disebabkan oleh beban lateral, yang biasa disebut *P-large delta*, dan deformasi lokal yang terjadi di dalam batang kolom itu sendiri, yang biasa disebut dengan *P-small delta*. Contoh ilustrasi dari *P-Large Delta* ($P-\Delta$) dan *P-Small Delta* ($P-\delta$) dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Ilustrasi *P-Large Delta* ($P-\Delta$) dan *P-Small Delta* ($P-\delta$)

Pengaruh *P-Delta* pada geser dan momen tingkat, serta gaya dan momen yang dihasilkan oleh elemen struktur, tidak perlu diperhitungkan jika simpangan antar

tingkat akibat pengaruh tersebut menghasilkan koefisien stabilitas (θ) yang ditentukan oleh persamaan berikut dengan nilai sama dengan atau kurang dari 0,1.

$$\theta \leq 0,10 \quad (2.17)$$

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.18)$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0;

Δ = simpangan antar Tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2

V_x = gaya geser seismic yang bekerja antara tingkat x dan x-1 (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x, (mm);

C_d = faktor pembesaran defleksi dalam tabel 12

Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{max} yang ditentukan melalui persamaan dibawah ini.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.19)$$

Nilai β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh *P-delta* pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $\frac{1,0}{(1-\theta)}$. Jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

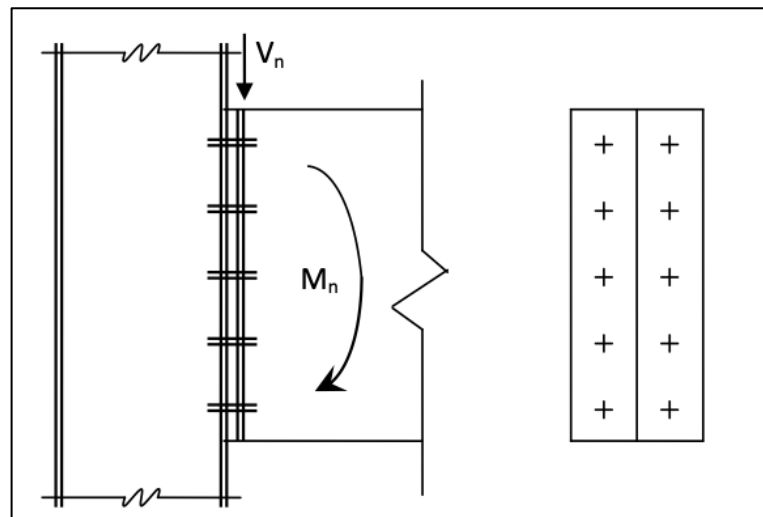
2.12 Sambungan

Gaya-gaya yang bekerja pada elemen dipindahkan ke elemen struktur yang disambung melalui sambungan, semua sambungan mempunyai tingkat ketahanan terhadap perputaran sudut antara batang-batang yang disambung bila ada beban yang bekerja. Untuk sambungan berdasarkan kemampuan terhadap perputaran dibagi menjadi 2 tipe, diantaranya:

1. *Type Fully Restrained (FR)* ialah penahan penuh atau kaku yang mempunyai tahanan kaku dan tidak dapat berputar.
2. *Type Partially Restrained (PR)* ialah penahan yang tidak penuh, tidak cukup kaku untuk menahan sudut akibat beban pada sambungan.

2.12.1 Sambungan Baut

Setiap struktur baja terdiri dari kombinasi dari beberapa bagian batang yang digabung dengan alat pengencang. Baut mutu tinggi, terutama baut mutu tinggi telah menggantikan paku keling sebagai alat pengencang. Hal ini disebabkan oleh beberapa keuntungan yang ditawarkan oleh baut mutu tinggi dibandingkan dengan paku keling, seperti penggunaan tenaga kerja yang lebih sedikit. Gaya yang lebih besar dan secara keseluruhan dapat mengurangi biaya konstruksi (Septianta, 2015)



Gambar 2.7 Contoh Sambungan Baut

(Sumber: Septianta, 2015)

Berdasarkan SNI, baut yang digunakan dalam struktur baja dapat dibedakan menjadi dua yaitu baut mutu tinggi dan baut mutu biasa. Pada struktur baja sambungan baut dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu sambungan geser (*bearing connection*) dan sambungan geser dengan pratekan tinggi (*slip-critical connection*). Dalam sambungan geser, gesekan antara elemen sambungan akan memikul beban. Sementara itu, pada sambungan *slip-critical* baut diberikan pratekan sehingga gaya gesek akibat pratekan dapat menahan gaya eksternal. Dalam perencanaan sambungan baut terdapat persyaratan keamanan yang harus dipenuhi untuk memastikan sambungan mampu menahan beban yang bekerja.

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \quad (2.20)$$

Dimana:

ϕ = Faktor reduksi

R_n = Kuat nominal baut

R_u = Beban terfaktor

Dengan persamaan tersebut menyatakan bahwa perancangan sambungan baut pada struktur baja mampu menghadapi beban yang diharapkan dalam kondisi nyata, memberikan Tingkat keamanan dan keandalan yang sesuai dengan standar desain. Dalam sambungan baja, jarak antar baut dan jarak tepi pelat ke baut harus memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI. Kontrol ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan atau kegagalan struktur akibat beban yang diterima.

1. Jarak baut ke tepi (S1)

Salah satu parameter yang harus diperhatikan. Jarak ini mengacu pada jarak antara pusat baut dan tepi pelat ataupun profil baja tempat baut tersebut dipasang. Penentuan jarak ini berpengaruh terhadap kekuatan sambungan. Dalam SNI 1729-2020 menetapkan kriteria mengenai jarak baut ke tepi, diantaranya:

- a. Jarak minimum: biasanya ditetapkan sebesar 1,5 kali diameter baut (d). jarak ini dirancang untuk mencegah terjadinya kegagalan di area tepi pelat, yang Dimana tegangan dapat meningkat secara signifikan.

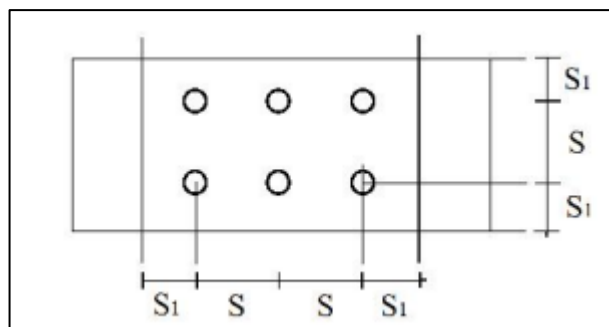
Tabel 2.16 Dimensi Lubang

Diameter Baut	Dimensi Lubang			
	Standar (Diameter)	Ukuran Berlebih (Diameter)	Slot Pendek (Lebar x Panjang)	Slot panjang (Lebar x Panjang)
$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{9}{16} \times \frac{11}{16}$	$\frac{9}{16} \times 1\frac{1}{4}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{11}{16} \times \frac{7}{8}$	$\frac{11}{16} \times 1\frac{9}{16}$
$\frac{3}{4}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{13}{16} \times 1$	$\frac{13}{16} \times 1\frac{7}{8}$
$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{5}{16} \times 1\frac{1}{8}$	$\frac{15}{16} \times 2\frac{3}{16}$
1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{8} \times 1\frac{5}{16}$	$1\frac{1}{8} \times 2\frac{1}{2}$
$\geq 1\frac{1}{8}$	$d + \frac{1}{8}$	$d + \frac{5}{16}$	$(d + \frac{1}{8}) \times (d + \frac{3}{8})$	$(d + \frac{1}{8}) \times (2,5d)$

(Sumber: SNI 1729-2020)

- b. Jarak maksimum: harus diperhatikan untuk memastikan bahwa sambungan tetap efektif. Jarak yang terlalu jauh dapat menyebabkan pengurangan efisiensi sambungan dan meningkatkan risiko kegagalan.
2. Spasi minimum

Jarak terkecil yang diperbolehkan antara pusat baut dengan baut lainnya atau antara baut dengan tepi pelat. Penentuan spasi minimum berpengaruh langsung terhadap kekuatan, kestabilan, dan keandalan struktur yang dibangun.

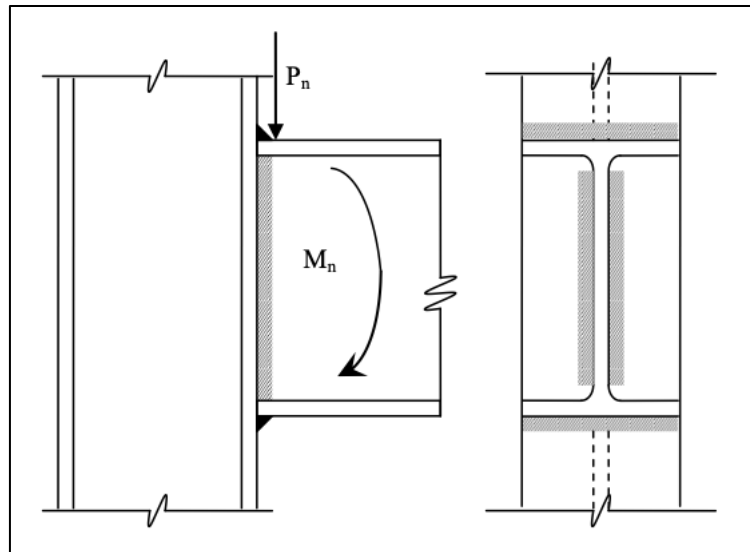


Gambar 2.8 Tata letak baut

2.12.2 Sambungan Las

Pengelasan adalah proses penyambungan bahan logam dengan bahan pengisis, dengan ataupun tanpa tekanan dan dengan peleburan bahan setelah memanaskannya hingga suhu yang tepat. Las telah lama digunakan dalam bidang konstruksi, tetapi masih terbilang baru. Hal ini disebabkan oleh pendapat ahli

tentang beberapa kekurangan las, seperti las dapat mengurangi tahanan leleh bahan (*fatigue strength*) dibanding paku keling (Septianta, 2015)



Gambar 2.9 Contoh Sambungan Las

(Sumber: Septianta, 2015)

Sambungan las merupakan salah satu metode sambungan yang umum digunakan dalam konstruksi struktur baja. Proses sambungan ini melibatkan penggabungan dua atau lebih bagian material dengan cara melelegkan bagian-bagian tersebut menggunakan sumber panas, sehingga membentuk ikatan yang kuat setelah pendinginan. Pada penelitian ini perhitungan menggunakan rumus las sudut untuk menghubungkan *bracing* ke kolom maupun ke balok.

$$P_u < \phi \cdot R_n = F_{nw} \cdot A_{we} \quad (2.21)$$

$$A_{we} = t \cdot L \quad (2.22)$$

$$F_{nw} = 0,6 \cdot F_{exx} \quad (2.23)$$

Dimana:

t = tebal efektif las

L = panjang las

F_{nw} = kuat nominal tarik kawat las

F_{exx} = kuat tarik kawat las

R_n = tahanan nominal per satuan panjang las (mm)

ϕ = faktor reduksi (0,75)

2.13 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini ialah:

1. Rekayasa *Bracing* tipe V dan *inverted V* Pada Gedung Kampus (Kurniati, 2022). Tujuan dari penelitian ini ialah untuk membandingkan nilai simpangan antar lantai antara struktur tanpa *bracing* dengan menggunakan *bracing* tipe V dan *inverted V*. Dapat disimpulkan dari penelitian tersebut bahwa penambahan *bracing* dapat mengurangi simpangan, untuk *bracing* tipe V dinilai lebih efisien untuk digunakan karena penurunan simpangan pada gedung lebih signifikan.
2. Analisa Nilai Simpangan Horizontal (*Drift*) Pada Struktur Tahan Gempa Menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik *Type Braced V* (Akbar & Chandra, 2017). Penelitian ini menganalisis (*drift*) simpangan yang terjadi terhadap suatu gedung konstruksi baja tanpa bresing dengan gedung yang menggunakan bresing, bresing yang digunakan ialah bresing tipe V serta membandingkan besar pengaruh gedung menggunakan bresing dengan tidak menggunakan bresing. Penambahan penopang (*bracing* dapat mengurangi secara signifikan sehingga struktur aman dari adanya keruntuhan).
3. Analisis Variasi Penempatan *Bracing* Konsentrik pada Struktur Gedung Rangka Baja dengan Analisis Gempa Riwayat Waktu (Nurkhaliza, 2021). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan kinerja struktur melalui variasi penempatan bresing konsentrik tipe *inverted V* dengan menggunakan analisis statik ekuivalen dan analisis gempa riwayat waktu berdasarkan periode struktur, *displacement*, dan *story drift*. Hasil dari penelitian menunjukkan penggunaan bresing dapat memperkuat bangunan, hal ini dikarenakan dengan penggunaan bresing dapat mengurangi periode dan *displacement* struktur. Penempatan bresing yang diletakan di tengah struktur menghasilkan periode yang lebih kecil dibandingkan dipinggir.
4. Perbedaan Pengaruh Pemakaian *Bracing* Baja Model X dan *Inverted V* Pada Bangunan Bertingkat Dengan Analisis Statik *Non-Linier Pushover*, Ditinjau

dari Kinerja Batas Layan (Gabriel, 2021). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbedaan pengaruh penggunaan *bracing* baja model X dan *inverted V* pada gedung bertingkat dengan analisis *static non-linear push over*. Hasil dari penelitian ini ialah penggunaan *bracing* model X mampu mengurangi *displacement* gedung sampai dengan 83% dan memenuhi kinerja batas layan struktur, *bracing* tipe *inverted V* mengurangi *displacement* gedung sampai dengan 68% tetapi belum mampu memenuhi kinerja batas layan struktur, maka dimensi baja harus besar untuk memenuhi kinerja batas layan.