

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Kinerja batas layan struktur Gedung ditentukan oleh simpangan antar Tingkat akibat pengaruh gempa rencana, untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan non struktur dan ketidaknyamanan penghuni. (Cristiawan,dkk 2008)

Suatu Gedung dengan struktur beton bertulang yang berlantai banyak sangat rawan terhadap keruntuhan jika tidak direncanakan dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan suatu perencanaan struktur yang tepat dan teliti agar dapat memenuhi kriteria kekuatan (*Strength*), kenyamanan (*Serviceability*), keselamatan (*Safety*), dan umur rencana bangunan (*Durability*). Struktur bangunan pada umumnya terdiri dari struktur bawah dan struktur atas. Struktur bawah yang dimaksud adalah pondasi dan Balok *Sloof* yang berada di bawah permukaan tanah, sedangkan struktur atas adalah struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah seperti kolom, balok, dan pelat. Setiap komponen tersebut memiliki fungsi yang berbeda – beda di dalam sebuah struktur. (Putra, 2022)

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba – tiba akibat dari pecah atau slipnya massa bebatuan di lapisan kerak bumi. Energi tersebut terakumulasi dan terperangkap pada waktu yang lama kemudian terlepas dan merambat ke segala arah sampai ke permukaan tanah hal tersebut membuat permukaan tanah bergelombang yang menyebabkan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya – gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan.(Ratnasari & Pawirodikromo, 2018)

Beban dinamik merupakan beban yang bekerja secara tiba – tiba pada struktur atau beban dengan sederhana dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu. Beban ini bersifat tidak tetap (*unsteady – state*) serta mempunyai arahan dan besaran karakteristik yang berubah dengan cepat. Struktur yang mengalami deformasi akibat beban dinamik ini juga akan berubah secara cepat.

Struktur atas merupakan keseluruhan elemen bangunan yang berlokasi di atas permukaan tanah. Bagian ini terdiri dari kolom, pelat, balok, dinding geser, dan tangga, yang memiliki peran yang sangat vital dalam keseluruhan konstruksi. Struktur bawah dapat berupa semua bagian konstruksi struktur atau struktur yang berada di bawah permukaan tanah yang mampu menahan timbunan dari bangunan atas dan memindahkannya ke dalam tanah yang keras. Struktur bawah meliputiudukan beton (*pile cap*) dan fondasi. Basis menyangga timbunan dari bangunan atas sehingga fondasi tidak dapat runtuh di depan bangunan atas. Tumpukan beban tersebut termasuk (DL) beban mati, (LL) beban hidup, (E) beban gempa, dan lain sebagainya. Penyusunan fondasi suatu struktur harus disusun secara cermat, tepat dan cermat. Kesalahan dalam perhitungan fondasi akan membuat struktur yang kuat pada runtuhnya suprastruktur dan berakibat fatal bagi penyewa. Struktur yang lebih rendah ini terdiri dari fondasi penting dari struktur, yang memainkan bagian yang sangat mendasar dalam struktur.

Selain dari pada unsur-unsur dasar bangunan, terdapat beberapa prinsip. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan tingkat kerawanan (risiko gempa) dimana bangunan tersebut didirikan.

1. Pendetailan penulangan, sambungan-sambungan, unsur-unsur bangunan harus terikat secara efektif menjadi satu kesatuan.
2. Material beton dan baja harus memenuhi syarat bangunan tahan gempa.
3. Unsur-unsur arsitektural yang memiliki massa yang besar harus terikat dengan kuat pada sistem portal utama.
4. Karakteristik bangunan sangat berpengaruh terhadap gaya gempa yang akan diterima bangunan. Bentuk denah bangunan yang simetris dan tidak terlalu panjang dapat mengurangi beban gempa yang diterima bangunan, selain itu massa bangunan sebisa mungkin dibuat seringan mungkin.

Di dalam proses analisa perencanaan diperlukan pendekatan terhadap beberapa aspek yaitu: aspek lingkungan, aspek arsitektural, aspek fungsi pelayanan (*service ability*), kemudahan pelaksanaan dan efisiensi biaya yang diperlukan. Penjelasan untuk aspek-aspek yang harus diperhatikan dalam perencanaan struktur dijelaskan sebagai berikut :

- 1.2 Aspek Lingkungan Aspek lingkungan dipertimbangkan untuk mengantisipasi adanya pengaruh negatif terhadap lingkungan sekitar setelah bangunan ini didirikan. Aspek ini juga bertujuan menganalisis dampak positif apa saja yang bisa didapat dengan adanya suatu bangunan.
- 2.2 Aspek Arsitektural Sifat dasar manusia adalah menginginkan sesuatu yang indah dilihat begitu juga dalam merencanakan bangunan aspek estetika harus dikedepankan. Selain itu bentuk fisik bangunan yang indah memiliki daya pikat tertentu untuk kebutuhan promosi suatu perusahaan dan bisa meningkatkan efisiensi kerja.
- 3.2 Aspek Fungsi Pelayanan Fungsi kekuatan dan kestabilan struktur mempunyai peran yang penting dalam terpenuhinya keselamatan selama bangunan difungsikan. Selain itu bangunan direncanakan dengan tatanan tertentu supaya tercapai tujuan yang tertentu pula sesuai fungsi serta kemudahan akses agar kenyamanan dan fungsi utama bangunan dapat tercapai.
- 4.2 Aspek Kemudahan Pelaksanaan dan Efisiensi Biaya Biasanya dari suatu gedung dapat digunakan beberapa sistem struktur yang bisa digunakan, maka faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang akan dipilih, dapat disimpulkan sebagai efisiensi anggaran. (Late,2017)

2.2 Penelitian Terdahulu

1.3 Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu

No	Nama	Judul Skripsi	Perbedaan
1	Napoleao Braz Moreira (2016)	Studi Perencanaan Struktur Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Pada Bangunan Gedung Serbaguna Widya	Objek yang diteliti adalah Gedung Serbaguna Widya Bhakti Jl.Ijen Kota Malang dengan ketinggian 7 lantai. metode yang digunakan <i>Staad</i>

		Bhakti Jl.Ijen Kota Malang. (SNI 1726:2019)	<i>Pro</i> 2008.mengharapkan jumlah tulangan kolom dan balok dapat memikul beban gempa pada wilayah Kota Malang. (SNI 1726:2019)
2	Wirawan Suryo Prabowo (2019)	Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Telkomsel Semarang Berdasarkan SNI Gempa 1726:2012 dan SNI Beton Struktur 2847:2013.	Objek yang diteliti adalah Gedung Telkomsel Semarang dengan ketinggian 7 lantai. Metode yang digunakan SAP2000 v20.2.0. penerapan pada tata cara perhitungan perencanaan dengan menggunakan SNI Gempa 1726:2012 dan SNI Beton Struktur 2847:2013.
3	Dandy Nugroho,dkk (2020)	Analisis Balok dan kolom Struktur Beton	Objek yang diteliti adalah Café di Jalan Manunggal, Desa Gedongombo, Kec.Semanding Kota Tuban dengan

			ketinggian 2 lantai menggunakan metode <i>StaadPro</i> . Mengharapkan ukuran dan ukuran besi pada tulangan dapat digunakan. (SNI 1726:2019)
4	Muhammad Ismail Nitisusilaharja, Wachid Hasyim, Komarudin, (2020)	Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung Asrama Tiga Lantai Menggunakan <i>Static Nonlinear Pushover Analysis</i>	Objek yang diteliti Gedung Asrama dengan tinggi Gedung 18,5 m, bertujuan untuk mengetahui beban gempa yang diterima oleh bangunan, Etabs dengan SNI 1726:2019, <i>Static Nonlinear Pushover Analysis</i>
5	Lukman Nulhakim (2021)	Evaluasi Kelayakan Struktur Gedung Rumah Sakit Melati Sungai Penuh	Objek yang diteliti Gedung Rumah Sakit Melati Sungai Penuh dengan ketinggian 3 lantai menggunakan metode Etabs v18, mempelajari gambar dan data

			bangunan, melakukan analisis terhadap existing bangunan menggunakan peraturan SNI 03- 2847-2019 dan dari analisis didapatkan bahwa elemen struktur dengan pemodelan kerangka dinding pengisi mampu menerima beban yang bekerja.
6	Febri Tri Anggara (2022)	Evaluasi Struktur Gedung SDN 07/10 parak Juar Kecamatan Lima Kaum Kabupaten Tanah Datar	Objek yang diteliti Gedung SDN 07/10 parak Juar Kecamatan Lima Kaum Kabupaten Tanah Datar dengan ketinggian 2 lantai menggunakan metode SAP2000 dengan tujuan menghitung ulang beban hidup, beban mati, beban gempa dan beban angin untuk meningkatkan pengetahuan yang

			sistematis dengan SNI 2012
7	Dikki Permana (2022)	Evaluasi Struktur Gedung Kuliah Terpadu 1 (GKT 1) Politeknik Negeri Bengkalis Berdasarkan SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019	Objek yang diteliti Gedung Kuliah Terpadu 1 (GKT 1) Politeknik Negeri Bengkalis dengan ketinggian 3 lantai bertujuan untuk menghitung simpangan dan tegangan pada eksisting beserta menghitung kebutuhan tulangan lenturnya dengan SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019
8	Muhamad Rifai, Fikri Alami, Mohd.Isneini, Masdar Helmi, (2022)	Evaluasi Kinerja Gedung Bertingkat Dengan Analisis <i>Time History</i>	Objek yang diteliti Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro dengan ketinggian 7 lantai dan 1 <i>basement</i> bertujuan untuk perkiraan Gerakan tanah akibat gempa. SNI 1726 – 2019, Analisis <i>Time History</i>

9	Afif Pratama (2023)	Evaluasi Struktur Gedung Fakultas Hukum Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat	Objek yang diteliti Gedung Fakultas Hukum Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat dengan ketinggian 2 lantai bertujuan untuk menerapkan aspek kinerja pada struktur dengan material beton untuk diterapkan dalam desain konstruksi (SNI 1726:2019)
10	Fairuz Izdihar Athallah, Raditya Aryanata (2023)	Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Eksisting	Objek yang diteliti Gedung Bertingkat Eksisting Gedung Bea Cukai Semarang dengan ketinggian 8 lantai 1 penthouse menggunakan SIMAK PUPR dan mengacu SNI 2847 ; 2019 dan SNI 1726 : 2019 menggunakan metode Etabs bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur

11	Arya Pratama Ismail (2023)	Evaluasi Kekuatan Existing Struktur Atas Bangunan Akibat Rencana Alih Fungsi Gedung Administrasi Menjadi Gedung Perpustakaan Sekolah Tinggi Ilmu Adhyaksa Jambi	Objek yang diteliti Gedung Administrasi Menjadi Gedung Perpustakaan Sekolah Tinggi Ilmu Adhyaksa Jambi dengan ketinggian 2 lantai bertujuan untuk mengetahui kekuatan existing struktur atas akibat alih fungsi Gedung dengan menggunakan SNI 1726-2019, SNI 2847-2019 dan SNI 1727-2020 aplikasi <i>Software Etabs</i>
12	Erman Saputra Tanjung (2023)	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Hotel Syariah Bukit Tinggi Menggunakan Metode <i>Pushover Analysis</i> Pada Program SAP2000	Objek yang diteliti Gedung Hotel Syariah Bukit Tinggi dengan ketinggian 7 lantai bertujuan untuk menentukan kriteria kinerja struktur gedung dengan melibatkan skema kelelahan dan pola keruntuhan bangunan,

			SNI 1726 – 2019, SAP2000
13	Michael R Panjaitan (2024)	Evaluasi Perhitungan Struktur Gedung Bertingkat Pada Pembangunan Rumah Susun Tower C Sukaramai Medan	Objek yang diteliti Gedung Bertingkat Pada Pembangunan Rumah Susun Tower C Sukaramai Medan dengan ketinggian 21 lantai bertujuan untuk mengevaluasi kebutuhan tulangan pada kolom, balok dan pelat berdasarkan SNI 2847:2019 dikarenakan bangunan dibangun tahun 2016 berdasarkan SNI 2847:2013 menggunakan <i>Software Etabs V20</i>
14	Farhan Nur Asy'arie, Satrio Wicaksono (2024)	Redesain Struktur Gedung Empat Lantai Berdasarkan SNI 1726:2019	Objek yang diteliti Gedung Pabrik 4 lantai di Kawasan Industri Kendal dengan ketinggian 4 lantai bertujuan untuk mendesain

			ulang dimensi pada Gedung pabrik tersebut dengan peraturan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 menggunakan <i>Software Etabs</i>
15	Sionmora Ritonga, (2024)	Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Atas Gedung Suzuya Pematangsiantar Menggunakan Metode <i>Pushover</i>	Objek yang diteliti Gedung Suzuya Pematangsiantar dengan ketinggian 5 lantai bertujuan untuk mengetahui perilaku non-linier dan kinerja seismic pada struktur akibat gempa yang diakibatkan gaya lateral serta besar nilai <i>displacement</i> . SNI 1726 - 2019

2.3 Struktur Bawah

Yang dimaksud struktur bawah adalah fondasi dan struktur bangunan yang berada dibawah permukaan tanah. Fondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban yang dipikul oleh bangunan ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Fondasi secara garis besar dibagi atas 2 bagian yaitu fondasi dangkal (*shallow foundation*) dan fondasi dalam (*deep foundation*), tergantung dari letak tanah kerasnya dan perbandingan kedalaman dengan lebar fondasi. Fondasi dapat dikatakan fondasi dangkal apabila kedalamannya kurang atau sama

dengan lebar pondasi ($D \leq B$) dan dapat digunakan jika lapisan tanah kerasnya terletak dekat dengan permukaan tanah sedangkan fondasi dalam digunakan jika lapisan tanah kerasnya berada jauh dari permukaan tanah.

2.4 Struktur Atas

2.4.1 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktur yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban - beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui fondasi. Karena kolom merupakan suatu elemen struktur komponen tekan, maka keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (runtuhnya) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh batas total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya. (Nawy, P.E. 2016)

Keruntuhan kolom struktur merupakan hal yang sangat berarti ditinjau dari segi ekonomi maupun segi manusiawi. Oleh karena itu dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi daripada yang dilakukan pada balok dan elemen struktur horizontal lainnya, terlebih lagi karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas . (Nawy, P.E. 2016)

Bila diumpamakan, kolom itu seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin. Kolom berfungsi sangat penting, agar bangunan tidak mudah roboh. Beban sebuah bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterimanya ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya. Kesimpulannya, sebuah bangunan akan aman dari kerusakan bila besar dari jenis pondasinya sesuai dengan perhitungan. Namun, kondisi tanah pun harus benar-benar mampu menerima beban dari pondasi. Kolom menerima beban dan meneruskannya ke pondasi. Struktur dalam kolom dibuat dari besi dan beton. Keduanya merupakan gabungan antara material yang tahan tarikan dan tekanan. Besi adalah material yang

tahan tarikan, sedangkan beton adalah material yang tahan tekanan. Gabungan kedua material ini dalam struktur beton memungkinkan kolom atau bagian struktural lain seperti sloof dan balok bisa menahan gaya tekan dan gaya tarik pada bangunan. (Nawy, P.E. 2016)

1) Jenis-Jenis Kolom

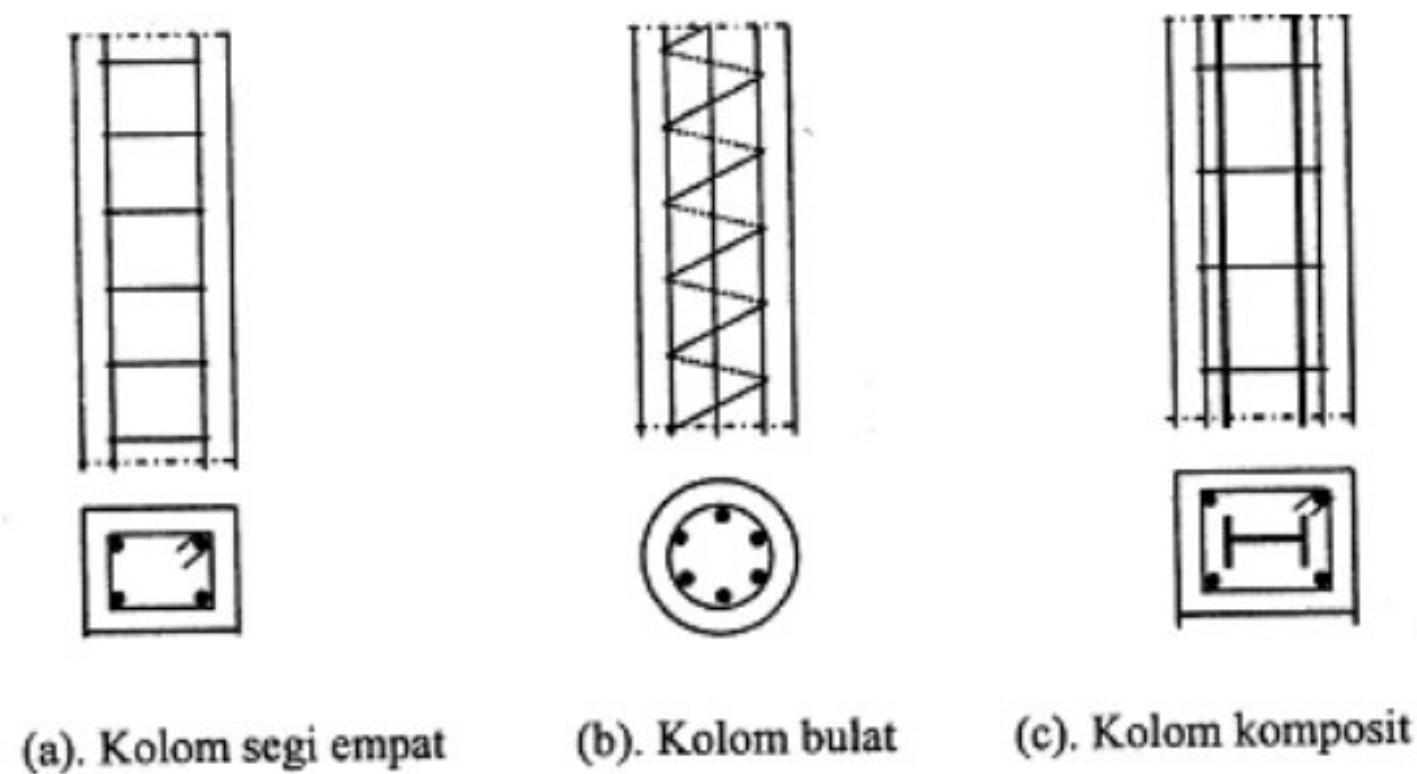
Dalam buku struktur beton bertulang (Istimawan dipohusodo, 1994) ada tiga jenis kolom beton bertulang yaitu:

- a Kolom ikat (*tie column*)
- b. Kolom spiral (*spiral column*)
- c. Kolom komposit (*composite column*)

Adapun penjelasan dari masing-masing kolom diatas sebagai berikut:

- a) Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya. Ditunjukkan dalam **gambar 2.1 (a)**.
- b) Kolom menggunakan pengikat spiral Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom. Fungsi dari tulangan spiral adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh, sehingga mampu mencegah terjadinya kehancuran seluruh struktur sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud. Ditunjukkan pada **gambar 2.1 (b)**.

- c) Struktur kolom komposit ditunjukkan pada **gambar 2.1 (c)**. Merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang. (Istimawan dipohusodo, 1994)



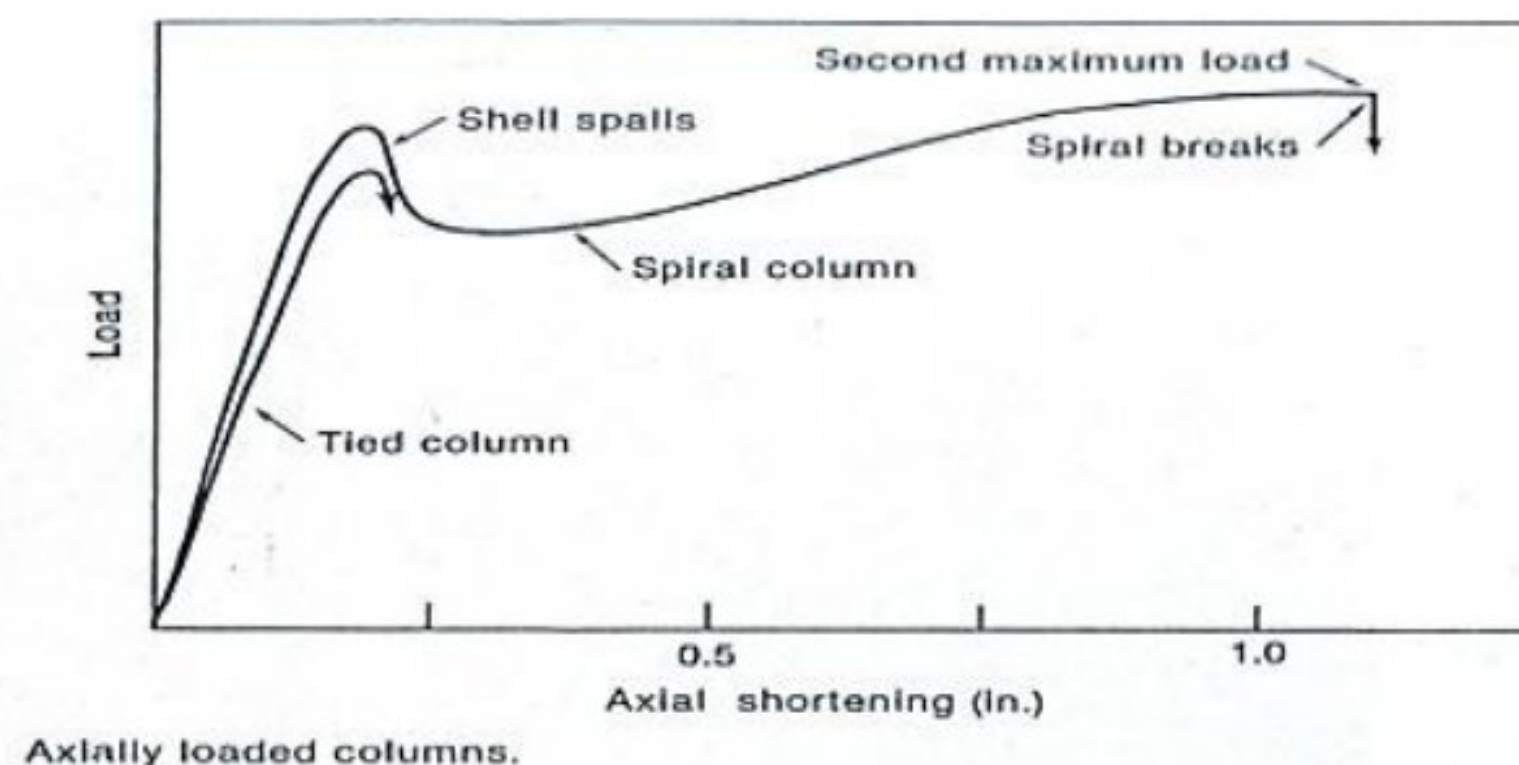
Gambar 2.1 Jenis - Jenis Kolom
(sumber : Nawy, P.E. 2016)

2) Perilaku Kolom Senggang Persegi dan Spiral

Tulangan sengkang pada kolom berfungsi mencegah tulangan longitudinal menekuk keluar dan menahan ekspansi lateral beton inti akibat menerima beban aksial. Pada kolom sengkang persegi, tulangan sengkang mempunyai jarak tertentu yang berarti juga merupakan jarak sokongan tulangan longitudinal, apabila kolom persegi diberi beban aksial sampai runtuh, mula-mula beton pembungkus (beton diluar tulangan sengkang) akan pecah (gompal) dan setelah itu tulangan longitudinal akan menekuk keluar karena beton pembungkus (yang berfungsi sebagai sokongan lateral) sudah hancur, tulangan sengkang juga akan bengkok keluar karena beton mengalami ekspansi keluar akibat beban aksial, yang pada akhirnya akan menyebabkan kolom runtuh, kejadian ini seringkali terjadi tiba-tiba pada struktur kolom persegi. (Nawy, P.E. 2016)

Sedangkan apabila kolom spiral dibebani aksial sampai runtuh, perilaku keruntuhan berbeda dengan kolom persegi dan relatif lebih baik. Ketika beton pembungkus mulai pecah (gompal), kolom tidak runtuh tiba-tiba, karena kekuatan beton inti masih bisa memberikan kontribusi menahan beban akibat sokongan tulangan spiral (Ditunjukkan pada **gambar 2.1**), yang selanjutnya kolom akan

berdeformasi lebih lanjut sampai tulangan longitudinal leleh dan kolom runtuh. Gompal pada pembungkus beton sebagai peringatan akan terjadi keruntuhan kolom apabila beban terus bertambah, walaupun beton inti masih dapat sedikit memikul beban lagi sampai akhirnya runtuh. Hal ini menjadikan kolom spiral lebih daktail (runtuh bertahap) dibanding kolom persegi. Ditunjukkan pada **Gambar 2.2**



Gambar 2. 2 Keruntuhan Kolom Persegi dan Spiral
(Sumber : P.E. 2016)

Kolom bersengkang merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena pengerjaan yang mudah dan murah dalam pembuatannya. Walaupun demikian kolom segi empat maupun kolom bundar dengan penulangan spiral kadang kadang digunakan juga, terutama untuk kolom yang memerlukan daktilitas cukup tinggi untuk daerah rawan gempa. Pembagian tulangan pada kolom berpenampang persegi dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu pertama tulangan dipasang simetris pada dua sisi penampang, tegak lurus terhadap arah lentur dan $A_s = A'_s = 0,5 A_{st}$, sedangkan cara keduanya tulangan dibagi sama rata pada sisi penampang dengan $A_s = A'_s = A_{st} = 0,25 A_{st}$.

Penggunaan grafik terutama disarankan untuk penulangan pada seluruh sisi kolom dengan eksentrisitas yang pendek, berarti beban aksial relatif besar dan momen relatif kecil. Pada sumbu vertikal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\frac{P_u}{\phi A_{gr} \times 0,85 \times f_c} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

P_u = Gaya Aksial terfaktor kolom

A_g = Luas bruto penampang

r = Besaran kedua sumbu

ϕ = Faktor reduksi kekuatan (Nawy, P.E. 2016)

f_c = Kuat tekan beton (MPa)

Pada sumbu horizontal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\frac{P_u}{\phi A_{gr} \times 0,85 \times f_c} \left(\frac{e_t}{h} \right) \dots \dots \dots (2.24)$$

Keterangan :

e_t = Eksentrisitas gaya terhadap sumbu

h = Tebal atau tinggi total komponen

Dalam et telah diperhitungkan eksentrisitas yang dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini:

$$e = \frac{M_u}{P_u} \dots \dots \dots (2.25)$$

Keterangan:

E = Eksentrisitas

M_u = Momen terfaktor

h = Tebal atau tinggi total komponen

Besaran pada kedua sumbu dapat dihitung dan ditentukan, kemudian nilai suatu r dapat dibaca. Penulangan yang diperlukan adalah $\beta \cdot r$, dengan β bergantung pada mutu beton. Untuk kolom diperkenankan menganggap faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,65$ sedangkan untuk harga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$P_u < 0,10 A_{gr} f_c \dots \dots \dots (2.26)$$

Untuk kolom dengan sengkang sebagai pengikatnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini

$$\phi = 0,80 - \frac{0,20 \phi P_n}{0,1 f_c A_g} 0,65 \dots \dots \dots (2.27)$$

Keterangan:

P_n = Gaya aksial nominal

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

$$P_n = \frac{A_s f_y}{\frac{e}{(d-d')} + 0,5} + \frac{b h f_c}{\frac{3 h e}{d^2} + 1,18} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana :

A_s = Luas tulangan persisi

f_y = mutu baja

d = tinggi kolom dikurangi asumsi selimut beton

d' = asumsi selimut beton

$b=h$ = lebar dan tinggi kolom beserta selimut beton

Dengan menggunakan baja tulangan yang sudah ditentukan, jarak sengkang ditentukan nilai terkecil dari ketentuan-ketentuan berikut ini:

1. 16 kali diameter tulangan pokok memanjang
2. 48 kali diameter tulangan sengkang
3. Dimensi terkecil kolom

2.4.2 Balok

Balok adalah bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser.

A. Fungsi Balok Fungsi balok antara lain :

- 1) Meneruskan beban dinding ke kolom
- 2) Sebagai pengikat kolom
- 3) Menambah kekuatan lentur plat
- 4) Menambah kekuatan horizontal pada struktur

B. Jenis – jenis Balok

Beberapa jenis balok antara lain:

1. Balok sederhana bertumpu pada kolom di ujung ujungnya, dengan satu ujung bebas berotasi dan tidak memiliki momen tahan. Seperti struktur statis lainnya, nilai dari semua reaksi, pergeseran dan momen untuk balok sederhana adalah tidak tergantung bentuk penampang dan materialnya.
2. Kantilever adalah balok yang diproyeksikan atau struktur kaku lainnya didukung hanya pada satu ujung tetap.
3. Balok teritisan adalah balok sederhana yang memanjang melewati salah satu kolom tumpuannya.
4. Balok dengan ujung-ujung tetap (dikaitkan kuat) menahan translasi dan rotasi. (Indriani,2024)
5. Bentangan tersuspensi adalah balok sederhana yang ditopang oleh teristisan dari dua bentang dengan konstruksi sambungan pin pada momen nol.
6. Balok kontinu memanjang secara menerus melewati lebih dari dua kolom tumpuan untuk menghasilkan kekakuan yang lebih besar dan momen yang lebih kecil dari serangkaian balok tidak menerus dengan panjang dan beban yang sama.

C. Perencanaan Tulangan pada Balok

a. Momen

Perhitungan momen dan gaya aksial pada balok dan kolom diselesaikan menggunakan *software STAAD.Pro 2023*.

b. Luas Tulangan (As)

1. Mengubah beban atau momen yang bekerja menjadi beban rencana (W_u) atau momen rencana (M_u) termasuk berat sendiri.
2. Berdasarkan h yang diketahui, maka diperkirakan d dengan menggunakan hubungan $d=h-80$ mm, dan kemudian hitunglah k yang diperlukan memakai persamaan berikut ini:

$$K = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots \dots \dots (2.29)$$

Keterangan:

K = Faktor panjang efektif komponen struktur tekan

Mu = Momen terfaktor

ϕ = Lebar (m)

b = Faktor reduksi kekuatan

d = Tinggi efektif (m)

3. Menentukan rasio penulangan berdasarkan tabel luas penampang tulangan baja.

4. Menghitung As yang diperlukan dengan persamaan berikut ini:

$$A_s = p b d \dots \dots \dots (2.30)$$

Keterangan:

As = Luas tulangan persisi

p = Selimut beton

b = lebar balok (Indriani,2024)

d = Tinggi efektif penampang balok

- c. Merencanakan dimensi penampang dan As

1. Memilih rasio penulangan yang diperlukan berdasarkan tabel, kecuali bila dimensi balok terlalu kecil atau memang dikehendaki pengurangan penulangannya yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_{min} \leq p \leq P_{max} \dots \dots \dots (2.31)$$

Keterangan:

P_{min} = Rasio tulangan minimum

P_{max} = Rasio tulangan maksimum

2. Memperkirakan b dan kemudian menghitung d yang diperlukan menggunakan persamaan berikut ini:

$$d_{perlu} = \sqrt{\frac{M_u}{\phi b k}} \dots \dots \dots (2.32)$$

Keterangan:

d = Tinggi efektif penampang balok

M_u = Momen terfaktor

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

d. Perencanaan tulangan geser

- 1) Untuk komponen-komponen struktur yang menahan geser dan lentur, SK SNI 03 2847-2019 memberikan kapasitas kemampuan beton untuk menahan gaya geser adalah V_c yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_c = \left(\sqrt{\frac{f_u}{6}}\right) b_w d \dots \dots \dots (2.33)$$

Keterangan:

V_c = Kuat geser nominal

F_u = Tegangan Tarik

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} \dots \dots \dots (2.34)$$

Keterangan:

V_c = Kuat geser nominal

V_u = Gaya geser terfaktor (Indriani,2024)

- 2) Berdasarkan SNI 03-2847-2019 koefisien reduksi (ϕ) = 0,75 dengan M_u adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan gaya geser terfaktor maksimum V_u pada penampang kritis, sedangkan batas atas faktor pengali dan V_c yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$\frac{V_u}{M_u} \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.35)$$

Keterangan:

V_u = Gaya geser terfaktor

M_u = Momen terfaktor

$$V_c \leq (0,30 \sqrt{f'c}) b_w d \dots \dots \dots (2.36)$$

Keterangan:

V_c = Kuat geser nominal

$F'c$ = Kuat tekan beton

- 3) Untuk sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur maka dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$A_s = \frac{A_s f_y d}{s} \dots \dots \dots (2.37)$$

Keterangan:

A_s = Luas tulangan tarik
 F_y = Tegangan leleh baja
 S = Spasi tulangan geser

2.4.3 Pelat Lantai

Pelat lantai adalah lantai yang tidak terletak di atas tanah langsung, merupakan lantai tingkat pembatas antara tingkat yang satu dengan tingkat yang lain. Pelat lantai didukung oleh balok-balok yang bertumpu pada kolom-kolom bangunan. Ketebalan pelat lantai ditentukan oleh :

- Besar lendutan yang diinginkan.
- Lebar bentangan atau jarak antara balok-balok pendukung.
- Bahan material konstruksi dan pelat lantai.

Pelat lantai harus direncanakan kaku, rata, lurus dan *waterpass* (mempunyai ketinggian yang sama dan tidak miring), pelat lantai dapat diberi sedikit kemiringan untuk kepentingan aliran air. Ketebalan pelat lantai ditentukan oleh : beban yang harus didukung, besar lendutan yang diijinkan, lebar bentangan atau jarak antara balok-balok pendukung, bahan konstruksi dari pelat lantai. (Widiyastuti,2023)

Pelat lantai merupakan suatu struktur solid tiga dimensi dengan bidang permukaan yang lurus, datar dan tebalnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan dimensinya yang lain. Struktur pelat bisa saja dimodelkan dengan elemen 3 dimensi yang mempunyai tebal h , panjang b , dan lebar a . Adapun fungsi dari pelat lantai adalah untuk menerima beban yang akan disalurkan ke struktur lainnya.

Pada pelat lantai merupakan beton bertulang yang diberi tulangan baja dengan posisi melintang dan memanjang yang diikat menggunakan kawat bendrat, serta tidak menempel pada permukaan pelat baik bagian bawah maupun atas. Adapun ukuran diameter, jarak antar tulangan, posisi tulangan tambahan bergantung pada

bentuk pelat, kemampuan yang diinginkan untuk pelat menerima lendutan yang diijinkan. (Widiyastuti,2023)

1. Fungsi Plat Lantai

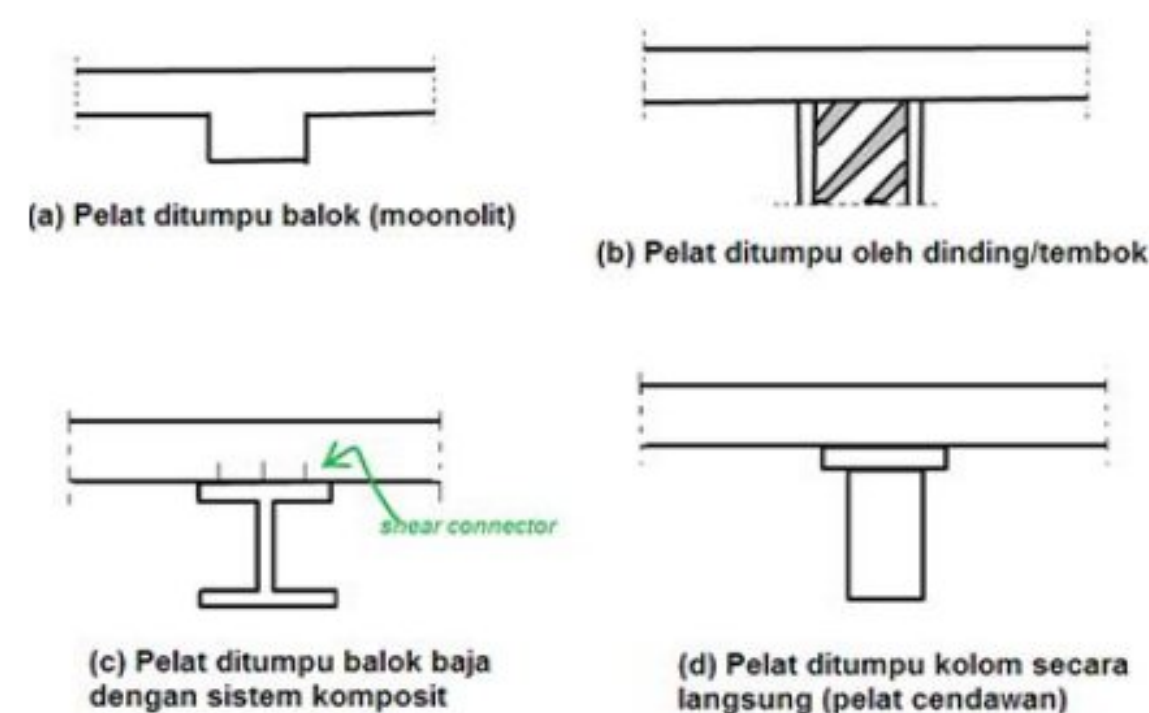
Adapun fungsi pelat lantai adalah sebagai berikut:

- Sebagai pemisah ruang bawah dan ruang atas.
- Sebagai tempat berpijak penghuni di lantai atas.
- Untuk menempatkan kabel listrik dan lampu pada ruang bawah.
- Meredam suara dari ruang atas maupun dari ruang bawah.
- Menambah kekakuan bangunan pada arah horizontal.

2. Jenis – jenis Pelat Lantai

Ada berbagai jenis pelat lantai berdasarkan tumpuannya, peletakannya dan sistem penulangannya ditunjukkan pada **Gambar 2.3**. Jenis – jenis plat lantai berdasarkan tumpuannya adalah:

- Monolit, yaitu pelat dengan balok cor bersama-sama sehingga menjadi satu kesatuan. (ditunjukkan pada **Gambar 2.3 (a)**)
- Ditumpu dinding-dinding atau tembok bangunan. (ditunjukkan pada **Gambar 2.3 (b)**)
- Didukung oleh balok-balok baja dengan sistem komposit. (ditunjukkan pada **Gambar 2.3 (c)**)
- Didukung oleh kolom secara langsung tanpa balok (ditunjukkan pada **Gambar 2.3 (d)**), dikenal dengan pelat cendawan. (Widiyastuti,2023)



Gambar 2. 3 Jenis Pelat Berdasarkan Tumpuan
(Sumber : Hermawan 1/beton-bertulang)

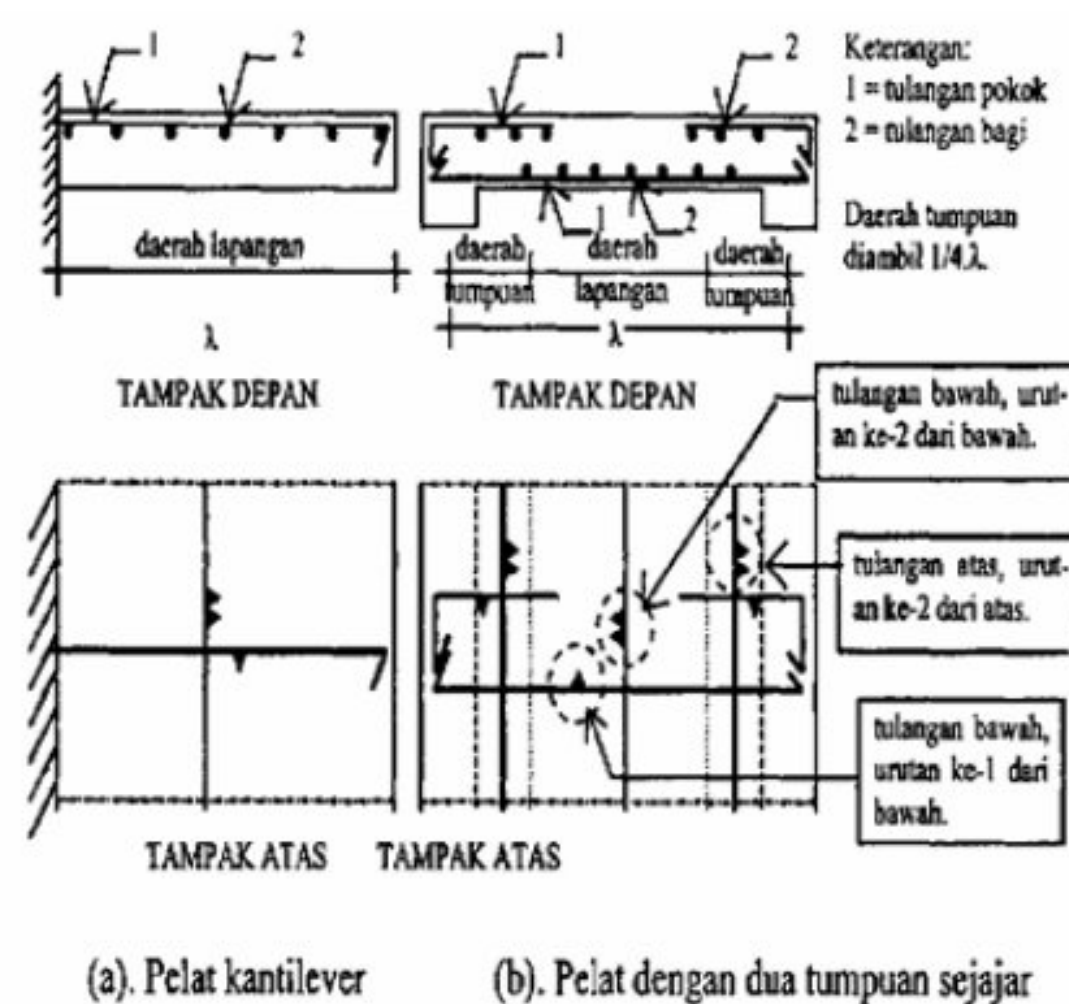
Jenis – jenis pelat lantai berdasarkan system penulangannya adalah:

a. Penulangan pelat satu arah (*one way slab*)

Konstruksi pelat satu arah dengan tulangan pokok satu arah ini akan dijumpai jika plat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. Contoh pelat satu arah adalah pelat Kantilever (Luifel) dan pelat yang ditumpu oleh 2 tumpuan sejajar.

b. Penulangan pelat dua arah (*two way slab*)

Konstruksi pelat dua arah dengan tulangan pokok dua arah ini akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah. Pada tinjauan plat lantai ini sistem penulangan pelat yang dipakai adalah pelat dua arah ini. Contoh pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu oleh 4 sisi yang saling sejajar seperti pada proyek Pembangunan Gedung Pelayanan Keperawatan Gigi Poltekkes Kemenkes Padang ini. Ditunjukkan dengan **Gambar 2.4.** (Widiyastuti,2023)



Gambar 2. 4 Jenis Pelat Berdasarkan Penulangannya

(Sumber : Hermawan 1/beton-bertulang)

3. Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai direncanakan berdasarkan persyaratan ketebalan minimum dengan bantuan tebal minimum h dan ditambah dengan hasil dari faktor pengali

bila memakai beton yang lain dari $f_y = 400$ MPa yaitu sesuai dengan persamaan berikut:

$$0,4 + \frac{f_y}{700} \dots \dots \dots (2.38)$$

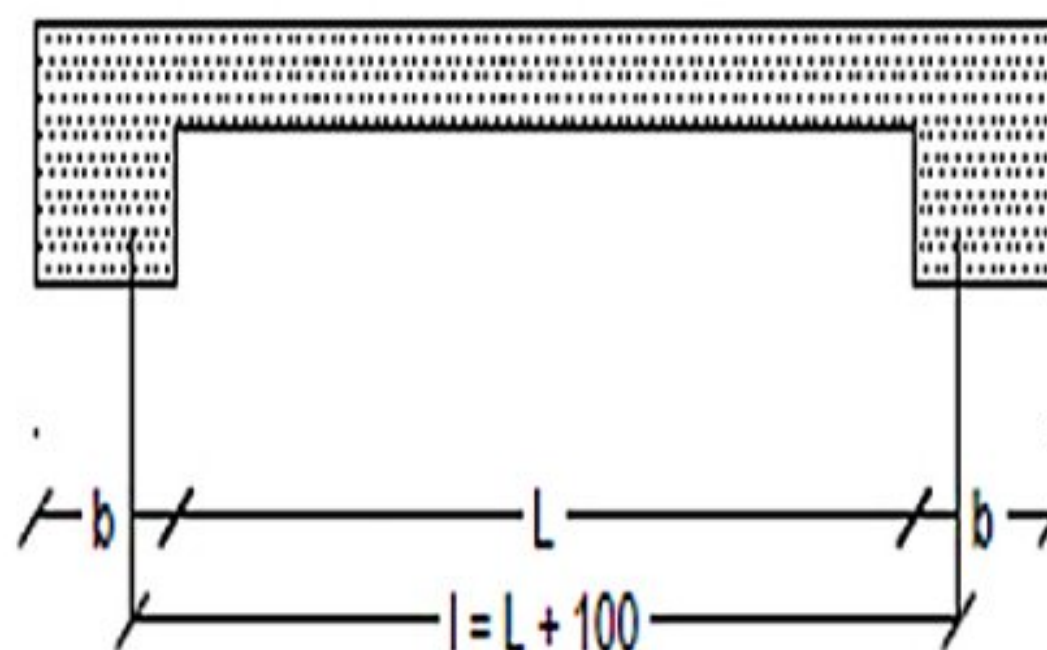
Dalam perhitungan perencanaan pelat beton bertulang digunakan pengertian bentang teoritis yang dinyatakan dengan l . Nilai ini dianggap sama dengan bentang bersih L antara kedua bidang permukaan tumpuan ditambah dengan setengah panjang perletakan a pada setiap ujung. Bila lebar balok lebih dari dua kali tebal keseluruhan pelat, dianggap $l = L + 100$ (seperti **Gambar 2.4**). Jika perletakan pelat beton bertulang dibuat dari bahan yang lain dengan beton bertulang, sesuai ketentuan untuk bentang $l = l + h$, dengan L adalah bentang bersih dan h tebal total pelat. Apabila $(L+h)$ lebih besar dari jarak pusat ke pusat tumpuan, maka l boleh diambil jarak ke pusat tersebut seperti tampak pada **Gambar (2.5)**. Dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut: (Vis-Kusuma, 1993)

$$l = L + (2 \times \frac{1}{2}) b \dots \dots \dots (2.39)$$

Keterangan:

L = Panjang bentang

b = Lebar daerah komponen



Gambar 2. 5 Bentang Teoritis Monolit
(Sumber : Vis-Kusuma, 1993)

Menurut Vis-Kusuma, 1993 dengan memperkirakan batang tulangan yang akan dipakai sebagai tulangan tarik pokok dan selimut beton berdasarkan tebal minimum penutup beton pada tulangan terluar dalam mm maka nilai d dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$d = h - p - \frac{1}{2} \phi p \dots \dots \dots (2.40)$$

Keterangan:

d = tebal selimut beton
h = tinggi pelat
p = beban terpusat
 ϕ = faktor reduksi kekuatan

Perencanaan menggunakan $M_u = M_R$ sebagai limit (batas) dengan $M_R = \emptyset$
bd2 k, maka dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_{perlu} = \frac{M_u}{\phi b d} \dots \dots \dots (2.41)$$

Keterangan:

K = faktor Panjang efektif komponen struktur tekan
 M_u = Momen terfaktor
 ϕ = 0,8

Dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dihitung rasio baja ρ yang diperlukan, dan dengan demikian dapat dihitung pula A_s yang diperlukan yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_s = \rho_{min} b d \cdot 10^6 \dots \dots \dots (2.42)$$

Keterangan:

A_s = rasio tulangan
 ρ_{min} = rasio tulangan minimum
b = lebar (mm) (Vis-Kusuma, 1993)

2.5 Material

Pada umumnya pada saat sekarang ini terutama untuk gedung, material yang dipakai dalam konstruksi gedung hanya terdiri dari beton dan baja saja.

2.5.1 Beton

Menurut SNI 2847:2019, beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Bahan –bahan dasar beton, yaitu :

1. Air
2. Semen – Portland
3. Agregat (pasir dan kerikil)

yang setelah dicampur merata (warnanya seragam) menghasilkan suatu campuran yang plastis (antara cair dan padat) sehingga dapat dituang ke dalam cetakan, untuk membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi keras / padat.

1) Sifat dan Karakteristik Beton

Sifat dan karakteristik beton antara lain sebagai berikut:

- Beton mempunyai tegangan tekan yang tinggi.
- Sayangnya, tegangan tarik yang dimiliki oleh beton sangat rendah.
- Beton juga tidak bisa diterapkan pada konstruksi yang menahan momen lengkung.
- Jika dipaksakan memikul gaya tarik, beton akan mengalami keretakan.
- Kekuatan beton dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang dipakai.
- Beton akan mencapai kekuatan penuh setelah berumur 28 hari.
- Beton merupakan material murah yang bisa dimanfaatkan untuk menahan beban tekan.
- Beton memiliki tingkat kekakuan yang tinggi.
- Beton mempunyai daya ketahanan yang baik terhadap api.
- Beton tidak terlalu membutuhkan perawatan yang intensif.
- Seiring berjalannya waktu, beton akan mengalami pengurangan volume akibat susut dan rangkai.
- Beton adalah bahan bangunan yang memiliki bobot termasuk sangat berat.
- Struktur yang terbuat dari beton mampu bertahan hingga mencapai lebih dari 50 tahun.
- Pada masa perkerasan, beton rentan sekali mengalami keretakan.

- Tulangan baja yang ditanamkan dalam beton akan meningkatkan kekuatan tariknya (SNI 2847:2019)

2.5.2 Mutu Beton

Menurut Mulyono, 2004 Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton menurut SNI adalah:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.43)$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

A = luas bidang desak benda uji (mm²)

P = beban tekan (N)

mutu beton ditunjukkan pada **Tabel 2.1** :

Tabel 2. 1 Mutu Beton

Mutu Beton	f'_c	Mpa
15	15	175
20	20	225
25	25	300
30	30	350
35	35	400

(Sumber : PBI 1971 N.I -2 ke SNI 03-2847-2019 satuan dan benda uji beton)

2.5.3 Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan baja yang dipakai dalam konstruksi beton atau yang lebih dikenal konstruksi beton bertulang. Beton kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya

tarik.(Satria,2023)

1. sifat fisik baja tulangan

Sifat fisik batang tulangan baja yang penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan leleh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s). Tegangan leleh baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar sesuai SII 0136-84. Tegangan leleh adalah tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan, tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Modulus elastisitas baja ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan – regangan di daerah elastis. Ketentuan SNI 03-2846-2002 menetapkan nilai $E_s = 200.000 \text{ MPa}$. (Satria,2023)

Baja tulangan untuk konstruksi beton bertulang ada bermacam macam jenis dan mutu tergantung dari pabrik yang membuatnya. Ada dua jenis baja tulangan , tulangan polos (*Plain bar*) dan tulangan ulir (*Deformed bar*). Sebagian besar baja tulangan yang ada di Indonesia berupa tulangan polos untuk baja lunak dan tulangan ulir untuk baja keras. Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami keretakan. Oleh karena itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam sistem struktur, beton perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang berfungsi menahan gaya tarik. (Satria,2023)

Penulangan beton menggunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis yang kuat menahan gaya tarik. Baja beton yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran atau kawat rangkai las (*wire mesh*) yang berupa batang-batang baja yang dianyam dengan teknik pengelasan. Baja beton dikodekan berurutan dengan: huruf BJ, TP dan TD.

BJ berarti Baja

TP berarti Tulangan Polos

TD berarti Tulangan Deformasi (Ulir). (Satria,2023)

Angka yang terdapat pada kode tulangan menyatakan batas leleh karakteristik yang dijamin. Baja beton BJTP 24 dipasok sebagai baja beton polos, dan bentuk dari baja beton BJTD 40 adalah *deform* atau dipuntir . Baja beton yang dipakai dalam bangunan harus memenuhi norma persyaratan terhadap metode pengujian dan pemeriksaan untuk bermacam macam mutu baja beton menurut

Tabel 2.2 :**Tabel 2. 2 Mutu Baja**

Simbol mutu	Tegangan leleh Min. (kN/cm ²)	Kekuatan tarik Min. (kN/cm ²)	Perpanjangan Min. (%)
BJTP - 24	24	39	24
BJTP - 30	30	45	20
BJTD - 35	35	50	20
BJTD - 40	40	57	16

(Sumber : SNI Baja Tulangan Beton Tahun 2019)

SNI menggunakan simbol BJTP (Baja Tulangan Polos) dan BJTD (Baja Tulangan Ulir). Baja tulangan polos yang tersedia mulai dari mutu BJTP -24 hingga BJTP – 30, dan baja tulangan ulir umumnya dari BJTD – 30 hingga BJTD 40. Angka yang mengikuti simbol ini menyatakan tegangan leleh karakteristik materialnya. Sebagai contoh BJTP – 24 menyatakan baja tulangan polos dengan tegangan leleh material 2400 kg/ cm² (240 MPa). (Satria,2023)

Secara umum berdasarkan SNI 03-2847-2002 tentang Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, baja tulangan yang digunakan harus tulangan ulir. Baja polos diperkenankan untuk tulangan spiral atau tendon. Di samping mutu baja beton BJTP 24 dan BJTD 40 seperti yang ditabelkan itu, mutu baja yang lain dapat juga spesial dipesan (misalnya BJTP 30). Tetapi perlu juga diingat, bahwa waktu didapatnya lebih lama dan harganya jauh lebih ma

hal. Guna menghindari kesalahan pada saat pemasangan, lokasi penyimpanan baja yang spesial dipesan itu perlu dipisahkan dari baja Bj.Tp 24 dan Bj.Td 40 yang umum dipakai. Sifat-sifat fisik baja beton dapat ditentukan melalui pengujian tarik. Sifat fisik tersebut adalah: kuat tarik (f_y) ,batas luluh/leleh, regangan pada beban maksimal, modulus elastisitas (konstanta material), (E_s). (Satria,2023)

2.5.4 Tulangan Polos

Baja tulangan ini tersedia dalam beberapa diameter, tetapi karena ketentuan SNI hanya memperkenankan pemakaiannya untuk sengkang dan tulangan spiral, maka pemakaiannya terbatas. Saat ini tulangan polos yang mudah dijumpai adalah hingga diameter 16 mm, dengan panjang 12 m ditunjukkan pada **Tabel 2.3** :

Tabel 2. 3 Baja Tulangan Polos

Diameter(mm)	Berat (kg / m)	Keliling (cm)	Luas penampang (cm^2)
10	0,617	3,14	0,785
13	1,04	4,08	1,33
16	1,58	5,02	2,01
19	2,23	5,96	2,84
22	2,98	6,91	3,80
25	3,85	7,85	4,91
32	6,31	10,05	8,04
36	7,99	11,30	10,20
40	9,87	12,56	12,60

(Sumber : SNI Baja Tulangan Beton tahun 2019)

2.5.5 Tulangan Ulir

Ketentuan Baja Tulangan Ulir sesuai SNI yang ada maka akan ditunjukkan pada **Tabel 2.4** :

Tabel 2. 4 Baja Tulangan Ulir

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Keliling (cm)	Luas penampang (cm^2)
10	0,617	3,14	0,785

13	1,04	4,08	1,33
16	1,58	5,02	2,01
19	2,23	5,96	2,84
22	2,98	6,91	3,80
25	3,85	7,85	4,91
32	6,31	10,05	8,04
36	7,99	11,30	10,20
40	9,87	12,56	12,60

(sumber : SNI Baja tulangan beton 2019)

Berdasarkan SNI, baja tulangan ulir lebih diutamakan pemakaiannya untuk batang tulangan struktur beton. Hal ini dimaksudkan agar struktur beton bertulang tersebut memiliki keandalan terhadap efek gempa, karena akan terdapat ikatan yang lebih baik antara beton dan tulangannya.

2.6 Analisis Gempa

Prosedur analisis yang paling sederhana dan yang langsung dapat digunakan untuk menentukan pengaruh dari beban gempa terhadap struktur bangunan adalah prosedur analisis statik. Analisis statik hanya boleh dilakukan untuk struktur-struktur bangunan dengan bentuk yang sederhana dan beraturan atau simetris, yang tidak menunjukkan perbandingan yang mencolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan pada tingkat-tingkatnya. Prosedur analisis statik ini hanyalah suatu cara pendekatan yang menirukan pengaruh dinamik dari beban gempa yang sesungguhnya. Untuk struktur-struktur bangunan gedung lainnya yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan perilakunya terhadap pengaruh gempa (struktur dengan bentuk yang tidak beraturan), harus di analisis dengan prosedur analisis dinamik.

Struktur-struktur bangunan yang beraturan, dapat juga dianalisis dengan prosedur analisis dinamik jika diinginkan. (Satria,2023)

1) Pengaruh Beban Gempa Horizontal

Pengaruh beban gempa horizontal dapat bekerja pada masing-masing arah dari sumbu utama bangunan, atau pada kedua arah sumbu utama dari struktur bangunan secara bersamaan. Pengaruh bekerjanya beban gempa secara bersamaan pada kedua arah sumbu utama, dapat sangat membahayakan kekuatan struktur. Kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau untuk merencanakan kekuatan dari kolom-kolom struktur adalah : Beban gravitasi + 100% beban gempa arah X + 30% beban gempa arah Y Beban gravitasi + 30% beban gempa arah X + 100% beban gempa arah Y Kombinasi pembebanan yang menghasilkan keadaan yang paling berbahaya bagi kolom-kolom struktur dan elemen-elemen vertikal struktur penahan gempa seperti dinding geser (*shear wall*), dinding inti (*core wall*), yang digunakan untuk perencanaan. (Tanjung,2023)

2) Pengaruh Beban Gempa Vertikal

Selain percepatan gerakan tanah pada arah horizontal, pada saat terjadi gempa terdapat juga percepatan gerakan tanah berarah vertikal. Gerakan tanah kearah vertikal ini dapat mengakibatkan pengaruh beban gempa berarah vertikal yang bekerja pada struktur bangunan. Meskipun dari beberapa pengalaman gempa menunjukkan mekanisme ini, tapi sampai saat ini respon dari struktur bangunan terhadap gerakan tersebut belum banyak diketahui. (Tanjung,2023)

3) Pengaruh Beban Gravitasi Vertikal

Beban gravitasi vertikal pada struktur bangunan dapat terdiri dari kombinasi antara beban mati dan beban hidup. Beban-beban hidup yang bekerja pada struktur bangunan pada umumnya dapat direduksi pada saat dilakukan analisis beban gempa pada struktur tersebut, tujuan mereduksi beban hidup ini adalah untuk mendapatkan desain struktur yang cukup ekonomis. (Tanjung,2023)

2.7 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa dirancang untuk meminimalkan kerusakan struktural dan non-struktural saat terjadi gempa bumi. Tujuannya bukan hanya menjaga bangunan tetap berdiri, tetapi juga melindungi jiwa penghuninya. Konsep ini sangat

penting di daerah rawan gempa seperti Indonesia, Jepang, dan sebagian besar wilayah Cincin Api Pasifik.

Langkah awal dalam merancang bangunan tahan gempa adalah melakukan analisis risiko seismik di lokasi konstruksi. Data ini mencakup frekuensi gempa, kekuatan maksimum yang mungkin terjadi, serta karakteristik tanah. Dengan informasi ini, insinyur dapat menentukan gaya lateral maksimum yang harus ditahan oleh struktur.

Desain arsitektur berperan penting dalam ketahanan gempa. Bangunan dengan bentuk simetris dan massa yang terdistribusi merata lebih tahan terhadap gaya gempa. Menghindari bentuk L, T, atau desain yang terlalu kompleks akan meminimalkan titik-titik konsentrasi tegangan.

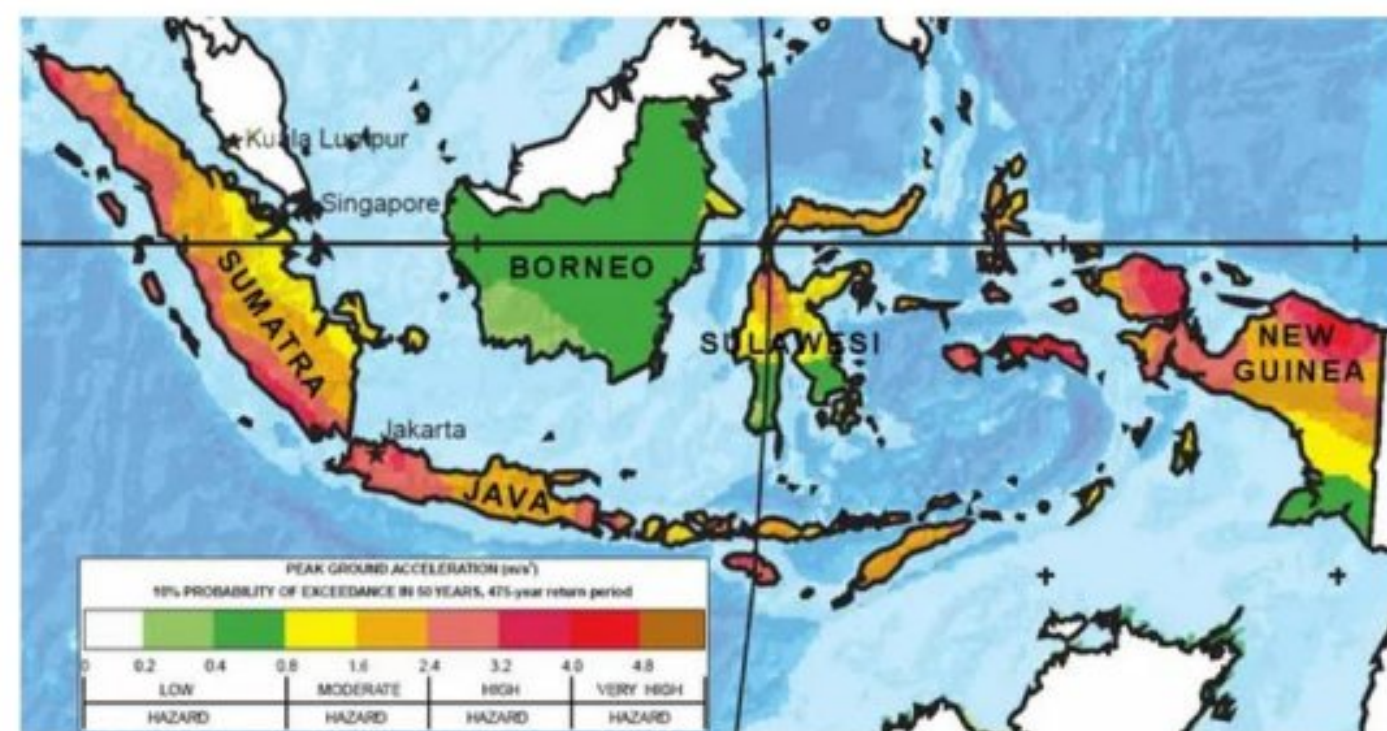
Material yang digunakan harus mampu menyerap energi gempa tanpa mengalami kegagalan struktural. Beton bertulang, baja struktural, dan material komposit sering dipilih karena memiliki kombinasi kekuatan dan fleksibilitas yang baik. Kualitas material juga harus memenuhi standar SNI atau internasional.

Struktur rangka bangunan harus mampu berdeformasi tanpa runtuh. Sistem rangka kaku dengan kolom dan balok yang saling terhubung diperkuat agar dapat menyalurkan gaya lateral ke tanah. Duktalitas tinggi penting agar struktur bisa “melentur” saat gempa terjadi, bukan patah secara tiba-tiba. Dinding geser adalah elemen vertikal yang sangat efektif dalam menahan gaya lateral akibat gempa. Biasanya terbuat dari beton bertulang dan ditempatkan di inti bangunan atau di sepanjang perimeter. Dinding ini menambah kekakuan lateral pada struktur.

Selain struktur, sistem evakuasi juga harus diperhatikan. Tangga darurat, pintu keluar, dan jalur evakuasi harus tetap bisa diakses pasca-gempa. Penerangan darurat dan rambu harus disediakan di lokasi strategis. Konsep bangunan tahan gempa tidak hanya bergantung pada teknologi dan material, tetapi juga kesadaran semua pihak—dari arsitek, insinyur, kontraktor hingga penghuni. Edukasi dan pelatihan mengenai prosedur darurat dan pemeliharaan bangunan sangat penting untuk memaksimalkan fungsi dari bangunan tahan gempa.

2.8 Peta Wilayah Gempa

Waktu getar alami fundamental dari struktur bangunan gedung ditentukan dengan rumus- rumus empirik atau didapat dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai waktu getar struktur yang dihitung dengan Rumus Rayleigh. Berdasarkan **Gambar 2.6** dan **Gambar 2.7** yaitu SNI 03-1726-2019, wilayah Kota Madiun termasuk ke dalam wilayah 3 dengan nilai percepatan gempa dasar yaitu 1,25 g.



Gambar 2. 6 Peta Wilayah Administrasi Provinsi Jawa Timur

(Sumber : Hasil Pengolahan 2021,Kajian Resiko Bencana Nasional 2022-2026)

149	JAWA TIMUR	KAB. TUBAN	3
150	JAWA TIMUR	KOTA MADIUN	3
151	JAWA TIMUR	KOTA MOJOKERTO	3
152	JAWA TIMUR	KOTA PASURUAN	3
153	JAWA TIMUR	KOTA PROBOLINGGO	3
154	JAWA TIMUR	KOTA SURABAYA	3

Gambar 2. 7 Kualifikasi Peta Wilayah Administrasi Provinsi Jawa Timur

(Sumber:Hasil Pengolahan 2021,Kajian Resiko Bencana Nasional 2022-2026)

Dengan memasukkan kelas situs SBC (batuan) untuk hasil faktor keutamaan = 1,0 dan kategori risiko III (SNI-1726-2019, pada halaman 24), maka dengan bantuan sistem penginputan data pada spektra Indonesia didapatkan Faktor amplifikasi yang ditampilkan pada **Tabel 2.5** :

Tabel 2. 5 Koefisien Situs Fa

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s < 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s > 1,25$	$S_s > 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS (a)					

Sumber : SNI 1726-2019

CATATAN :

SS (a) =Situs yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon spesifik situs

respon situs-spesifik dan untuk parameter respon spektral gempa maksimum terdapat pada **Tabel 2.6 :**

Tabel 2. 6 Koefisien Situs Fy

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, 1 pendek detik, S_1					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s = 1,25$	$S_s = 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS (a)					

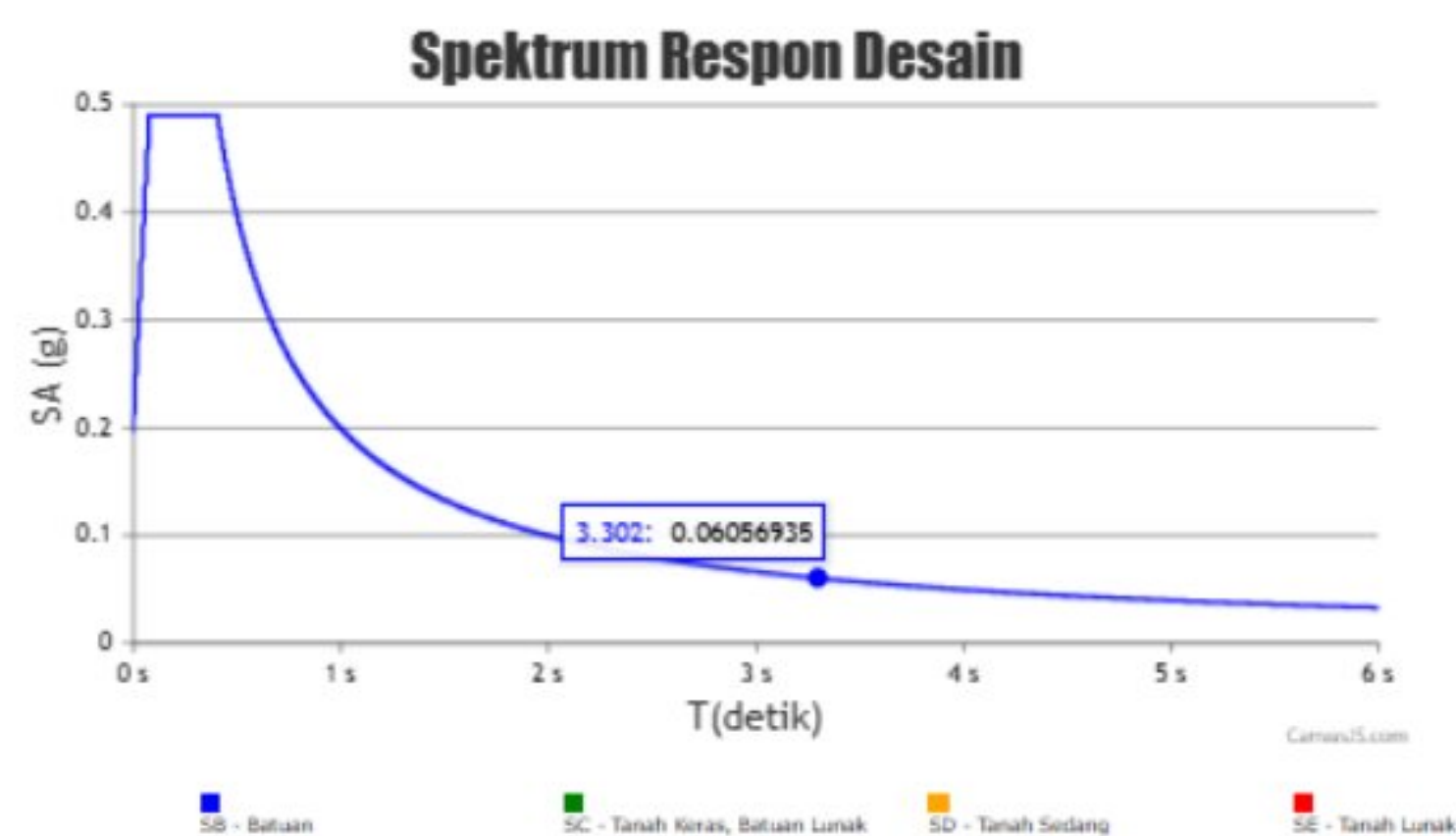
Sumber : SNI 1726-2019

CATATAN :

SS ^(a) =Situs yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon spesifik situs

- a. F_a (Faktor amplifikasi untuk periode pendek) : 0,9
- b. F_v (Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik) : 0,8
- c. Parameter Spektra desain didapatkan dengan Persamaan 2.44, 2.45, 2.46 dan 2.47 :
- d. $M_{MS} = F_a \times S_s$ (2.44)
- e. $M_{M1} = F_v \times S_s$(2.45)
- f. $S_{ds} = \frac{2}{3} \times M$(2.46)
- g. $S_{d1} = \frac{2}{3} \times M \times m1$(2.47)
- h. $M_{MS} = 0,52$
- i. $M_{M1} = 0,331$
- j. $S_{ds} = 0,39$ g (periode pendek)
- k. $S_{d1} = 0,19$ g (periode 1 detik)

maka kurva spektrum respon desain harus dibuat mengacu pada ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2. 8 Grafik Spektrum Respon Desain (Desain Spektra, 2019)
(sumber : SNI 1726 – 2019)

Berdasarkan desain parameter spektra diatas, tentu dapat dikategorikan Desain Seismik C. Jika spektrum respon desain dibutuhkan sesuai dengan metode

ini dan tidak menggunakan prosedur gerakan tanah khusus untuk situs tertentu, dan mengikuti ketentuan yang tercantum di bawah ini Pada **Tabel 2.11** menunjukkan periode pendek sedangkan periode 1 detik ditampilkan pada **Tabel 2.7** beserta kategori resiko bangunan Gedung dan non Gedung untuk beban gempa pada **Tabel 2.8** :

Tabel 2. 7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai Sps	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$Sps < 0,167$	A	A
$0,167 \leq Sps < 0,33$	B	C
$0,33 \leq Sps < 0,50$	C	D
$0,50 \leq Sps$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 2. 8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai Sp ₁	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$Sp_1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq Sp_1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq Sp_1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq Sp_1$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 2. 9 kategori resiko bangunan Gedung dan non Gedung untuk beban gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa , I _g
I atau II	1,00
III	1,25

IV	1,50
----	------

(Sumber : SNI 1726-2019)

Bagi periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon desain S_a perlu diambil dari persamaan yang relevan dihitung dengan pers. 2.48.

$$S_a = SDS (0,4 + 0,6 T/T_0) \dots \dots \dots (2.48)$$

- Jika periode sama atau lebih besar dari T_0 , tetapi lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain, S_{a1} , setara dengan SDS_1 .
- Apabila periode lebih besar dari T_s namun tetap lebih kecil atau sama dengan T_L , spektrum respon percepatan desain S_a akan menjadi pertimbangan. diambil berdasarkan Pers 2.49 :

$$S_a = S_{D1} / T \dots \dots \dots (2.49)$$

- Untuk periode lebih besar dari T_L , respon spektral percepatan desain, S_a diambil berdasarkan pers 2.50 :

$$S_a = S_{D1} \cdot T_1 / T^2 \dots \dots \dots (2.50)$$

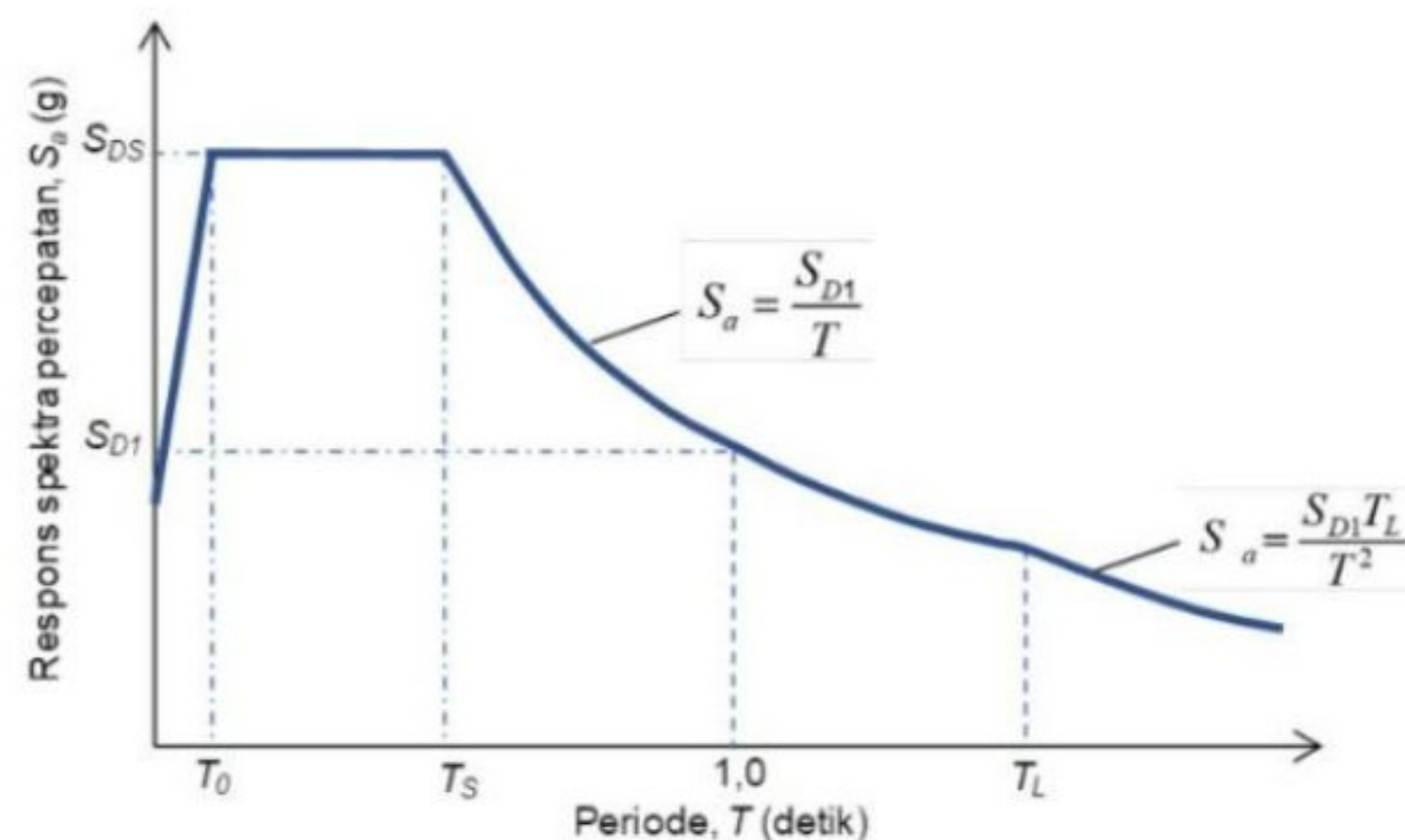
Keterangan:

SDS = parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

SD1 = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

T_L = **Gambar 2.9** menampilkan peta transisi untuk periode panjang.



Gambar 2. 9 Spektrum Respon Desain

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.9 Pembebanan

Pembebanan dapat terjadi dari beban konstruksi itu sendiri yang disebut dengan beban mati, dan juga beban orang atau benda benda yang dapat dipindahkan yang bersifat tidak permanen disebut beban hidup, sedangkan yang terjadi akibat gempa disebut beban gempa. Apabila beban beban tersebut terjadi secara bersamaan maka akan ditemukan kombinasi pembebanannya.

2.9.1 Beban Mati (Dead Load)

Beban mati adalah berat 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 layan terpasang lain termasuk berat keran. Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan gedung yang harus ditinjau dalam menentukan beban mati suatu gedung harus diambil dari tabel berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung berdasarkan SNI 1726- 2019 ditunjukkan pada **Tabel 2.14** :

Tabel 2. 10 Berat Sendiri Struktur (DL)

Nama	Berat
Berat jenis Beton bertulang	2400 kg/m ³
Adukan finishing lantai per 1cm spesi	21 kg/m ²
Berat jenis pasir beton	1800 kg/m ³
Berat Keramik per 1 cm tebal	24 kg/m ²
Berat plafond + penggantung	18 kg/m ²
Berat plafond	11 kg/m ²
Berat Mekanikal / Elektrikal	25 kg/m ²
Sanitasi	20 kg/m ²
Plumbing	20 kg/m ²

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.9.2 Beban Hidup

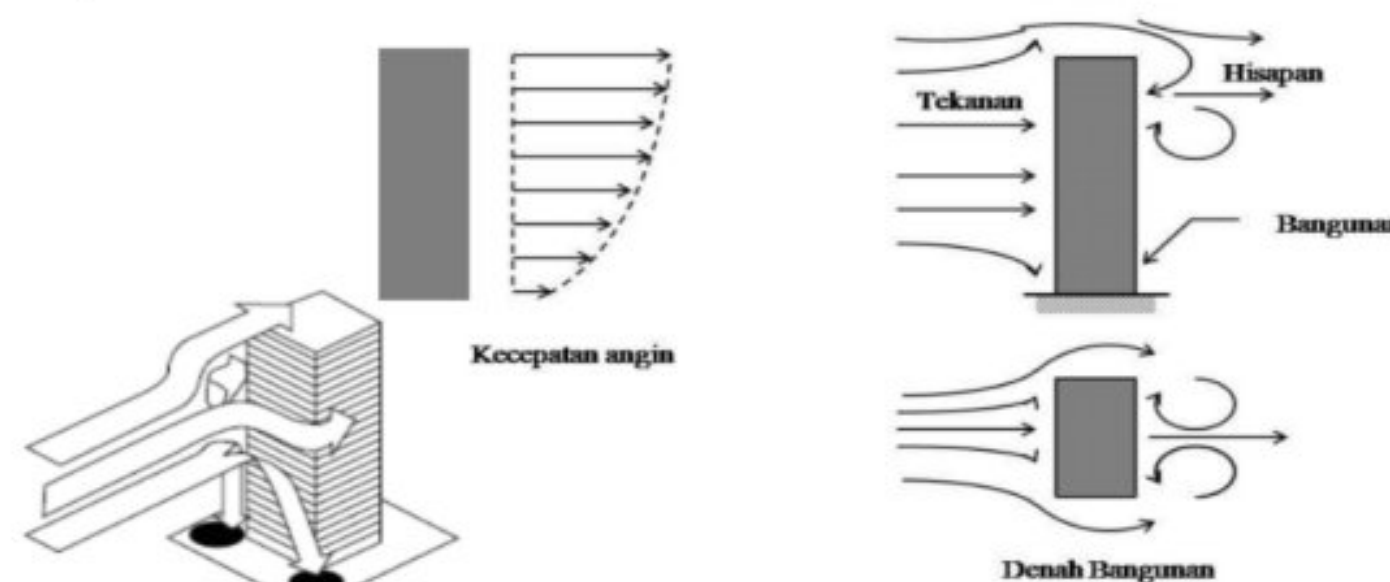
Beban hidup (*Live load*) adalah beban yang terjadi akibat fungsi pemakaian gedung seperti benda-benda pada lantai yang berasal dari barang- barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak dapat diganti (Hilmi,

2014). Beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) adalah beban hidup. (Sumber : SNI 1726-2019)

2.9.3 Beban Angin

Beban angin (*wind load*) adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara (Hilmi, 2014). Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung tahun 1987 beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif (angin tekan) dan tekanan negatif (angin hisap), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Dampak yang ditimbulkannya tergantung terutama pada ukuran penampang, sudut terpaan dan bentuk struktur. Perhitungan beban angin diperlukan untuk merancang desain dan konstruksi bangunan yang aman menghadapi angin, terutama pada bangunan berlantai banyak. (Sumber : SNI 1726-2019)

Selain yang telah disebut di awal, besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan juga tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin, akan menyebabkan angin berbelok atau bahkan berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial, yang berupa tekanan atau isapan pada bangunan. Semakin tinggi bangunan, tekanan akan semakin besar karena kecepatan angin yang semakin tinggi seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.10** di bawah ini :



Gambar 2. 10 Kecepatan Angin Terhadap Bangunan
(Sumber : Hilmi, 2014).

Pedoman yang berlaku di Indonesia mensyaratkan beberapa hal berikut :

- Tekanan tiup angin harus diambil minimum 25 kg/m².
- Tekanan tiup angin 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 empiris **persamaan 2.50**.

$$p = V^2/16 \text{ (kg/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.50)$$

Dimana:

V = kecepatan angin dalam meter per detik

2.9.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah fenomena getaran yang diakibatkan oleh benturan atau gesekan lempeng tektonik (*plate tectonic*) bumi yang terjadi di daerah patahan (*fault zone*). Gempa yang terjadi di daerah patahan ini pada umumnya merupakan gempa dangkal karena patahan umumnya terjadi pada lapisan bumi dengan kedalaman antara 15 sampai 50 km. Gerak tanah gempa rencana harus digunakan untuk menghitung perpindahan rencana total sistem isolasi dan gaya lateral serta perpindahan pada struktur dengan isolasi. Gempa maksimum yang dipertimbangkan harus digunakan untuk menghitung perpindahan maksimum total dari sistem. (Hilmi, 2014)

Pada saat bangunan bergetar akibat adanya gempa, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan, gaya yang timbul ini disebut Inersia. Besar gaya-gaya tersebut bergantung pada banyak faktor. Massa bangunan merupakan 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 (Nanda, 2020) yang dihitung dengan **persamaan 2.51 dan 2.52**.

$$\text{Gaya Inersia (FI)} = \frac{V}{g} \times a \dots\dots\dots(2.51)$$

$$\text{Gaya geser penahan Inersia} = (a \times g) \times V \dots \dots \dots (2.52)$$

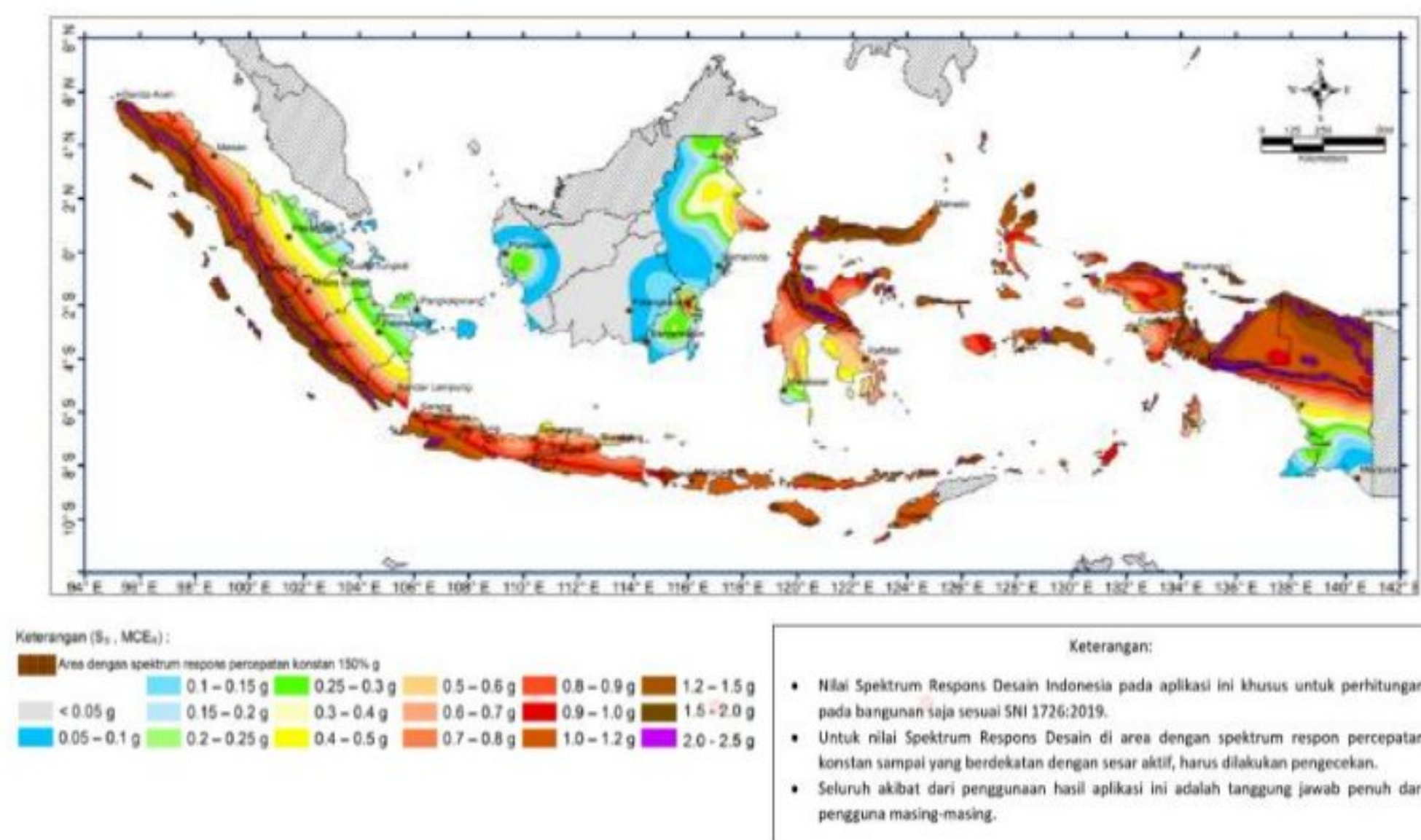
Dimana:

V = gaya geser penahan inersia = percepatan gempa

g = gravitasi

Gaya geser horizontal akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada perencanaan. Dengan mempertimbangkan tinggi gedung kurang dari 40 m, maka perhitungan struktur menggunakan metode analisis statis. Meskipun konsep di atas pada awalnya telah membentuk dasar-dasar untuk desain terhadap gempa bumi, model di atas hanya merupakan penyederhanaan. Apabila fleksibilitas aktual yang dimiliki struktur diperhitungkan maka diperlukan model yang rumit untuk memprediksikan gaya-gaya eksak yang timbul di dalam struktur sebagai akibat dari percepatan. Suatu aspek penting yang utama dalam meninjau perilaku struktur fleksibel yang mengalami percepatan tanah adalah periode alami getar. Berdasarkan pada peta (Lintang= 3.5933417624869914 Bujur = 98.67690861225128) Parameter Gerak Tanah pada Gambar 2.21 di bawah ini diperoleh data respon spektrum gempa pada wilayah tersebut, sesuai dengan SNI 1726 – 2019 ditunjukkan pada **Gambar 2.11** sebagai berikut :

$$\begin{array}{ll} S_s & = 0,6520 \text{ g} & \text{PGA} & = 0,15 \text{ g} \\ S_1 & = 0,3605 \text{ g} & \text{TL} & = 20 \text{ detik} \end{array}$$



Gambar 2. 11 Peta Zonasi Gempa PGA, MCEG

(sumber :SNI 1726-2021)

2.9.5 Kombinasi Pembebanan

Struktur dapat dijamin keamanannya dengan cara memberikan kapasitas kekuatan atau kuat rencana yang lebih besar dari kuat perlu. Kekuatan suatu komponen struktur yang diperlukan untuk muatan beban terfaktor dengan berbagai kombinasi pembebanan efek beban disebut dengan kuat perlu.

Menurut SNI 1726:2019 (4.2.2.1 Kombinasi pembebanan dasar, Hal 25, 4.2.2.2 Kombinasi pembebanan dengan pengaruh regangan sendiri, 4.2.2.3 Kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik, Hal 26), peraturan gempa struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6 L + 0,5 \text{ atau } (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L_r \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0 EV + 1,0 EH + 1,0 L$
5. $0,9D + 1,0 W$
7. $0,9D - 1,0 EV + 1,0 EH$

2.10 Software StaadPro 2023

StaadPro adalah singkatan dari *Structural Analysis and Designing Program*. Aplikasi struktur analisis yang pada awalnya dikembangkan oleh aplikasi *Research Engineers International* (REI) pada tahun 1997. Namun diakhir tahun 2025, Pihak *Bentley System* membeli aplikasi struktur StaadPro dari pihak REI. Sejak saat itu, StaadPro menjadi *software* yang paling sering digunakan oleh engineer di seluruh dunia, terutama Perusahaan EPC serta spesialis struktur bangunan di industri migas serta banyak digunakan dan diperkenalkan di benua amerika serikat dan asia Selatan (India).

Software ini digemari beberapa *structural engineering* di dunia karena kemampuan *link and match* dengan beberapa *software* BIM (*Building Information Modeling*) yang dikembangkan oleh *Bentley System* seperti *RAM Connection*, *AutoPile*, *SACS*, *RCDC*, *Foundation Advance*, dll.

Banyak proyek yang telah dikerjakan dan dievaluasi menggunakan Bentley StaadPro antara lain impor dan ekspor *project* file dalam berbagai format terutama file yang support AEC (*Architectural, Engineering, Construction*), modifikasi Grid, membuat permodelan struktur 2D dan 3D, membuat model serta asumsi kondisi pembebanan yang kompleks, membuat permodelan dengan beberapa jenis material secara monolit (komposit) seperti struktur beton, baja, aluminium, kayu dan baja ringan, serta dapat menghitung analisis statis dan dinamis, membuat laporan analisis, evaluasi struktur bangunan eksisting, desain detail penulangan dan detail sambungan baja.