

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan wilayah perkotaan, kebutuhan akan gedung bertingkat semakin meningkat (Rizaty, 2021). Gedung-gedung bertingkat dengan desain yang beragam dapat menjadi symbol kemajuan teknologi pada bidang konstruksi (Dewobroto, 2012).

Selain keindahan dan fungsi perencanaan sebuah gedung harus dapat menjamin keamanan penggunaannya. Kekuatan gedung tersebut harus dapat memikul beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dimana gedung tersebut terletak (Biro Komunikasi Publik Kementerian Pekerjaan Umum, 2021). Perencanaan struktur gedung tahan gempa menjadi hal penting di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan dan sebagian besar wilayahnya merupakan wilayah rawan gempa. Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan wilayah yang berada tepat pada patahan aktif, Patahan besar Sumatera yang memisahkan Aceh sampai Lampung, sesar aktif Jawa, Lembang, Jogjakarta, di utara Bali, Sumbawa, NTT, NTB, Lombok, di Sulawesi, Sorong, Memberamo (Agung Pribadi, 2021).

Gempa bumi yang terjadi tentunya mengakibatkan banyak kerugian yang timbul seperti kerusakan infrastruktur dan bangunan serta jatuhnya korban jiwa sesuai dengan informasi yang disampaikan Kepala Pusat Gempa Bumi dan Tsunami BMKG bahwa di Indonesia dalam setahun terjadi gempa lebih dari 8.000. Terjadi gempa signifikan dan dirasakan sekitar 350 kali. Kemudian, gempa merusak sekitar 15 kali dalam setahun (Beritasatu, 2023).

Salah satu dari sekian dampak gempa bumi yaitu kerusakan bangunan gedung akibat dari adanya getaran di permukaan bumi yang akan menggetarkan bangunan di atasnya. Getaran yang diakibatkan oleh beban gempa sangat berpengaruh terhadap perilaku Struktur bangunan contohnya pada bangunan asimetris ber-layout U, H dan L (Prayuda et al., 2024).

Bangunan asimetris menjadi perhatian khusus dalam perencanaannya karena titik berat bangunan tidak berada pada titik tengah sehingga dapat menimbulkan dampak puntir yang besar ketika bangunan tersebut mendapatkan gaya horizontal seperti gempa (Özmen et al., 2014).

Dalam konteks ini, obyek yang akan menjadi pantauan adalah perencanaan struktur gedung perkantoran dengan desain asimetris berupa tower dan podium dimana penerapan metode analisis struktur yang tepat sangat diperlukan untuk mengantisipasi berbagai tantangan teknis yang dihadapi gedung bertingkat, terutama di wilayah yang rawan gempa (O., 2025). Salah satu pendekatan yang digunakan untuk bangunan dengan desain tower dan podium dengan tipe bagian bawah kaku dan bagian struktur atas fleksibel sesuai dengan SNI -1726-2019 adalah analisis dua tahap, di mana perhitungan struktur dilakukan dalam dua fase untuk memastikan struktur mampu menahan beban statis dan dinamis secara efisien.

Selain itu, terkait dengan bentuk gedung yang memiliki sisi podium dan tower maka terdapat adanya kemungkinan benturan antar sisi yang dapat mengakibatkan kerusakan struktur fenomena ini juga dapat disebut fenomena bumping effect. Fenomena bumping effect ini merujuk pada transfer getaran atau gaya dari satu lantai ke lantai lainnya yang dapat meningkatkan beban pada elemen struktur tertentu. Jika tidak diperhitungkan dengan baik, bumping effect dapat mengakibatkan kerusakan lokal yang signifikan pada struktur gedung (Elgammal et al., 2024).

Oleh karena itu, studi mengenai penerapan analisis dua tahap dengan mempertimbangkan efek bumping effect sangat relevan untuk menghasilkan desain struktur yang lebih andal dan tahan terhadap beban dinamis, terutama pada gedung bertingkat di wilayah rawan gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas sebelumnya dapat disimpulkan untuk rumusan permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan sistem struktur gedung bertingkat tipe podium di Jakarta dengan analisis dua tahap dan bumping effect sesuai SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural, sehingga diperoleh dimensi elemen utama (kolom, balok, joint balok–kolom, dan shearwall) yang mampu menahan beban yang bekerja?
2. Bagaimana merencanakan kebutuhan dilatasi yang aman pada gedung podium–tower sesuai ketentuan SNI 1729:2019?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan Tugas Akhir ini dibatasi pada:

1. Perencanaan bangunan atas meliputi:
 - a. Struktur utama : Balok, kolom, joint balok-kolom, dan shearwall.
 - b. Struktur sekunder : plat lantai.
2. Penentuan dimensi elemen struktur utama sesuai dengan SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
3. Penentuan beban yang bekerja pada bangunan selain beban gempa sesuai dengan SNI 1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
4. Penentuan beban gempa dilakukan dengan metode analisa beban respons spektrum sesuai SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.
5. Penentuan lebar dilatasi sesuai dengan SNI 1729:2019
6. Tidak menghitung anggaran biaya
7. Desain ini tidak termasuk memperhitungkan sistem utilitas bangunan, perencanaan pembuangan saluran air bersih dan kotor, instalasi/jaringan listrik, finishing dan hal yang bersifat arsitektural lainnya.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Merencanakan sistem struktur gedung bertingkat tipe podium–tower dengan analisis dua tahap dan bumping effect sesuai SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019, sehingga diperoleh dimensi struktur utama (kolom, balok, joint balok–kolom, dan shearwall) serta struktur sekunder (plat) yang aman.
2. Menentukan kebutuhan dan lebar dilatasi pada gedung podium–tower sesuai ketentuan SNI 1729:2019.

1.5 Manfaat

Manfaat dari pengerjaan Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah kemampuan dan wawasan penulis secara lebih mendalam mengenai tata cara perencanaan struktur beton bertulang pada bangunan bertingkat tipe podium, termasuk perencanaan dimensi elemen struktur, detailing joint balok–kolom, serta penentuan ketebalan shearwall yang aman,

sekaligus memahami penerapan analisis bumping effect dalam menentukan kebutuhan dilatasi yang sesuai standar.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk dapat memperoleh penulisan yang sistematis dan terarah, maka alur penulisan tugas akhir ini dibagi dalam beberapa bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat serta sistematika penulisan skripsi ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang data proyek, teori umum mengenai gempa, sistem ganda, sistem rangka pemikul momen khusus, dinding geser (shearwall).

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini berisi tentang langkah-langkah dalam perencanaan struktur atas gedung pegadaian tower menggunakan Analisa dua tahap.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai pemodelan struktur awal yang digunakan sebagai acuan pembebanan, menjelaskan tentang analisa pembebanan sesuai dengan SNI yang berlaku, serta penentuan penulangan sesuai dengan SNI yang berlaku

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. DATA PROYEK

Berikut ini adalah data proyek untuk Tugas Akhir desain gedung perkantoran di daerah Jakarta Pusat:

Nama Proyek	: Pekerjaan Rancang dan Bangun (Design and Build) Pembangunan Pegadaian Tower
Alamat Proyek	: JL. Kramat Raya No.162, Kelurahan Kenari, Kecamatan Senen, Jakarta Pusat
Pemilik Proyek	: PT. Pegadaian (Persero)
Konsultan MK	: PT. Gamma Beta Alpha Consultant
Konsultan Perencana	: PT. PP membawahi PT. Penta Rekayasa (Design and Build)
Konsultan QS	: WT Partnership
Struktur Bangunan	: Beton Bertulang

2.2. UMUM

Perencanaan adalah proses untuk mendapatkan suatu hasil yang optimum. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa memiliki dasar berupa terdapatnya komponen struktur yang diperbolehkan untuk mengalami kelelahan. Komponen struktur yang leleh tersebut merupakan komponen yang menyerap energi gempa selama bencana gempa terjadi. Agar memenuhi konsep perencanaan struktur bangunan tahan gempa tersebut, maka pada saat gempa kelelahan yang terjadi hanya pada balok. Oleh karena itu kolom dan sambungan harus dirancang sedemikian rupa agar kedua komponen struktur tidak mengalami kelelahan ketika gempa terjadi (Keputusan Kepala Badan Standarisasi Nasional Nomor 693/KEP/BSN/12/2019 Tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 1726:2019, 2019).

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standar dan peraturan-peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisasi kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi. Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan (Keputusan Kepala Badan

Standarisasi Nasional Nomor 693/KEP/BSN/12/2019 Tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 1726:2019, 2019).

Aturan detailing diatur dalam SNI 2847:2019 dimana detailing dibedakan berdasarkan Kategori Desain Seismik (KDS) yang dikenakan pada struktur bangunan. Menurut SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019, bangunan dibagi menjadi beberapa kategori dimana bangunan dengan resiko seismik rendah dikategorikan sebagai KDS A dan B, untuk bangunan dengan resiko seismik menengah dikategorikan sebagai KDS C, dan untuk bangunan dengan resiko seismik tinggi dikategorikan sebagai KDS D, E, dan F.

2.3. SISTEM GANDA (DUAL SYSTEM)

Menurut SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, Sistem Ganda merupakan sistem struktur dengan rangka ruang lengkap untuk memikul beban gravitasi, sedangkan tahanan terhadap gempa disediakan oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen dan dinding geser atau oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan (Keputusan Kepala Badan Standarisasi Nasional Nomor 693/KEP/BSN/12/2019 Tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 1726:2019, 2019).

Pada SNI 1726:2019 Tabel 12, Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan dengan dinding geser bertulang khusus memiliki nilai Koefisien Modifikasi Respons (R) = 7; Faktor Kuat-Lebih Sistem (Ω_0) = 2,5; dan Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 5,5 (Keputusan Kepala Badan Standarisasi Nasional Nomor 693/KEP/BSN/12/2019 Tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 1726:2019, 2019).

2.4. SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN

Sistem rangka pemikul momen merupakan Sistem struktur rangka yang elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban-beban lateral melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu:

- Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa yang rendah, keuntungan dari sistem ini adalah arsitekturalnya yang sederhana dan biaya yang murah sedangkan kerugian dari sistem ini yaitu struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi

perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada. Untuk pemilihan sistem ini dapat berdasarkan kategori desain seismic (KDS) dimana untuk SRPMB (KDS A-B) (Peter Fajfar, 2000).

- Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sistem ini memiliki tingkat daktilitas sedang dan digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa sedang, SRPMM diharapkan dapat menahan gaya-gaya yang ada lebih khususnya untuk kolom agar dapat menahan geser, pendetailan harus sesuai dengan yang disyaratkan oleh Badan Standarisasi Nasional (SNI) untuk perencanaan struktur tahan gempa.

keuntungan dari sistem ini adalah arsitektural yang sederhana, dan tidak memerlukan banyak perkuatan sedangkan kerugiannya yaitu struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada. Untuk pemilihan sistem ini dapat berdasarkan kategori desain seismic (KDS) dimana untuk SRPMM (KDS B-C) (Peter Fajfar, 2000).

- Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh, sistem ini harus digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa tinggi, prinsip dari sistem ini yaitu strong kolom weak beam, tahan terhadap geser dan memiliki pendetailan yang khusus,

keuntungan dari sistem ini adalah dari arsitekturalnya yang sederhana sedangkan kerugiannya yaitu pendetailan yang complex sehingga dapat mempersulit pengerjaan. Untuk pemilihan sistem ini dapat berdasarkan kategori desain seismic (KDS) dimana untuk SRPMK (KDS D-E-F) (Peter Fajfar, 2000).

2.5. DINDING GESER (*SHEARWALL*)

Dinding geser merupakan suatu subsistem gedung yang memiliki fungsi utama untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa. Keruntuhan pada dinding geser disebabkan oleh momen lentur karena terjadinya sendi plastis pada kaki dinding. Semakin tinggi suatu gedung, simpangan horizontal yang terjadi akibat gaya lateral akan semakin besar, untuk itu sering digunakan dinding geser pada struktur bangunan tinggi untuk memperkaku struktur sehingga simpangan yang terjadi dapat berkurang. Dinding geser juga berfungsi untuk mereduksi momen yang diterima struktur rangka sehingga dimensi struktur rangka dapat

dibuat seefisien mungkin pada struktur bangunan tinggi akibat gaya lateral (Prayuda et al., 2024) .

Pemasangan dinding geser pada struktur utama sebaiknya simetris. Hal ini dilakukan karena apabila pemasangan dinding geser tidak simetris, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah terjadinya mode rotasi pada mode-mode awal struktur yang berbahaya bagi keamanan dan kenyamanan pengguna gedung.

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dinding geser adalah bahwa dinding geser tidak boleh runtuh akibat gaya geser. Hal ini disebabkan fungsi utama dari dinding geser adalah untuk menahan gaya geser yang besar akibat gempa, sedangkan apabila dinding geser tersebut runtuh akibat gaya geser itu sendiri, maka keseluruhan struktur akan ikut runtuh dikarenakan tidak ada lagi yang dapat menahan gaya geser tersebut. Dinding geser hanya boleh runtuh akibat adanya momen plastis yang menyebabkan timbulnya sendi plastis pada bagian kakinya (T. Paulay, 1992).

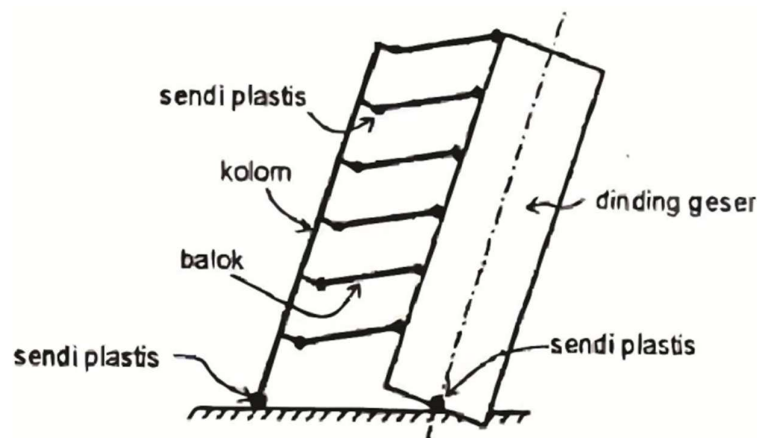
Pada dasarnya, *Shearwall* disebut juga Sistem Dinding Struktural yang dikelompokkan sebagai berikut (T. Paulay, 1992):

1. Dinding Struktural Beton Biasa (SDSB)

Sistem dinding struktural yang memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya boleh digunakan untuk struktur bangunan yang dikenakan maksimal KDS C.

2. Dinding Struktural Beton Khusus (SDSK)

Sistem dinding struktural yang memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk struktur bangunan yang dikenakan KDS D, E, dan F.



Gambar 2. 1. Mekanisme Keruntuhan Ideal dengan Sendi Plastis pada Ujung-Ujung Balok dan Kaki Kolom

2.6. SISTEM STRUKTUR PEMIKUL GAYA SEISMIK

Menurut SNI 1726:2019 sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe Pada SNI 1726:2019 Tabel 12.

Pada SNI 1726:2019 untuk struktur dengan bentuk asimetris yang memiliki bagian atas yang fleksibel dan bagian bawah yang kaku maka prosedur analisa dua tahap diizinkan untuk digunakan asalkan desain struktur dilakukan sesuai dengan hal-hal berikut ini:

- a. Kekakuan bagian bawah harus paling sedikit 10 kali kekakuan bagian atas;
- b. Periode struktur keseluruhan tidak boleh melebihi 1,1 kali periode bagian atas yang dianggap sebagai struktur terpisah yang ditumpu pada peralihan antara bagian atas ke bagian bawah;
- c. Bagian atas yang fleksibel harus didesain sebagai struktur terpisah menggunakan nilai R dan ρ yang sesuai;
- d. Bagian bawah yang kaku harus didesain sebagai struktur terpisah menggunakan nilai R dan ρ yang sesuai. Reaksi dari bagian atas harus ditentukan dari analisis bagian atas yang diperbesar dengan rasio R/ρ bagian atas terhadap R/ρ bagian bawah. Rasio ini tidak boleh kurang dari 1,5;
- e. Bagian atas dianalisis dengan gaya lateral ekuivalen atau prosedur analisis respons spektra, dan bagian bawah dianalisis dengan prosedur gaya lateral ekuivalen.

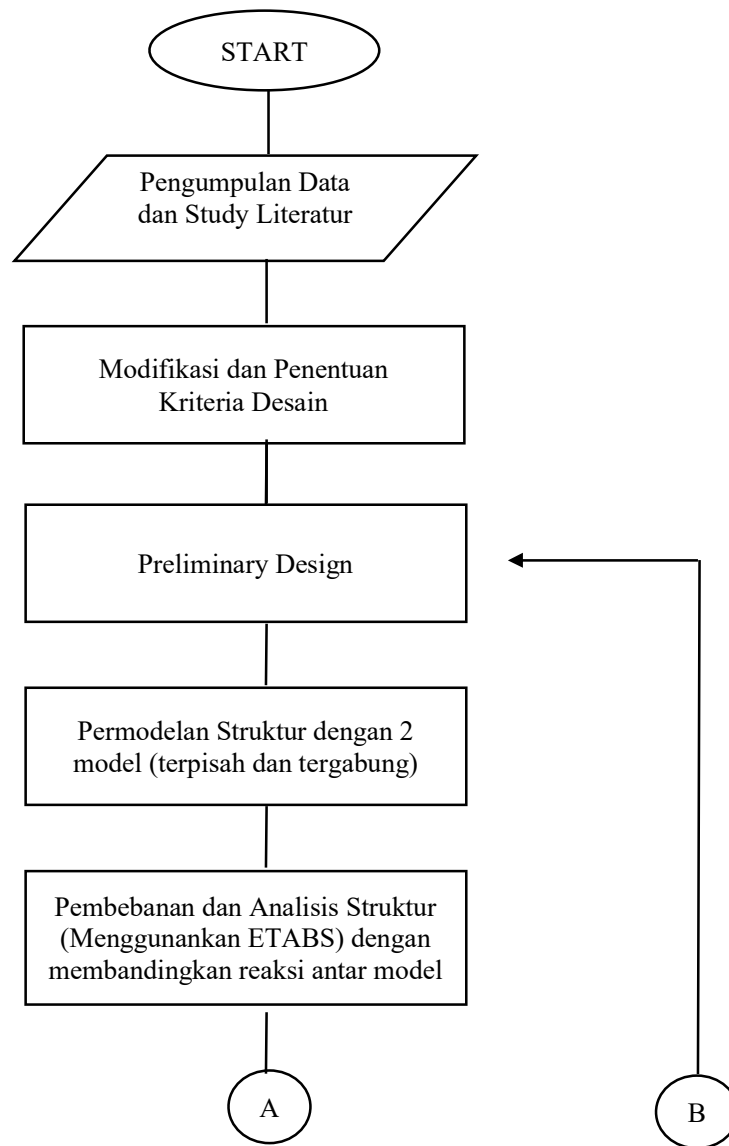
2.7. PEMISAHAN STRUKTUR

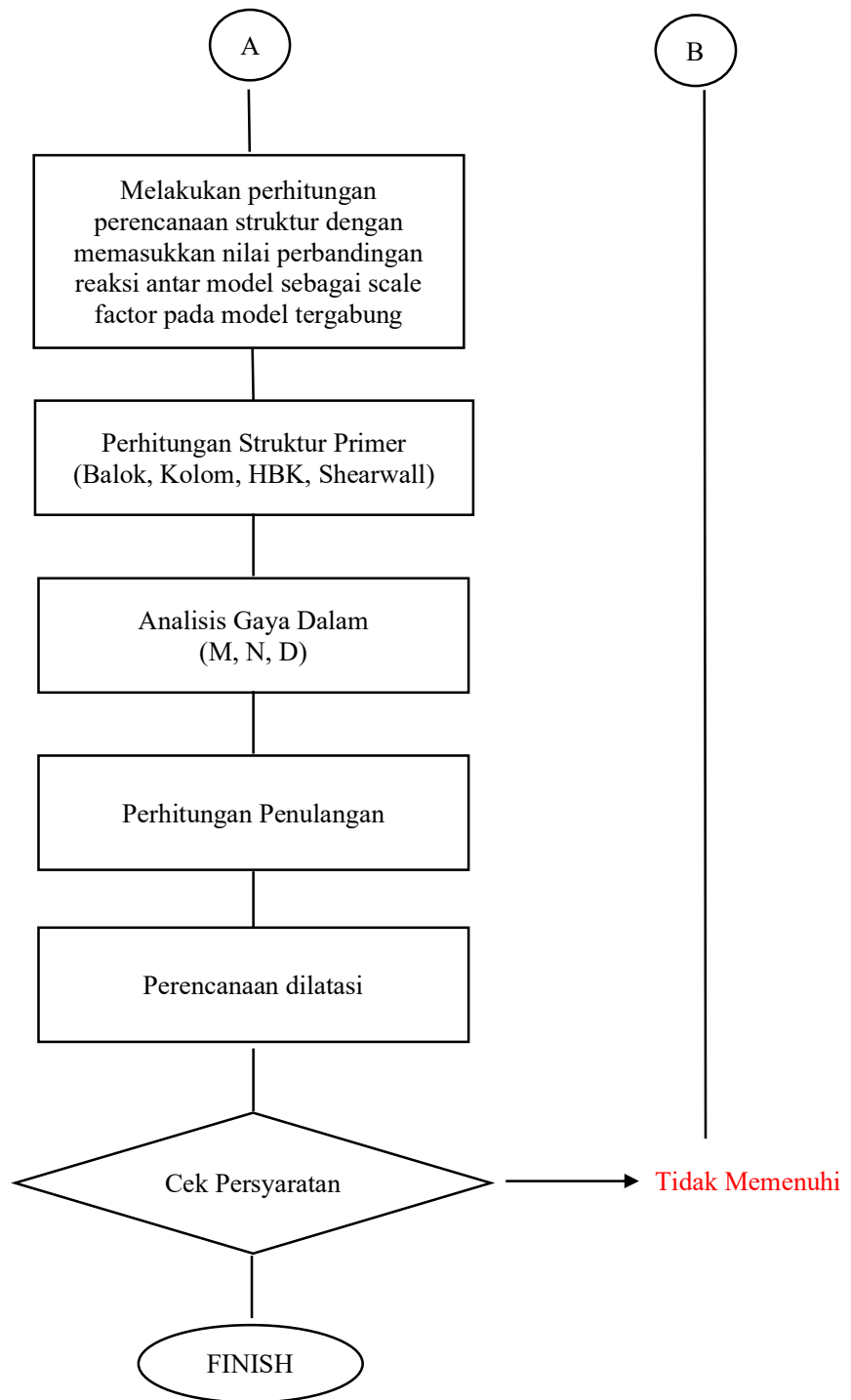
Pemisahan struktur atau dilatasi dilakukan untuk menghindari adanya benturan antar bangunan, berdasarkan SNI 1726-2019 pemisahan struktur harus mengakomodasi terjadinya perpindahan respons inelastik maksimum yang dihitung pada lokasi kritis dengan mempertimbangkan perpindahan translasi maupun rotasi pada struktur (Keputusan Kepala Badan Standarisasi Nasional Nomor 693/KEP/BSN/12/2019 Tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 1726:2019, 2019).

BAB III

METODOLOGI

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam Desain Struktur Gedung Pegadaian Tower di Jakarta Menggunakan Analisa Dua Tahap dengan bumping effect:





3.1. Pengumpulan Data

Pencarian dan pengumpulan data untuk keperluan perencanaan gedung adalah meliputi :

1. Data tanah sebagaimana terlampir,
2. Gambar struktur bangunan sebagaimana terlampir.

3.2. Studi Literatur

Dalam melakukan perencanaan struktur untuk tugas akhir ini mempelajari literatur yang berkaitan dengan perancangan dan peraturan – peraturan yang dipakai, antara lain :

1. Badan Standarisasi Nasional. 2020. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020),
2. Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktural Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019),
3. Badan Standarisasi Nasional. 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019),
4. Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB
5. Rachmat Purwono. 2010. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya: ITS Press.

3.3. Penentuan Kriteria Desain

3.3.1 Penentuan Kriteria Desain

Modifikasi Gedung Pegadaian Tower, Jakarta ini berdasarkan SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung dengan data sebagai berikut :

Tipe Bangunan	: Gedung perkantoran (katergori risiko II)
Klasifikasi Situs Tanah	: SE (Tanah lunak)
Kategori Desain Seismik	: D
Tipe Bangunan	: Gedung perkantoran (katergori risiko II)
Jumlah lantai	: 22 lantai
Tinggi Bangunan	: 88,2 m
Mutu Beton	:
Horizontal	: f_c 25 Mpa
Vertikal	: f_c 40 Mpa
Mutu Baja tulangan	: BJTS 420

Oleh karena itu system struktur harus didesain menggunakan penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan detailing khusus atau memiliki tingkat daktilitas penuh, sehingga Gedung Pegadaian Tower ini didesain menggunakan struktur dengan system ganda yaitu SRPMK dan shearwall

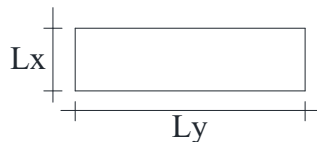
3.4. Preliminary

Preliminary design merupakan tahap awal dalam perencanaan struktur yang bertujuan untuk menentukan dimensi perkiraan elemen struktur utama dan sekunder. Tahap ini dilakukan dengan acuan perbandingan jarak atau bentang saja tanpa mempertimbangkan beban secara detail, sehingga dapat memberikan gambaran awal yang wajar sebelum dilakukan analisis struktur yang lebih mendalam. Dengan demikian, hasil perhitungan selanjutnya dapat lebih terarah dan sesuai dengan ketentuan standar yang berlaku.

3.4.1 Preliminary Ketebalan Plat

3.4.1.1 Preliminary untuk plat satu-arah

Pelat satu arah terjadi apabila $L_y/L_x > 2$; dimana L_y = bentang pendek dan L_x = bentang panjang yang digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. 1. Dimensi Bidang Plat

Tebal minimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.3.1.1 untuk pelat solid non prategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

Tabel 3. 1. Tebal Minimum Plat Satu-arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Kondisi tumpuan	$h^{(1)}$ Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$

CATATAN:

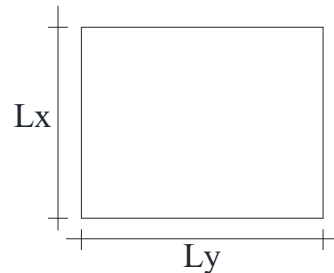
Panjang bentang dalam mm;

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420 Mpa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), w_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09
- (b) Untuk f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

3.4.1.2 Preliminary untuk plat dua arah

Pelat dua arah terjadi apabila $L_y/L_x < 2$; dimana L_x = bentang pendek dan L_y = bentang panjang yang digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. 2. Dimensi Bidang Plat

Tebal plat minimumnya harus memenuhi ketentuan pada SNI 2847:2013 tabel 8.3.1.1 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

Tabel 3. 2. Tebal Minimum Plat Dua Arah Non Prategang tanpa Balok Interior

f_y , MPa ^[2]	Tanpa <i>drop panel</i> ^[3]			Dengan <i>drop panel</i> ^[3]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

- a. Untuk $\alpha_m \leq 0,2$ menggunakan table 3.2
 b. Untuk $0,2 < \alpha_m < 2,0$ maka nilai h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots (1)$$

dan tidak boleh kurang dari 125mm;

- c. Untuk $\alpha_m > 2,0$ maka ketebalan plat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots (2)$$

dan tidak boleh kurang dari 90mm;

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan SNI 03-2847-2013 Pers. 9-12 atau Pers. 9-13 harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Untuk nilai α_m didapatkan dari rumus berikut:

$$\alpha = \frac{E_{balok} \cdot I_{balok}}{E_{plat} \cdot I_{plat}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} \dots\dots\dots (4)$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 \dots\dots\dots (5)$$

$$I_{plat} = Ly \times \frac{(hf)^3}{12} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana nilai K adalah:

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h_w} \right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h_w} \right)}$$

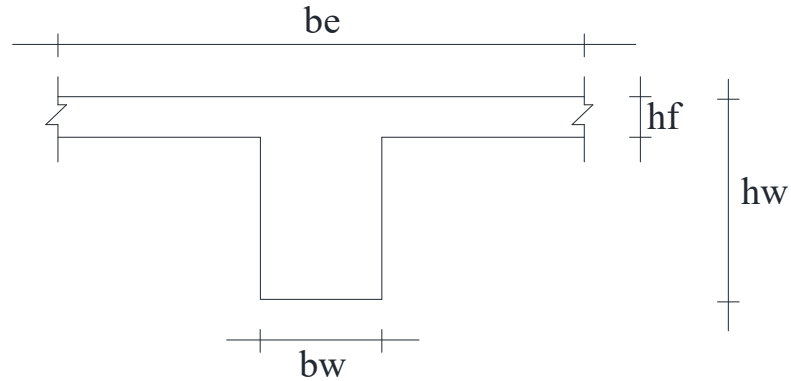
Untuk mencari lebar flens pada balok tengah sesuai SNI adalah sebagai berikut:

Nilai b_e :

$$b_e = b_w + 2(h_w - h_f)$$

$$b_e = b_w + 8h_f$$

Dari kedua nilai b_e tersebut diambil yang terkecil.



Gambar 3. 3. Lebar Efektif Plat

Dimana:

α_m = Nilai rata-rata dari α untuk sebuah balok pada tepi dari semua panel

A = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari plat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok

ℓ_n = Panjang bentang bersih pada arah memanjang dari konstruksi dua arah, yang diukur dari muka ke muka tumpuan pada plat tanpa balok

S_n = Panjang bentang bersih pada arah melintang dari konstruksi dua arah, yang diukur dari muka ke muka tumpuan pada plat tanpa balok

β = Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah melintang dari plat

b_e = Lebar efektif plat

b_w = Lebar balok

h_f = Tinggi plat

h_w = Tinggi balok

3.4.2 Preliminary Dimensi Balok

Untuk menentukan dimensi tinggi balok berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 9.3.1.1 sebagaimana berikut ini :

Tabel 3. 3 Tebal Minimum Balok Bila Lendutan Tidak Dihitung

Kondisi perlekatan	Minimum $h^{[1]}$
Perlekatan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

CATATAN:

Panjang bentang dalam mm;

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420 Mpa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65-0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09
- (b) Untuk f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

3.4.3 Preliminary Dimensi Kolom

Untuk membuat sifat struktur menjadi “*strong coloumn, weak beam*”, maka untuk preliminary dimensi kolom adalah sebagai berikut:

$$\frac{h_{KOLOM}}{I_{KOLOM}} \geq \frac{h_{BALOK}}{I_{BALOK}} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

h_{kolom} = Tinggi bersih kolom

h_{balok}	= Tinggi bersih balok
I_{kolom}	= Inersia kolom ($1/12 \cdot b \cdot h^2$)
I_{balok}	= Inersia balok ($1/12 \cdot b \cdot h^2$)

3.5. Perhitungan Pembebanan

3.5.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727-2020 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 kerana tau dapat dilihat dalam table berikut :

Tabel 3. 4. Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Item	Berat	Satuan
Beton bertulang	24	kN/m ³
Beban SDL	1,03	kN/m ²
- Adukan semen	0,42	kN/m ²
- Mekanikal dan Elektrikal	0,3	kN/m ²
- Penutup lantai ubin	0,24	kN/m ²
- Penutup Langit - langit	0,07	kN/m ²

3.5.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727-2020, beban hidup adalah 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, beban banjir, atau beban mati.

Untuk besaran beban hidup menggunakan SNI 1727-2020 Tabel 4.3.1, dimana beban yang dipakai adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 5. Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen 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)	

3.5.3 Beban Gempa

3.5.3.1 Gempa Rencana

Seperti yang tercantum dalam peraturan SNI 1726-2019, besarnya beban gempa rencana yang diperhitungkan bekerja pada struktur adalah gempa rencana sedang. Maka dari itu, apabila terjadi gempa kuat, maka gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur dapat melampaui gaya – gaya dalam yang diperhitungkan. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat sebesar 2 persen selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

Pada bangunan gedung bertingkat, massa dari struktur dianggap terpusat pada lantai – lantai dari bangunan, dengan demikian beban gempa akan terdistribusi pada setiap lantai. Selain tergantung dari massa di setiap tingkat, besarnya gaya gempa pada suatu tingkat tergantung juga pada ketinggian tingkat tersebut dari permukaan tanah. Beban gempa horizontal V yang bekerja pada struktur bangunan, dinyatakan sebagai berikut :

$$V = \frac{W_t \times C \times I}{R} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

V = beban gempa dasar nominal

W_t = Berat total struktur bangunan

C = Koefisien respons gempa , yang besarnya tergantung wilayah gempa dan waktu getar struktur. Harga C ditentukan dari diagram respon spektrum, setelah terlebih dahulu dihitung waktu getar struktur

I = Faktor keutamaan struktur bangunan

R = Faktor reduksi gempa

3.5.3.2 Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan gedung dibedakan sesuai dengan fungsi dari bangunan tersebut. Banyak faktor yang mempengaruhi dari tingkat kategori risiko bangunan seperti: tingkat risiko terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, potensi menyebabkan dampak ekonomi dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat apabila terjadi kegagalan, serta keharusan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan sesuai SNI 03-1726-2019

Tabel 3. 6. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban 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, peternakan, 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 Rumah toko dan rumah kantor Pasar Gedung perkantoran Gedung apartemen / rumah susun Pusat perbelanjaan / mall Bangunan industri Fasilitas manufaktur Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: Bioskop Gedung pertemuan Stadion	III

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.	
--	--

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: Bangunan-bangunan monumental Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, 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.	IV
--	------------------

Faktor Keutamaan Gempa

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non-gedung sesuai SNI 1726-2019, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I_e).

Tabel 3. 7. Faktor Keutamaan Gempa

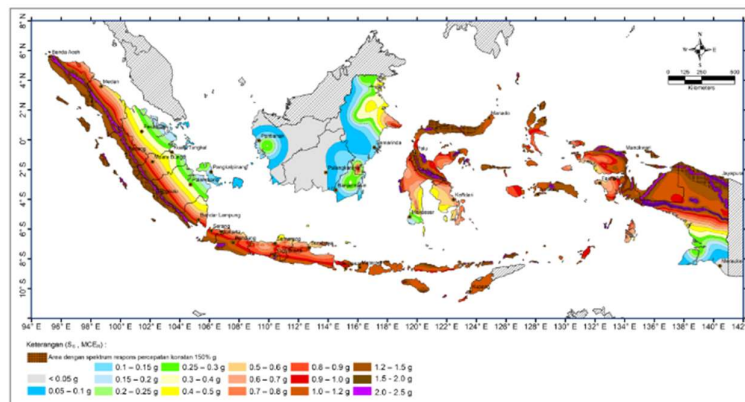
Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

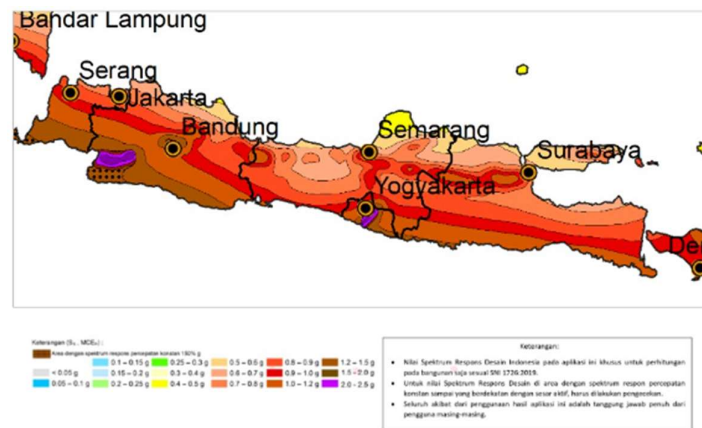
3.5.3.3 Wilayah Gempa dan Struktur Respons

1. Parameter Percepatan Terpetakan

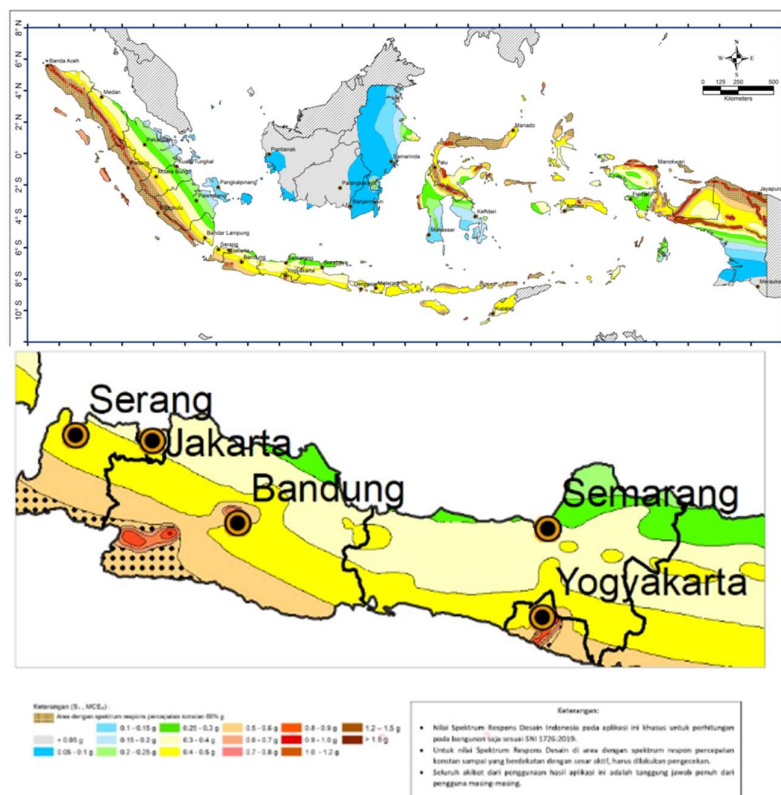
Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan persen terlampaui dalam 50 tahun (SNI 1726-2019 Gambar 15 dan Gambar 16).

Dalam perancangan bangunan gedung perkantoran di Jakarta ini, berdasarkan pada peta gempa Indonesia yang terdapat pada SNI 03-1726-2019 Gambar 9 dan Gambar 10. Pada peta-peta tersebut, terdapat berbagai macam warna yang dimana setiap warna tersebut nantinya memiliki nilai S_s dan S_1 yang berbeda-beda sesuai daerah yang ditinjau.





Gambar 3. 4. Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget



Gambar 3. 5. S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget

2. Klasifikasi Situs

Setelah menemukan titik yang sesuai berdasarkan daerah yang ditinjau (Jakarta), maka langkah selanjutnya adalah mengklarifikasi situs, dimana klasifikasi kelas situs tersebut terbagi menjadi: SA, SB, SC, SD, SR, dan SF. Kelas situs nantinya untuk mengklasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Nantinya profil tanah di situs harus di klasifikasikan sesuai dengan SNI 1726-2012, berdasarkan profil tanah lapisan 30m paling atas.

Tabel 3. 8. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (Batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500		
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: Indeks plastisitas, $PI > 20$, Kadar air, $w \geq 40\%$, Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (Tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti SNI 1726-2012 pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebatan $H > 3m$) Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebatan $H > 7,5m$ dengan Indeks plastisitas $PI > 75$		

	Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa
--	--

3. Koefisien Situs dan Parameter Respons Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget (MCER)

Percepatan respons spektrum MCE untuk periode singkat (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 pers. 7 dan pers. 8, yakni sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots (10)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek

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

Untuk koefisien situs F_a dan F_v mengikuti SNI 1726:2019 Pasal 6.2 Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 3. 9. Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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)					

Catatan :

- (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs – spesifik

Tabel 3. 10. Koefisien Situs, Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCEr) terpetakan pada periode 1 detik, S1					
	S1 ≤ 0,1	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	S1 = 0,5	S1 ≥ 0,5
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	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2
SF	SS(a)					

1. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode singkat (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dihitung sesuai SNI 1726:2019 Pasal 6.3 Pers. 9 dan Pers. 10, yakni sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \dots\dots\dots (12)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \dots\dots\dots (13)$$

2. Kategori Desain Seismik (KDS)

Kategori desain seismik dari struktur yang ditinjau diambil berdasarkan SNI 1726-2019, dimana diambil berdasarkan nilai S_{DS} dan kategori risiko bangunan yang ditinjau.

Tabel 3. 11. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Tabel 3. 12. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

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

3. Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu SNI 1726-2019 dan mengikuti ketentuan berikut:

- Untuk periode lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (14)$$

- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
- Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

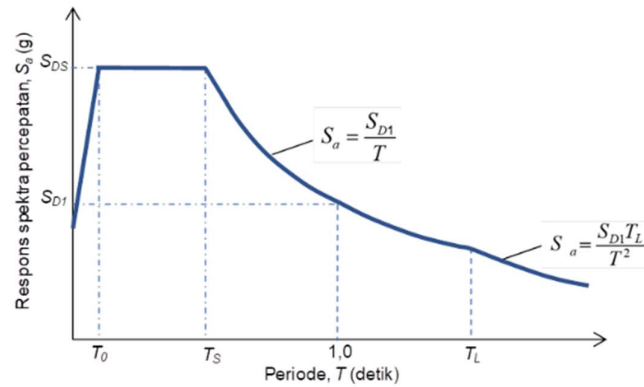
S_D = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (16)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (17)$$

T_1 = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada gambar 3.5



Gambar 3. 6. Spektrum Respons Desain

3.5.4 Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen-elemen struktur, dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sesuai SNI 1726:2019 Pasal 5.3 sebagai berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r atau R)
3. 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (1,0L atau 0,5W)
4. 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r atau R)
5. 1,2 D + 1,0 E + L
6. 0,9D + 1,0 W
7. 0,9D + 1,0E

3.5.5 Faktor Reduksi Kekuatan

Guna mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti mendapatkan perbedaan mutu, maka digunakan factor reduksi kekuatan yang merupakan suatu bilangan bersifat mereduksi kekuatan bahan seperti ditunjukkan pada Tabel 21.2.1 SNI 2847-2019, menetapkan berbagai nilai reduksi untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapatkan dan perhitungan struktur.

Tabel 3. 13. Faktor Reduksi Kekuatan

Gaya atau elemen struktur		ϕ	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c)	Torsi	0,75	-
d)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e)	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-
f)	Bracket dan korbel	0,75	-
g)	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i)	Beton polos	0,60	-
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-

3.6. Perhitungan Struktur

3.6.1 Penulangan Plat

Berdasarkan SNI 2847-2019 rasio kekakuan balok terhadap plat adalah :

$$\alpha = \frac{E_{c_{balok}} \cdot I_{balok}}{E_{c_{plat}} \cdot I_{plat}} > 1 \dots\dots\dots (18)$$

Dimana:

$E_{c_{balok}}$ = Modulus elastisitas beton untuk balok

$E_{c_{plat}}$ = Modulus elastisitas beton untuk plat

I_{balok} = Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_{plat} = Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto plat

1. Rasio penulangan plat

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ (SNI 03-2847-2019 Pasal 10.5.1) } \dots\dots\dots (18)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f_c' \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \text{ (SNI 03-2847-2019 Lampiran B.8.4.2) } \dots\dots\dots (19)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \text{ (SNI 03-2847-2019 Lampiran B.10.3.3) } \dots\dots\dots (20)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \text{ (Disain Beton Bertulang hal. 55 Pers. 3.8.4.a) } \dots\dots\dots (21)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \text{ (Disain Beton Bertulang hal. 55 Pers. 3.8.4.a) } \dots\dots\dots (22)$$

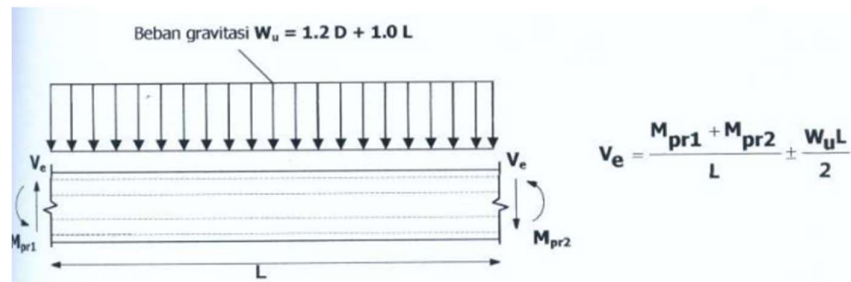
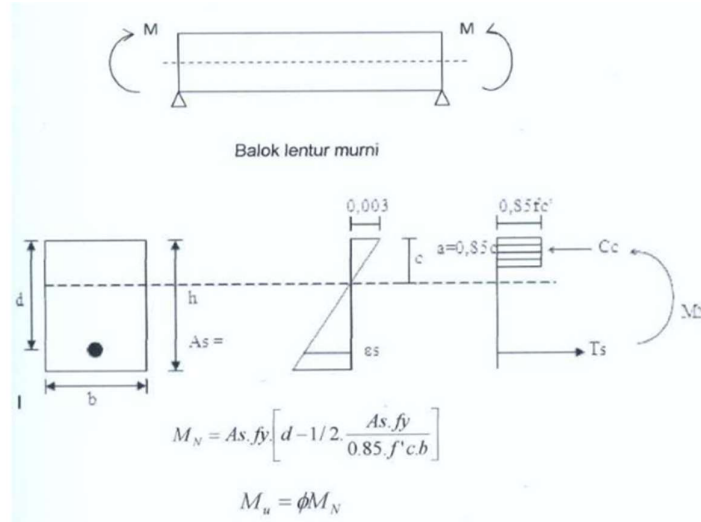
Jika $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka ρ_{perlu} dinaikkan 30%, sehingga:

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu} \dots\dots\dots (23)$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d \dots\dots\dots (24)$$

3.6.2 Penulangan Balok

Komponen balok pada umumnya menerima pembebanan lateral yang mengakibatkan gaya dalam momen lentur dan gaya geser. Pada bagian ini dibahas terlebih dahulu balok yang mengalami momen lentur



Gambar 3. 7. Momen Lentur Balok

Persyaratan yang harus dipenuhi dalam desain adalah :

$$\phi M_n > M_u \dots\dots\dots (25)$$

Dimana untuk kombinasi beban harus menggunakan kombinasi envelope berdasarkan beban gravitasi dengan gempa.

Kebutuhan penulangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \times f_y \times j \times d} \dots\dots\dots (26)$$

Tinggi balok tegangan tekan ekuivalen actual adalah

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \dots\dots\dots (27)$$

Momen nominal dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Theta M_n = \Theta A_s f_y \times (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots (28)$$

As yang telah dihitung pada persamaan di atas tidak boleh kurang dari As minimum yang merupakan nilai terkecil dari 2 persamaan berikut :

$$A_s \min = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} \times b_w \times d \dots\dots\dots (29)$$

$$A_s \min = \frac{1,4}{4f} \times b_w \times d \dots\dots\dots (29)$$

Rasio tulangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} \dots\dots\dots (30)$$

Untuk menghindari terjadinya getas pada elemen lentur , SNI 2847:2019 pasal 18.6

membatasi rasio tulangan $\rho < 0,75 \rho_b$ dengan :

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c}{f_y} (\frac{600}{600+f_y}) \dots\dots\dots (31)$$

Batas tulangan maksimal berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1 adalah 0,025.

Untuk memastikan jenis eruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan Tarik, maka hasil hitungan diatas harus memenuhi persamaan berikut

$$\frac{a}{d} < \frac{a_b}{d} = \beta_1 (\frac{600}{600+}) \dots\dots\dots (32)$$

Sedangkan rumus yang digunakan untuk perhitungan tulangan geser pada balok adalah :

a. Menentukan V_u

$$V_u = V_p + V_{d+1}$$

Dengan :

V_p = gaya geser akibat momen kapasitas pada kedua ujung balok

V_{d+1} = gaya geser pada balok akibat beban gravitasi

Nilai V_p diambil yang maksimum antara V_{p1} dan V_{p2} dengan rumus

$$V_{p1} = \frac{M_I^- + M_J^+}{L} \quad V_{p2} = \frac{M_I^+ + M_J^-}{L}$$

Dimana :

M_{I-} = Momen kapasitas balok ujung I tulangan atas dalam keadaan Tarik

M_{I+} = Momen kapasitas balok ujung I tulangan bawah dalam keadaan Tarik

M_{J-} = Momen kapasitas balok ujung J tulangan atas dalam keadaan Tarik

M_{J+} = Momen kapasitas balok ujung J tulangan bawah dalam keadaan Tarik

b. Menentukan V_c

$$V_c = 2\sqrt{f_c} b w d$$

Untuk desain struktur rangka pemikul khusus $V_c = 0$ bila memenuhi 2 syarat ini :

1. Gaya aksial tekan terfaktor (termasuk akibat beban gempa) kurang dari $f_c' A_g/20$
2. Gaya geser akibat beban gempa lebih dari atau sama dengan setengah dari gaya geser total yang terjadi di sepanjang bentang balok

c. Menentukan luas tulangan geser A_v

$$A_v = \frac{(V_u/\Theta - V_c)S}{f_{ys}d}$$

Dengan syarat $(V_u/\Theta - V_c) \leq 8 \sqrt{f_c} b d$

Serta nilai factor reduksi kekuatan diambil = 0,75

3.6.3 Penulangan Kolom

1. Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

Perhitungan tulangan kolom dilakukan dengan program ETABS dengan referensi peraturan SNI 2847:2019 dengan besarnya gaya aksial dibatasi sebagai berikut :

$$\Theta P_n(\max) = 0,8 \Theta (0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + (f_y A_{st})) \dots \dots \dots (33)$$

Dimana :

P_n : gaya tekan nominal

A_g luas : luas penampang beton

A_{st} : Luas total penampang tulangan memanjang

Dengan perhitungan besarnya beban aksial dan momen ditentukan sebagai berikut :

$$P_n = P_u / \phi \dots \dots \dots (34)$$

$$M_{nx} = M_{ux} / \phi \dots \dots \dots (35)$$

$$M_{ny} = M_{uy} / \phi \dots \dots \dots (36)$$

M_{ux} = momen arah sumbu x dari perhitungan ETABS

M_{uy} = momen arah sumbu y dari perhitungan ETABS

Perencanaan penulangan longitudinal kolom didasarkan menurut grafik pada buku grafik dan table perencanaan beton bertulang grafik perhitungan absis dan ordinat untuk grafik penulangan kolom

$$\text{Absis} = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f_c}$$

$$\text{Ordinat} = \frac{P_u}{\phi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f_c}$$

$$A_{stot} = A_s \cdot A_g$$

$$n = A_{stot} / A_{st}$$

Dimana :

M_u = Momen yang bekerja pada kolom

P_u = Gaya aksial pada kolom

ϕ = Faktor reduksi (tekan 0,65 dan Tarik 0,85)

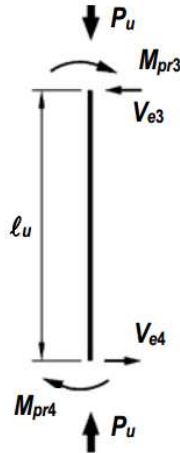
A_{st} = Kebutuhan luas tulangan

N = Kebutuhan jumlah tulangan

2. Perhitungan Tulangan Geser

Gaya geser rencana (V_e) harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum (M_{pr}) harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya. Langkah-langkah perencanaan tulangan geser kolom adalah sebagai berikut:

- Diberikan nilai f'_c, f_y , dan diameter sengkang.
- Hitung momen tumpuan



Gambar 3. 8. Gaya Geser Desain untuk Kolom

- Momen tumpuan atas

$$M_{pr3} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (50)$$

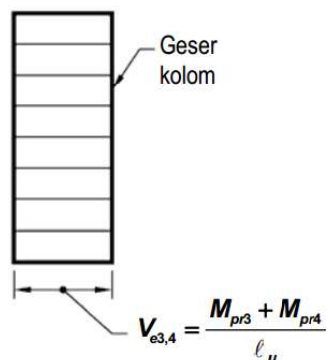
$$\text{Dimana: } a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \dots\dots\dots (51)$$

- Momen tumpuan bawah

$$M_{pr4} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (52)$$

$$\text{Dimana: } a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \dots\dots\dots (53)$$

- c. Hitung reaksi di ujung-ujung kolom



Gambar 3. 9. Gaya Geser Desain untuk Kolom

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{\ell_u} \dots\dots\dots (54)$$

Dimana: ℓ_u = Panjang bentang bersih kolom

d. Hitung kuat geser rencana

$$V_s = \frac{Vu}{\phi} - V_c \dots\dots\dots (55)$$

Dimana $V_c = 0$ apabila: (1) V_e akibat gempa lebih besar $\frac{1}{2} V_u$ dan gaya aksial terfaktor pada

kolom tidak melampaui $\frac{A_g \cdot f_c'}{10}$.

e. Pasang kebutuhan tulangan geser

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} < S_{\max} \dots\dots\dots (56)$$

Dimana:

A_v = Luas tulangan sengkang (mm^2)

f. Cek penampang total tulangan sengkang persegi (A_{sh})

nilai A_{sh} diambil dari yang terkecil yakni sebagai berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (58)$$

$$A_{sh} = 0,09 \cdot \frac{s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \dots\dots\dots (59)$$

Dimana:

s = Jarak antar tulangan geser

b_c = Lebar penampang inti beton yang terkekang

A_g = Luas bersih kolom

A_{ch} = Luas penampang inti beton, dihitung dari serat terluar sengkang keserat terluar sengkang di sisi lainnya.

3. Ketentuan-ketentuan Perhitungan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

a. Persyaratan Geometri

- Besarnya gaya tekan aksial terfaktor P_u tidak boleh kurang dari $\frac{A_g \cdot f_c'}{10}$.

- Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
 - Rasio dimensi penampang terpendek dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4
- b. Persyaratan Tulangan Lentur
- Rasio penulangan dibatasi minimum tidak boleh kurang 0,01 dan maksimum tidak boleh lebih dari 0,06.
 - Sambungan lewatan hanya diizinkan di lokasi setengah panjang elemen struktur yang berada di tengah dan direncanakan sebagai sambungan lewatan tarik serta harus diikat sesuai ketentuan tulangan transversal kolom.
 - Sambungan mekanis tipe 1 (dengan kekuatan 125% kuat leleh batang tulangan yang disambung) untuk penyambungan lentur tidak boleh ditempatkan di lokasi yang berpotensi membentuk sendi plastis, kecuali sambungan mekanis tipe 2 (yaitu sambungan mekanis dengan kekuatan yang lebih kuat dari kuat tarik batang tulangan yang disambung).
- c. Persyaratan Tulangan Geser
- Sengkang harus dipasang di sepanjang ℓ_o , dimana panjang ℓ_o diambil yang terbesar dari:
 - Tinggi penampang struktur kolom pada muka hubungan balok-kolom atau pada segmen yang berpotensi membentuk leleh lentur.
 - **1/6** bentang bersih struktur kolom
 - **450 mm**
 - Spasi tulangan transversal sepanjang ℓ_o tidak lebih dari yang terkecil:
 - **1/4** dimensi minimum kolom
 - **6d** dari tulangan sengkang terkecil
 - S_o persamaan berikut:
$$s_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

Dimana: nilai s_o diambil $100\text{mm} \leq s_o \leq 150$

3.6.4 Joint Balok-Kolom

1. Persyaratan Gaya dan Geometri

- Pada perencanaan hubungan balok-kolom, gaya pada tulangan lentur muka hubungan balok-kolom dapat ditentukan berdasarkan tegangan $1,25 f_y$.
- Pada beton normal, dimensi kolom pada hubungan balok-kolom dalam arah sejajar tulangan balok **minimal 20 kali diameter tulangan balok longitudinal terbesar**.

2. Persyaratan Tulangan Transversal

- Apabila balok-balok dengan lebar minimal **3/4 lebar kolom** merangka pada keempat sisi hubungan balok kolom maka tulangan transversal yang harus dipasang di daerah join hanyalah **1/2 dari yang dipasang dari daerah sendi plastis kolom**. Spasi tulangan transversal pada kondisi ini dapat diperbesar menjadi 150mm.
- Persamaan kuat geser hubungan balok kolom dapat dihitung sebagai berikut:
 - Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka $= 1,7 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j$ (61)
 - Untuk *joint* yang terkekang oleh balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan $= 1,2 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j$ (62)
 - Untuk kasus-kasus lainnya $= 1,0 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j$ (63)

Dimana:

A_j = Luas bersih hubungan balok kolom

- Lebar join efektif tidak boleh melebihi dari yang paling kecil:
 - Lebar balok ditambah tinggi joint.
 - 2x jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

3. Panjang Penyaluran Batang Tulangan dalam Kondisi Tarik

- Untuk ukuran batang tulangan diameter 10 mm sampai diameter 36 mm, panjang penyaluran, ℓ_{db} , untuk batang tulangan dengan kait 90° standar pada beton normal tidak boleh kurang dari:
 - $8 \cdot d_b$
 - 150 mm
 - $\ell_{db} = \frac{f_y \cdot d_b}{5,4 \cdot \sqrt{f_c'}} \dots\dots\dots(64)$

- Bila digunakan tulangan tanpa kait, untuk diameter 10 mm sampai diameter 36 mm, panjang penyaluran tulangan tarik minimal adalah:
 - **2,5x** panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang dari 300mm.
 - **3,5x** panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut lebih dari 300mm.

3.6.5 Perhitungan Shearwall

1. Persyaratan Tulangan Minimum

a. Kebutuhan Tulangan Vertikal dan Horizontal

untuk tulangan vertikal dan horizontal harus minimal 2 lapis jika gaya geser terfaktor yang bekerja pada dinding melebihi:

$$V_u > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (65)$$

Dimana:

A_{cv} = Luasan penampang shearwall

b. Kebutuhan Tulangan Longitudinal dan Transversal

untuk dinding struktural, rasio tulangan longitudinal, ρ_l , dan rasio tulangan transversal, ρ_t , minimum adalah 0,0025, dan spasi maksimum masing-masing arah tulangan adalah 450mm.

Kebutuhan tulangan dapat direduksi jika:

$$V_u \leq 0,083 \cdot \lambda \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (66)$$

Maka ρ_l dan ρ_t dapat direduksi yakni:

- Rasio minimum luas tulangan vertikal ρ_t
 - 0,0012 untuk tulangan kurang dari D16 dengan f_y minimal 420 Mpa.
 - 0,0015 untuk tulangan ulir lainnya
 - 0,0012 untuk tulangan kawat las maksimum D16
- Rasio minimum luas tulangan horizontal ρ_l
 - 0,0020 untuk tulangan kurang dari D16 dengan f_y minimal 420 Mpa.
 - 0,0025 untuk tulangan ulir lainnya
 - 0,0020 untuk tulangan kawat las maksimum D16

2. Tulangan Geser Dinding

special boundary element jika jarak c (sumbu netral) dari serat terluar zona tekan lebih besar dari nilai berikut:

$$c > \frac{l_w}{600 \cdot \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} \dots\dots\dots (67)$$

Dimana:

δ_u = Perpindahan maksimum dinding geser pada puncak gedung dalam arah pembebanan gempa yang ditinjau.

c = Panjang garis netral untuk gaya aksial tekan terfaktor (P_u) dan kapasitas momen nominal penampang (M_u).

Dengan nilai $\frac{\delta_u}{h_w}$ minimal adalah 0,007

3.6.6 Perhitungan Dilatasi

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6 penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat (δ_x) harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I}$$

Keterangan :

C_d : faktor amplifikasi defleksi

δ_{xe} : defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis.

I : faktor keutamaan gempa.

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) seperti pada tabel tingkat.

Tabel 3. 14. Simpangan Antar Lantai Ijin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,150 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Keterangan: h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x