

BAB II

TINJAUN PUSTAKA

2.1 *Building Information Modeling* (BIM)

2.1.1 Definisi BIM

Di dunia konstruksi, salah satu jenis pengembangan metode adalah pemodelan informasi bangunan, atau BIM. *Building Information Modeling* (BIM) adalah sistem yang menggunakan banyak program pendukung yang terintegrasi satu sama lain dan secara akurat memvisualisasikan data proyek dalam bentuk 3D. Penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) yang memungkinkan perencanaan terpadu semacam ini, memfasilitasi komunikasi dan kolaborasi yang lebih mudah di antara semua tim proyek untuk mengembangkan proses konstruksi yang efektif dan efisien. Meskipun konstruksi belum dimulai, hasil dari pekerjaan dapat dilihat menggunakan model 3D yang dibuat menggunakan BIM. (Wibowodkk, 2020). Menurut Jurnal PUPR (2018) Penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) konflik dapat dihindari atau diminimalkan dengan menggunakannya untuk mencegah sesegera mungkin terjadinya keterlambatan dalam pekerjaan konstruksi.

Menurut HH.Dananjaya (2021) Klasifikasi *Building Information Modeling* (BIM) berdasarkan fungsinya adalah sebagai berikut :

1. 2D : Berupa model yang di tampilkan dalam bentuk sketsa berisikan tentang data ukuran panjang dan lebar. Model ini dapat didesain secara manual maupun menggunakan CAD.
2. 3D : Proses pembuatan gambar dua dimensi menjadi model tiga dimensi yang dapat memvisualisasikan sesuai dengan bentuk asli bangunan. Model 3D sangat membantu untuk merencanakan dan mengidentifikasi kemungkinan *clash* di dalam struktur.

3. 4D : Penggabungan model 3D dengan penjadwalan yang disimulasikan. Simulasi 4D seringkali digunakan untuk membandingkan antara rencana dengan realisasi di lapangan.
4. 5D : Model ini merupakan hasil dari integrasi desain 3D dan 4D dengan biaya, yang terkait dengan komponen model. Estimasi biaya dilakukan dengan menggunakan model 5D ini.
5. 6D : BIM 6D merupakan penggabungan antara BIM 5D dengan siklus bangunan termasuk analisis energi. Hal ini memerlukan penambahan data yang relevan untuk membantu manajemen dan pengoperasian dengan harapan dapat meningkatkan hasil dan juga dapat menurunkan konsumsi energi keseluruhan.
6. 7D : Untuk meningkatkan manajemen aset mulai dari desain hingga pembongkaran, simulasi CAD 7D dan BIM 7D terhubung untuk digunakan dalam operasi dan pemeliharaan gedung.



Gambar 2. 1 Multi Dimensi BIM

(Sumber : Piranusa.com)

Pada awal tahun 2000-an BIM mulai dikenal melalui kebijakan, standarisasi dan peningkatan untuk lebih mudah diakses. Proyek yang menggunakan BIM cenderung mengalami insiden dan pengerjaan ulang (*rework*) yang lebih rendah dibandingkan pengerjaan proyek tanpa menggunakan BIM. Penggunaan BIM dalam proyek dapat mengurangi *rework* yang timbul dari perubahan permintaan

owner, kesalahan *design* sehingga dapat meningkatkan tenaga pekerjaan, biaya dan meningkatkan efisiensi penyelesaian proyek konstruksi (Hwang dkk, 2019).

2.1.2 Manfaat BIM

Menurut dinas PUPR (2020) terdapat beberapa manfaat penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) diantaranya :

1. Rencana gambar yang akan dibangun dapat dipahami dengan lebih baik berkat gambar 3 dimensi yang disediakan oleh BIM.
2. Penggunaan BIM dapat memudahkan perhitungan volume pekerjaan dengan akurat dan cepat.
3. BIM akan memberikan data rencana biaya atau RAB untuk setiap komponen pekerjaan sehingga kita dapat memperkirakan biaya dari satu komponen pekerjaan.
4. BIM dapat menyajikan desain 3 dimensi untuk proyek – proyek rumit seperti bracing pada konstruksi jembatan, dan gedung.
5. BIM digunakan untuk mengelola informasi proyek dengan cepat dan benar dari pada hanya menampilkan gambar animasi bangunan.
6. Memanfaatkan BIM di awal pekerjaan berfungsi sebagai pendeteksi benturan. Kita dapat menentukan apakah akan ada konflik antara desain rencana 2D ini dengan gambar-gambar lain, terutama gambar-gambar untuk sistem struktur, arsitektur, dan MEP, jika digunakan di lapangan.
7. Kemampuan untuk berkoordinasi dengan lancar antara kontraktor dan pemilik atau konsultan kapan pun dan di mana pun adalah keuntungan lain dari penggunaan BIM. Pemilik akan dapat mengakses BIM setelah diunggah ke penyedia komputasi awan. Pemilik akan meninjau gambar menggunakan layanan komputasi awan dan memberikan tanda jika ada yang salah.

2.2 Software BIM

2.2.1 Autodesk Revit

Pembuatan modeling saat ini telah banyak berubah yang pada awalnya *software* CAD lebih sering digunakan akan tetapi penggunaan BIM sekarang dinilai lebih efisien dan akurat. Revit merupakan salah satu dari aplikasi BIM keluaran *Autodesk* yang berfokus pada *3D modeling* mencakup pemodelan struktur, arsitektur, dan MEP yang terintegrasi. Kolaborasi di banyak ilmu memungkinkan resolusi cepat perubahan desain dan mengurangi kemungkinan kesalahan yang ditimbulkan oleh manusia.



Gambar 2. 2 *Autodesk Revit*
(Sumber : *Autodesk Revit* 2025)

Perhitungan volume yang sangat akurat untuk model kerja dapat didukung oleh *Autodesk Revit*. Selain itu, *Autodesk Revit* memudahkan untuk menghitung estimasi biaya dengan cepat dan memungkinkan mereka untuk diekspor sebagai file *Microsoft Excel*. Dengan mengintegrasikan perangkat lunak, *Autodesk Revit* dapat mendukung proses perencanaan dan mengidentifikasi desain desain terdistribusi. Hal ini menjadikan proses dalam pekerjaan semakin cepat. (Marizan, 2019).

2.2.2 SAP 2000

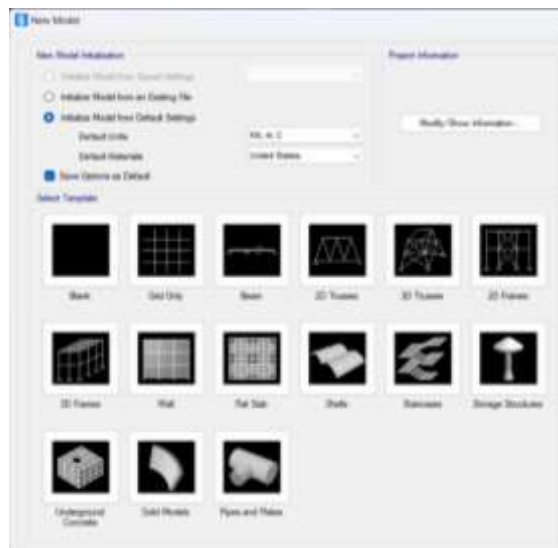
SAP 2000 merupakan *software* yang digunakan untuk mengevaluasi dan merancang semua sistem struktural selama proses desain bangunan. Berdasarkan parameter dalam AISC LRFD99, SAP 2000 dapat memodelkan, merancang, dan menganalisis struktur sederhana hingga kompleks dalam 2D dan 3D.



Gambar 2. 3 SAP2000

(Sumber : binus.co.id)

Didalam SAP 2000 menu *Newmodel* terdapat beberapa pilihan *template* diantaranya seperti *Grid only*, *Beam*, *2D trusses*, *3D trusses*, *2D frames*, *3D frames*, *Wall*, *Flat slab*, *Shells*, *Stair cases*, *Storage structures*, dan lain-lain seperti pada gambar. Permodelan *material* beton, aluminium, baja, hingga *material* campuran juga didukung oleh *software* ini. Pada tampilan *Newmodel* juga terdapat pilihan untuk satuan yang akan digunakan.

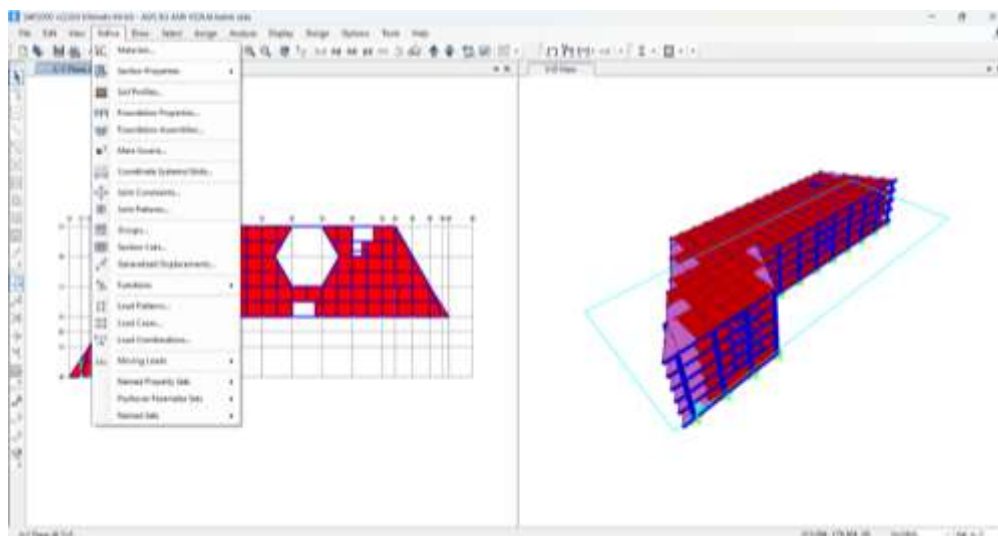


Gambar 2. 4 New Model

(Sumber : Analisis Pribadi)

SAP 2000 memiliki beberapa fungsi untuk mendukung pemodelan struktural dalam menu bar utama, seperti menu "edit" yang digunakan untuk mengedit line, menduplikat, undo redo dan lain hal. Menu "view" digunakan untuk mengatur tampilan model dalam 3D atau 2D, di dalam menu ini juga berisi perintah untuk menampilkan atau menyembunyikan garis, sumbu koordinat, nomor element,

nomor join, dll. Lalu terdapat menu “*define*” yang digunakan untuk menentukan/memodifikasi bahkan menambah pemilihan *material* yang akan digunakan, menentukan titik pusat masa, menganalisis data beban gempa, menambahkan beban beban yang bekerja pada struktur. Kemudian ada menu “*draw*” yang berisi perintah untuk menambah *joint*, menggambar element *frame/tendon/cable*. Menu “*Assign*” digunakan untuk menentukan menentukan beban static pada *joint/element frame*, menentukan *pattern* dari *joint* yang dipilih, maupun menentukan jenis tumpuan yang akan digunakan pada model. Selanjutnya ada menu “*Analyze*” yang digunakan untuk menjalankan analisis model program SAP2000.



Gambar 2. 5 Menu Bar SAP2000

(Sumber : Analisis Pribadi)

2.2.3 *Microsoft Project*

Microsoft Project merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk merencana penjadwalan pada proyek bangunan. *Microsoft Project* memiliki beberapa fitur lain termasuk melacak kebutuhan tenaga kerja untuk setiap industri, dan memperkirakan biaya proyek.

(Fransisko Wowor, 2018) ada beberapa manfaat menggunakan *Microsoft Project* diantaranya :

1. Melacak semua informasi proyek dalam database, termasuk pengeluaran, jalur kritis, sumber daya yang digunakan, data dan tautannya, dan banyak lagi.
2. Membuat garis waktu proyek menggunakan data untuk menghitung dan memantau pengeluaran, data, dan item lainnya.
3. Melakukan pengecekan terhadap suatu proyek apakah berjalan sesuai *timeline* yang telah dibuat dan dapat diselesaikan tepat waktu atau ada keterlambatan, serta dapat mengetahui apakah sesuai anggaran atau tidak.



Gambar 2. 6 *Microsoft Project*

(Sumber : Google)

2.2.4 Naviswork

Autodesk Navisworks menawarkan solusi menyeluruh untuk tinjauan proyek yang memfasilitasi koordinasi, analisis, dan berbagi maksud desain dan konstruksi. Program ini memungkinkan data desain multidisiplin yang dihasilkan oleh beberapa perangkat lunak desain BIM diintegrasikan ke dalam satu model proyek. Untuk memperkirakan dan mencegah masalah di masa depan dengan proyek, Pada akhirnya, perangkat lunak ini dapat mengurangi penundaan dan pengerjaan ulang dengan menyediakan fitur seperti manajemen kesalahan dan deteksi tabrakan.

Perangkat lunak ini juga memungkinkan integrasi keuangan proyek dan kerangka waktu untuk memungkinkan simulasi dan analisis 4D dan 5D. (Autodesk, 2025).



Gambar 2. 7 *Autodesk Naviswork*
(Sumber : *Autodesk Naviswork 2025*)

2.3 Standar Perencanaan Gedung Bertingkat

Desain bangunan bertingkat melibatkan sejumlah prosedur analitis dan komputasi yang bertujuan menghasilkan data statis yang berguna sambil menjaga kenyamanan dan keamanan bagi penggunanya. Berdasarkan (SNI 1727:2020) Desain bangunan bertingkat harus mematuhi prinsip-prinsip desain bangunan, beban minimum dan penilaian risiko. Desain mencakup kombinasi beban yang harus sesuai dengan tegangan izin untuk desain struktur. Hal ini semua dilakukan untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang diakibatkan kegagalan struktur yang dapat mengancam keselamatan pengguna.

Berikut merupakan pedoman dan peraturan SNI yang digunakan antara lain:

1. SNI 1726:2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non-Gedung.
2. SNI 1727:2020 tentang Perencanaan Struktur Beton Bertulang pada Bangunan Gedung
3. SNI 2847:2019 membahas Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem struktural dengan seluruh ruang beban gravitasi disebut sistem rangka pemikul momen sedangkan rangka pemikul momen menggunakan mekanisme lentur untuk menopang beban melintang akibat gempa. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) (SNI 1726:2019).

SRPMK merupakan sistem rangka pemikul moment di mana sambungan dan bagian struktural mampu menahan tekanan aksial, geser, dan lentur di area aktif seismik (zona gempa 5). Pada sistem SRPMK gaya lateral dan gaya gravitasi didistribusikan pada setiap tingkatan lantai yang disebarkan pada semua balok dan kolom dengan detail yang khusus di wilayah gempa tinggi. Portal SRPMK juga harus dapat memastikan bahwa kekuatan kolom lebih besar dari kekuatan balok. Portal yang dibuat dengan SRPMK menerima sambungan plastik di kedua ujung kolom dan balok.

2.5 Pembebanan

Sangat penting untuk mematuhi pedoman atau peraturan yang berlaku untuk merencanakan suatu bangunan gedung bertingkat. Hal ini bertujuan agar struktur bangunan yang diproduksi di lapangan konstruksi tahan terhadap berbagai beban yang dapat membahayakan integritas struktur bangunan, termasuk beban angin, beban mati, beban hidup, dan beban seismik. (Tugiono, 2021).

Perencanaan pembebanan didasarkan pada standar Desain Minimum Beban dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727-2020, terkait ketentuan pembebanan bangunan gedung yang disyaratkan. Suatu struktur dapat dikatakan sebagai struktur yang stabil apabila struktur tersebut dapat menahan beban gravitasi dan beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Berikut merupakan macam – macam dari beban, antara lain :

2.5.1 Beban Mati

Berat bangunan itu sendiri dalam bentuk komponen integral disebut sebagai beban mati. Misalnya, dinding, lantai, langit-langit, atap, tangga, dan elemen lainnya, seperti bagian struktural dan arsitektur (SNI 1727:2020 pasal 3.1.1).

Berat beban mati dihitung berdasarkan berat bahan bangunan, jika nilai berat suatu bahan tidak diketahui, itu ditentukan dengan persetujuan resmi. (SNI 1727:2020 pasal 3.1.2).

Beban mati dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Beban mati (D) beban struktural, seperti beban dari kolom, balok dan langit-langit, atau beban mati itu sendiri
2. *Super Dead Load* (SDL) atau beban mati tambahan berasal dari elemen tambahan yang dipasang secara permanen di gedung, seperti *finishing*, dinding partisi, sistem elektrik.

Tabel 2. 1 Beban Mati Desain Minimum

Komponen	Keterangan	Beban (kN/m ²)
Rangka partisi, kayu / baja tebal 13 mm, gypsum board	Setiap sisinya	0,19
Bata ringan	Tebal 10 mm	0,935
Pasangan bata berongga	Tebal 15 mm	1,48
Mekanikal dan elektrik		0,19
Plumbing dan hydrant		1,7

(Sumber : SNI 1727:2020 (Tabel C.3.1-1))

Tabel 2. 2 Beban Desain Minimum dan *Material*

Komponen	Keterangan	Beban (kN/m ²)
Beton	Batuan (termasuk kerikil)	22,6
Beton bertulang	Batuan (termasuk kerikil)	23,6
Kerikil	Kering	16,3

Pasir	Kering	14,1
Pasir sungai	Kering	16,7
Semen portland	Loose	14,1
Baja		78,5
Besi	Canai dingin	77,3
Tanah lanau, gembur, basah	Loose	12,3
Tanah lanau		17
Mortar Plesteran	Setiap permukaan	0,24
Air		9,7

(Sumber : SNI 1727:2020 (Tabel C.3.1-2))

2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup atau *Live Load* adalah beban yang bersumber dari fungsi dan aktivitas bangunan itu sendiri. Seperti barang-barang yang digunakan didalam bangunan yang dapat berpindah dan tidak terikat pada bangunan. Menurut SNI 1727:2020 pasal 4.1 beban hidup diakibatkan oleh pengguna bangunan tidak tergolong beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban mati, beban angin, beban gempa, dan beban hujan.

Ketentuan dari beban hidup pada bangunan gedung diambil berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1727:2020 yang berlaku.

Tabel 2. 3 Jenis dan Besar Beban Hidup

Komponen	Beban (kN/m ²)
Dak Atap	2,4
Lobby	4,79
Digital Room	4,79
Toilet	1,92
Kantor	2,72
MEP	3,00
Kelas	2,87

Koridor	3,83
Theater	3,83

(Sumber : SNI 1727:2020 (Tabel 4.3-1))

2.5.3 Beban Angin (*Wind Load*)

Fumigasi, atau adanya tekanan positif dan negatif yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan struktur yang sedang diselidiki, dapat menciptakan beban yang disebut beban angin. Tekanan positif dan negatif dalam kilogram per meter persegi diperoleh dengan mengalikan tekanan angin dengan koefisien angin.

Bangunan gedung dan struktur lainnya, termasuk sistem penahan tenaga angin utama (SPGAU) dan semua komponen bangunan dan kelongsong (K&K), wajib dibangun dan dibangun sesuai dengan SNI 1727-2020 pasal 26.1.1 untuk menopang beban angin sebagaimana ditentukan dalam pasal 26 sampai dengan 31. Karakteristik dasar angin didefinisikan dalam pasal ini dan dapat digunakan bersama dengan persyaratan standar SNI 1727-2020 lainnya.

Tabel 2. 4 Faktor Arah Angin

Tipe struktur	Faktor arah angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	0,90
Persegi	0,95
Segi enam	1,0 ^a
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

(Sumber : SNI 1727:2020)

2.5.4 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Earthquake Load (E) atau Beban Gempa merupakan gaya dalam struktur yang muncul akibat pergeseran tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi. Pada perencanaan ini, digunakan pedoman berdasarkan SNI 1726:2019 untuk perhitungan beban gempa dan analisa. Berikut adalah beberapa faktor yang penting saat merencanakan dan menganalisa beban gempa :

1. Kategori Resiko Bangunan

Kategori risiko bangunan dikategorikan menurut SNI 1726:2019 berdasarkan sejumlah faktor, termasuk kegunaan dan tujuan bangunan.

Tabel 2. 5 Kategori resiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, 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 nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV
--	----

(Sumber : SNI 1726:2019 tabel 3)

Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber SNI 1726:2019 tabel 4)

2. Klasifikasi Situs

Pada SNI 1726:2019 jenis tanah ditentukan berdasarkan hasil pengujian tanah dan penyelidikan tanah. Koefisien parameter spectral percepatan gempa maksimum dalam watu tertentu dipengaruhi pada nilai kelas dalam klasifikasi situs untuk pengelompokkan tanah pada suatu bangunan.

Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 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 - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

(Sumber : SNI 1726: 2019)

Tabel 2. 8 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_e					
	$S_e \leq 0,25$	$S_e = 0,5$	$S_e = 0,75$	$S_e = 1,0$	$S_e = 1,25$	$S_e \geq 1,5$
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	$SS^{(a)}$					

(Sumber : SNI 1726: 2019 Tabel 6)

Tabel 2. 9 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_T					
	$S_T \leq 0,1$	$S_T = 0,2$	$S_T = 0,3$	$S_T = 0,4$	$S_T = 0,5$	$S_T \geq 0,6$
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	$SS^{(1)}$					

(Sumber : SNI 1726: 2019 Tabel 7)

3. Kategori Desain Seismik

Pasal 6.5 Tabel 8 dan tabel 9 SNI 1726:2019 mencantumkan periode 1 detik ($SD1$) dan parameter respons percepatan periode pendek (SDS) sebagai dasar untuk kategori desain.

Tabel 2. 10 Kategori Design Seismik berdasarkan SDS

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

(Sumber : SNI 1726: 2019 Tabel 8)

Tabel 2. 11 Kategori Design Seismik berdasarkan $SD1$

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

(Sumber : SNI 1726: 2019 Tabel 9)

Untuk mendapatkan nilai SDS dan $SD1$ bisa menggunakan dua metode, yaitu mengalikan koefisien situs dengan parameter *respons spectral* percepatan respons gempa MCE_R (SS atau $S1$) seperti pada rumus berikut:

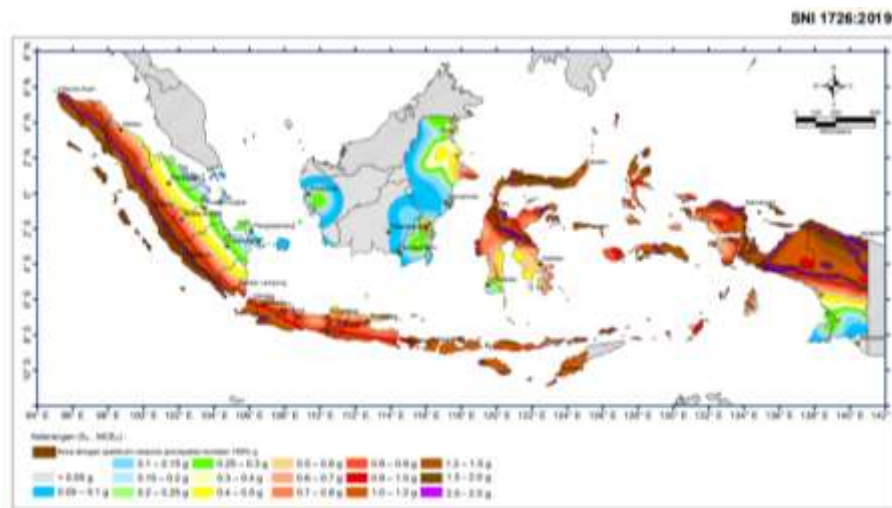
$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Selain dengan metode tersebut, untuk mendapatkan nilai SS dan S1 dapat ditentukan melalui web RSA Desain Spektra Indonesia yang disediakan oleh pemerintah, melalui Direktorat Bina Teknik Pemukiman dan Perumahan. Penentuan nilai SDS dan SD1 pada web ini bergantung pada kondisi pada koordinat geografis wilayah yang akan dianalisis.

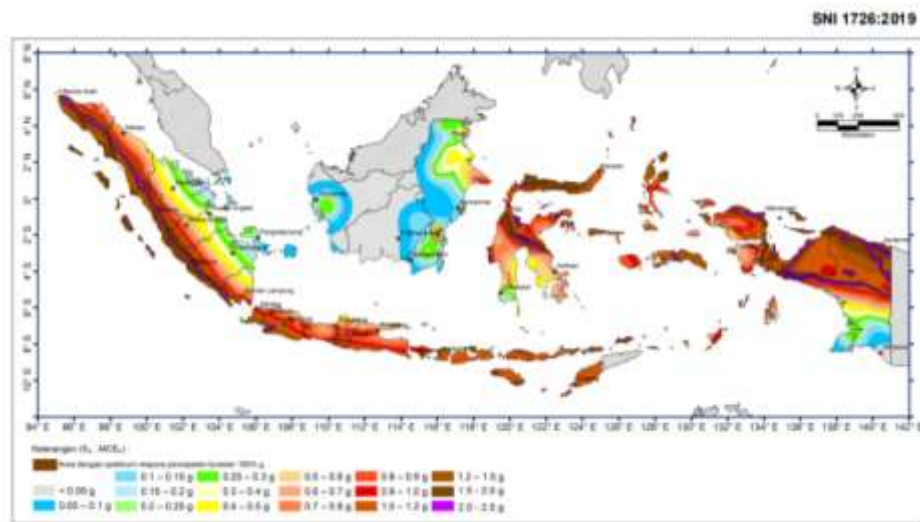
4. Parameter percepatan *respons spectral*

Parameter *spectrum respons* berpedoman pada SNI 1726:2019 pasal 6.2, Gambar 15 dan 16 SNI 1726:2019 menunjukkan kecepatan periode gempa pendek (Ss) dan periode 1 detik (S1) yang dimodifikasi untuk kelas situs untuk memberikan koefisien situs berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 SNI1726:2019.



Gambar 2. 8 parameter gerak tanah (Ss)

(Sumber : SNI 1726: 2019 gambar 15)



Gambar 2. 9 parameter gerak tanah (S1)

(Sumber : SNI 1726: 2019 gambar 16)

5. Parameter Percepatan *Spectral Design* dan *Spectrum Response Design*

Desain respons spektrum didasarkan pada Pasal 6.4 SNI 1726:2019, dan transisi ke periode panjang (TL) ditunjukkan pada peta Gambar 20 SNI 1726:2019. Parameter percepatan desain spektral didasarkan pada Pasal 6.3 SNI 1726:2019. Berikut merupakan tabel rumus untuk menetapkan nilai S_a sesuai SNI 1726:2019.

Tabel 2. 12 Rumus Nilai S_a

Keadaan	Rumus yang digunakan
$T < T_0$	$S_a = SDS (0,4 + 0,6 \times \frac{1}{T}) T_0$
$T \geq T_0$ dan $T \leq T_s$	$S_a = SDS$
$T > T_s$ dan $T \leq T_L$	$S_a = \frac{SD1}{T}$
$T > T_L$	$S_a = \frac{SD1 \times T_L}{T^2}$

(Sumber : SNI 1726:2019)

Keterangan:

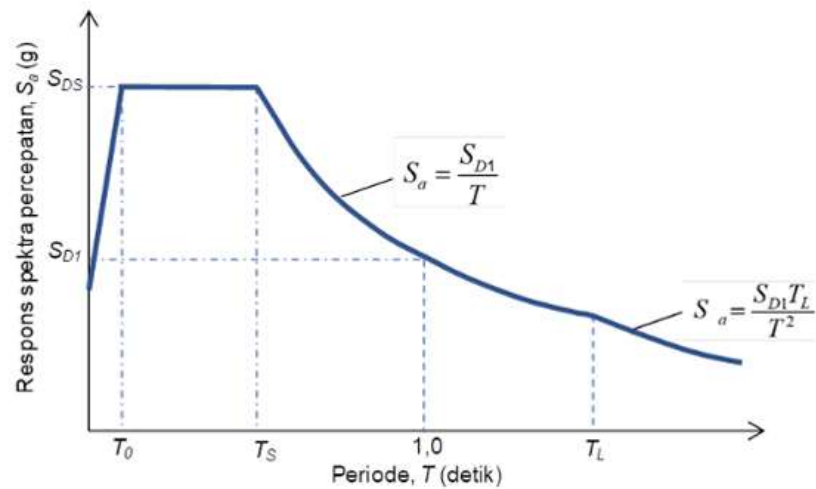
SDS = Parameter *respons spectral* percepatan desain periode pendekSD1 = Parameter *respons spectral* percepatan desain periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

 $T_0 = 0,2 \cdot SD1/SDS$

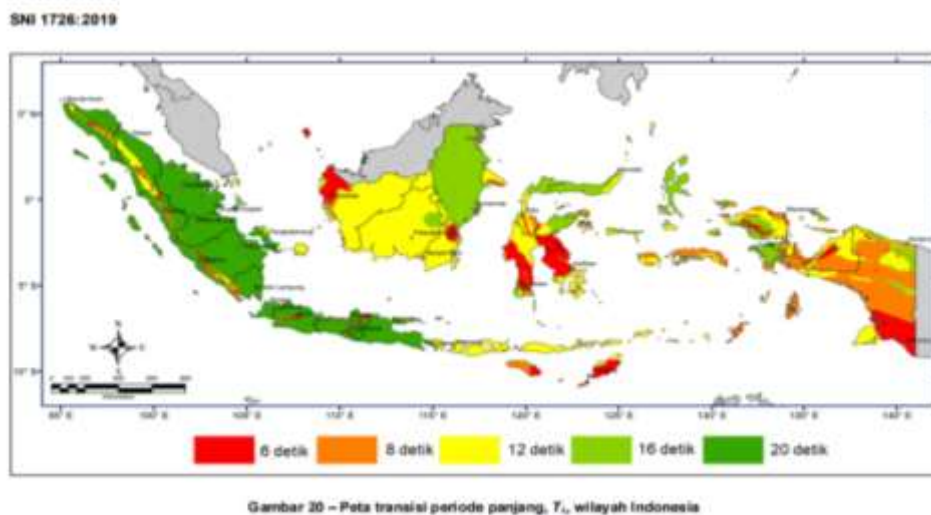
$$T_s = S_{D1}/S_{DS}$$

T_L = Diperoleh dari peta transisi periode panjang pada gambar berikut



Gambar 2. 10 Grafik Respons Spektra percepatan

(Sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 2. 11 Peta Transisi Periode Panjang T_L , Wilayah Indonesia

(Sumber : SNI 1726:2019 Gambar 20)

6. *Design* Seismik Struktur Bangunan Gedung

Pasal 7 SNI 1726:2019 mengatur desain bangunan gedung. Pasal 7.2 mengatur sistem bantalan daya, dan Tabel 12 SNI 1726:2019 telah diubah

untuk memasukkan faktor-faktor untuk sistem bantalan gaya seismik. Pasal 7.8 SNI 1726:2019 mengatur metode gaya geser ekuivalen. Pasal 7.8.2 menentukan periode, dengan koefisien untuk cap pada periode perhitungan (C_u) berdasarkan Tabel 17 SNI 1726:2019. Nilai C_t dan X , disesuaikan dengan tipe struktur yang didefinisikan dalam Tabel 18 SNI 1726:2019, mempengaruhi penentuan periode perkiraan fundamental (T_a).

Tabel 2. 13 Koefisien C_u

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

(Sumber : SNI 1726: 2019 Tabel 17)

Tabel 2. 14 Nilai Koefisien C_t dan x

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

(Sumber : SNI 1726: 2019 Tabel 18)

Sistem pemikul gaya *seismic* mempunyai nilai – nilai yang berbeda untuk R , Ω_0 , dan C_d . Berikut merupakan tabel sesuai SNI 1726:2019.

Tabel 2. 15 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	Ti
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	Ti ^h	Ti ^h
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	Ti ⁱ	Ti ⁱ	Ti ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^g	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	Ti	Ti	Ti
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	Ti	Ti	Ti	Ti
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dari beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	Ti	Ti	Ti
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	Ti	Ti
11. Rangka baja dari beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	Ti	Ti	Ti	Ti
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ^h	3½	3 ^h	3½	10	10	10	10	10

(Sumber : SNI 1726: 2019)

2.5.5 Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen, dan elemen pondasi harus berdimensi sedemikian rupa sehingga, dalam kombinasi berikut, kekuatan rencana sama atau melebihi pengaruh beban yang dimaksudkan. (SNI 1727:2019)

- Komb 1 : 1,4D + 1,4 SDL
- Komb 2 : 1,2 D + 1,2 SDL +1,6 LL
- Komb 3 : 1,324 D + 1,324 SDL + 1 LL + 1 EDx + 0,3 Edy
- Komb 4 : 1,324 D + 1,324 SDL + 1 LL + 1 EDx - 0,3 Edy
- Komb 5 : 1,324 D + 1,324 SDL + 1 LL - 1 EDx+ 0,3 Edv
- Komb 6 : 1,324 D + 1,324 SDL + 1 LL - 1 EDx - 0.3 Edv
- Komb 7 : 1,324 D + 1,324 SDL + 1 LL + 1 EDx + 0,3 Edx
- Komb 8 : 1,324 D + 1,324 SDL + 1 LL + 1 EDx - 0,3 Edx
- Komb 9 : 1,324 D + 1,324 SDL + 1 LL - 1 EDx + 0,3 Edx
- Komb 10 : 1,324 D + 1,324 SDL + 1LL - 1 EDx - 03 Edx
- Komb 11 : 0,77 D + 0.77 SDL + 1 EDx + 03 Edy

- Komb 12 : $0,77 D + 0,77 SDL + 1 ED_x - 0,3 ED_y$
- Komb 13 : $0,77 D + 0,77 SDL - 1 ED_x + 0,3 ED_y$
- Komb 14 : $0,77 D + 0,77 SDL - 1 ED_x - 0,3 ED_y$
- Komb 15 : $0,77 D + 0,77 SDL + 1 ED_y + 0,3 ED_x$
- Komb 16 : $0,77 D + 0,77 SDL + 1 ED_y - 0,3 ED_x$
- Komb 17 : $0,77 D + 0,77 SDL - 1 ED_y + 0,3 ED_x$
- Komb 18 : $0,77 D + 0,77 SDL - 1 ED_y - 0,3 ED_x$
- Komb 19 : $1,2 D + 1,2 SDL + 0,5 W_x$
- Komb 20 : $1,2 D + 1,2 SDL - 0,5 W_x$
- Komb 21 : $1,2 D + 1,2 SDL + 0,5 W_y$
- Komb 22 : $1,2 D + 1,2 SDL + 0,5 W_y$
- Komb 23 : $1,2 D + 1,2 SDL + 0,375 W_x + 0,375 W_y$
- Komb 24 : $1,2 D + 1,2 SDL - 0,375 W_x - 0,375 W_y$
- Komb 25 : $1,2 D + 1,2 SDL + 1 LL + 1 W_x$
- Komb 26 : $1,2 D + 1,2 SDL + 1 LL - 1 W_x$
- Komb 27 : $1,2 D + 1,2 SDL + 1 LL + 1 W_y$
- Komb 28 : $1,2 D + 1,2 SDL + 1 LL - 1 W_y$

Keterangan :

- D : Beban mati sendiri struktur
- SDL : Beban mati tambahan pada struktur
- LL : Beban hidup
- ED_x : Beban gempa arah X (dipilih beban gempa dinamik)
- ED_y : Beban gempa arah Y (dipilih beban gempa dinamik)
- W_x : Beban angin, beban yang dihasilkan oleh tekanan angin arah X
- W_y : Beban angin, beban yang dihasilkan oleh tekanan angin arah Y
- Lo : Beban hidup dari luasan struktur tanpa tereduksi

2.6 Preliminary design

2.6.1 Perencanaan Balok

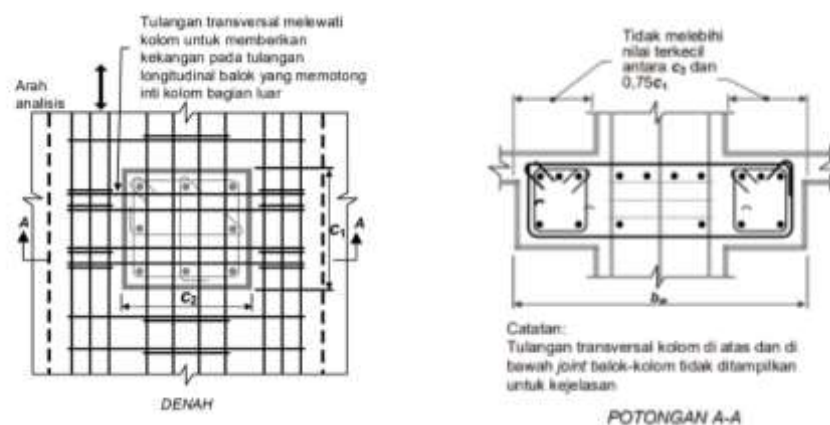
Standar untuk balok SRPMK telah dimuat dalam SNI 2847 : 2019 Pasal 18.6, Pasal ini berlaku untuk balok rangka dengan torsi spesifik, termasuk persyaratan untuk komponen rangka yang terkena tekanan aksial lebih besar dari $Ag.f'_c/10$ dan dapat menyerap beban melintang akibat pergerakan seismik. Hal itu berakibat pada setiap kombinasi beban yang harus dirincikan lebih dan memenuhi standar yang berlaku.

Menurut persyaratan SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1 disebutkan, untuk menentukan batasan dimensi suatu balok menggunakan acuan berikut:

1. Bentang bersih, $\ell_n \geq 4 \times$ tinggi efektif,
2. Lebar penampang $b_w > 0,3 h$ dan $b_w \geq 250$ mm,
3. Lebar proyeksi balok melintasi lebar kolom tidak diperbolehkan melebihi nilai c_2 dan $0,75c_1$ yang lebih kecil pada setiap sisi kolom.

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 9.3.1.1. menggunakan rumus:

1. Untuk tinggi balok (h) Dua tumpuan sederhana : $h = L/16$
2. Untuk lebar balok (b) : $b = 2/3h$.



Gambar 2. 12 Lebar efektif maksimum balok lebar (*wide beam*) dan persyaratan tulangan transversal

(Sumber : SNI 2847:2019 gambar R18.6.2)

Tabel 2. 16 Tinggi Minimum Balok

Kondisi Perletakan	Tinggi Minimum
Perketakan sederhana	$L/16$
Menerus satu sisi	$L/18,5$
Menerus dua sisi	$L/21$
kantilever	$L/8$

(Sumber : SNI 2847:2019)

2.6.2 Perencanaan Pelat Lantai

Pelat adalah elemen struktural tipis dan permukaan datar yang digunakan dalam perencanaan struktural yang memiliki rasio panjang-ke-lebar daripada ketebalan dan dimaksudkan untuk secara langsung menopang dan menahan beban mati dan beban hidup. Terdapat 2 sistem pelat, yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).

Menentukan pelat 1 arah / 2 arah dengan rumus sebagai berikut :

$$Ln = \frac{Ly}{Lx}$$

Keterangan :

Ln : jarak bersih ke tumpuan memanjang.

Lx : bentang Pendek

Ly : bentang Panjang

Apabila didapatkan $Ln \leq 2$, maka digunakan pelat dua arah. Pelat dua arah ditopang pada setiap sisi tumpuannya dan distribusi beban ke dua arah, X dan Y. Apabila didapatkan dalam hal rasio bentang besar dan pendek lebih besar dari dua, pedoman SNI 2847:2019 tentang pelat satu arah harus diikuti.

Tabel 2. 17 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang 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	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

^[1] ℓ_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)

^[2]Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear

^[3]*Drop panel* sesuai 8.2.4

^[4]Pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_r kurang dari 0,8. Nilai α_r untuk balok tepi harus dihitung sesuai 8.10.2.7

(Sumber : SNI 2847:2019 tabel 8.3.1.1)

Untuk pelat nonprategang tanpa balok dalam dipasang di semua sisi antara alas dengan rasio maksimum bentang lebar hingga bentang pendek dua, ketebalan total lembaran (h) harus kurang dari batas atas yang ditentukan dalam SNI 2847:2019, bagian 8.3.1.1. Ketebalan pelat keseluruhan (h) untuk pelat non-prategang dengan balok yang dijepit di kedua sisi di antara alas harus memenuhi kriteria SNI. 2847:2019.

Tabel 2. 18 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua isinya (mm)

α_{dm} ^[1]	h minimum, mm	
$\alpha_{dm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku (a)	
$0,2 < \alpha_{dm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 3\beta(\alpha_{dm} - 0,2)}$ (b) ^{[2],[3]}
		125 (c)
$\alpha_{dm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$ (d) ^{[2],[3]}
		90 (e)

(Sumber : SNI 2847:2019 tabel 8.3.1.2)

2.6.3 Perencanaan Kolom

Dimensi kolom yang direncanakan untuk SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) berpedoman pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1 :

1. 300 mm adalah batas minimum dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri.
2. 0,4 menjadi batas minimum rasio dimensi penampang terkecil, terhadap dimensi tegak lurus

Dimensi kolom dapat direncanakan dari persamaan :

$$\frac{h_{kolom}}{I_{kolom}} > \frac{h_{balok}}{I_{balok}}$$

Keterangan :

h_{kolom} : Tinggi bersih kolom

I_{kolom} : Inersia kolom

h_{balok} : Tinggi bersih balok

I_{balok} : Inersia balok

SNI 2847:2019 pasal 18 menjadi pedoman perancangan dimensi kolom , yaitu :

1. Kolom-kolom pada SRPMK merupakan bagian pemikul gaya seismik dan didesain bertujuan untuk menahan gaya geser, lentur, dan gaya aksial.
2. Beban aksial terfaktor yang diterima lebih besar dari $A_g \cdot f'_c / 10$

2.7 Penulangan Struktur

2.7.1 Penulangan Balok

2.7.1.1 Penulangan Lentur Balok

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6 aturan dan tata cara perencanaan penulangan lentur balok adalah sebagai berikut :

1. Tulangan (A_s) yang tersedia pada setiap penampang komponen struktur lentur, baik tulangan atas maupun tulangan bawah, harus memenuhi spesifikasi berikut :

$$A_s \geq 0,025 \times b_w \times d$$

Batas maksimum rasio tulangan $\rho \leq 0,025$, baik untuk tulangan atas maupun tulangan bawah.

2. Kekuatan momen positif pada permukaan sambungan tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif di sambungan.
3. Kekuatan momen maksimum pada muka kedua sambungan tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen positif dan negatif pada setiap penampang sepanjang bentang komponen struktur.

Perhitungan penulangan lentur balok :

$$M_n = \frac{m_u}{\phi}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m_n} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m_n \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

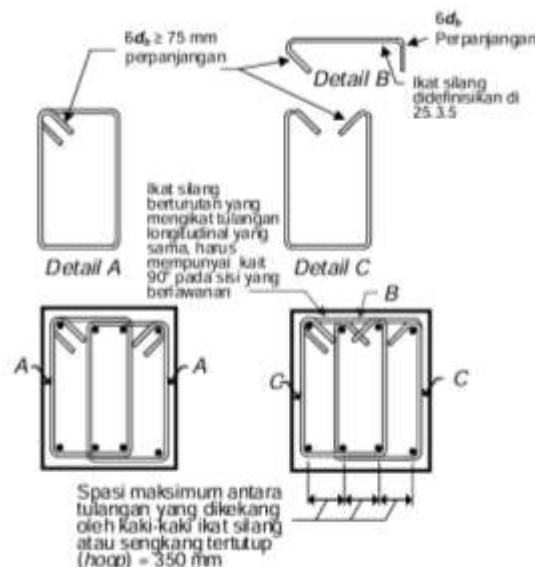
2.7.1.2 Penulangan Geser Balok

Tujuan perencanaan tulangan geser pada balok adalah untuk menjaga dukungan lateral dari tulangan yang leleh. Tulangan geser berfungsi untuk menjaga agar tulangan utama tidak mengalami kelelahan lokal, menjaga integritas struktur, dan meningkatkan kekuatan lentur balok. Ketentuan perencanaan tulangan geser balok berpedoman pada SNI 2847:2019 pasal 18.6.4 :

1. Sengkang pengekan harus dipasang pada balok di daerah berikut :
 - a. Pada kedua ujung balok, sepanjang dua kali tinggi balok, diukur dari muka kolom pendukung ke arah tengah bentang.
 - b. Pada kedua sisi penampang, pada jarak dua kali tinggi balok, di mana deformasi lateral di luar perilaku elastis dapat menyebabkan leleh lentur.
2. Sengkang awal untuk pengekan harus diposisikan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penyangga.

Jarak sengkang pengekan harus lebih besar dari nilai terkecil dari :

- a. $d/4$ (d = tinggi balok)
 - b. enam kali diameter terkecil tulangan lentur primer, tanpa menghitung tulangan longitudinal samping yang diperlukan.
 - c. 150 mm
3. Sengkang pengekan balok dapat dibuat dari dua batang tulangan, sengkang dengan kait seismik di kedua ujungnya, dan pengikat silang yang menutupi batang. Pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur, kait 90 derajat harus disusun secara bergantian untuk ikatan silang berurutan yang mengikat tulangan longitudinal yang sama.



Gambar 2. 13 Sengkang tertutup dan Batasan horizontal maksimum

(Sumber : SNI 2847:2019 gambar R18.6.4)

2.7.2 Penulangan Pelat Lantai

Dengan memberikan kekuatan tarik yang diperlukan untuk menopang beban hidup maupun beban mati. Rencana penulangan pelat membantu meningkatkan kekuatan struktural dan keandalan struktur pelat. SNI 2847: 2019, perhitungan perencanaan tulangan pelat dimodifikasi. Dimulai dengan mengklasifikasikan tipe pelat satu arah dan dua arah berdasarkan bentang panjang dan pendek, menentukan beban pada pelat, merencanakan mutu beton pelat, baja tulangan f_y , dan tebal pelat. Menurut SNI 2847:2019 pasal 8.7.3.1.1.

Diasumsikan bahwa momen terfaktor (M_u) yang dihitung pada tulangan pelat sebagai akibat dari ujung sudut pelat sejajar dengan sumbu diagonal ujung sudut bawah pelat dan tegak lurus dengan sumbu diagonal ujung sudut atas.

Gunakan persamaan $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ untuk memeriksa rasio tulangan sambil menghitung luas tulangan pelat. Dengan persyaratan bahwa rasio tulangan terhadap luas bruto penampang beton minimal 0,0014, maka luas tulangan yang dibutuhkan pada pelat dua arah ditentukan oleh momen yang bekerja pada penampang kritis. SNI 2847: 2019 pasal 8.7.2.2 menetapkan jarak maksimum yang diizinkan untuk tulangan pelat, yang berarti bahwa jarak pusat-ke-pusat tulangan tidak boleh lebih besar dari dua kali tebal pelat. Dengan adanya keterbatasan ini, metode ini dapat diaplikasikan untuk memperkirakan beban yang terkonsentrasi pada area pelat yang lebih kecil, mengurangi retakan, dan memastikan reaksi pelat.

$$S_{maks} < 5 h_f$$

Untuk spasi penulangan kritis :

$$S_{maks} < 2 \times h_f (\text{tebal pelat } 450 \text{ mm})$$

Langkah perhitungan penulangan lentur pada pelat :

1. Mencari momen nominal (M_n)

M_n : Momen *ultimate* dari pelat yang ditinjau / faktor reduksi pelat (ϕ)

ϕ : 0,8 untuk penulangan lentur

2. Mencari koefisien tahanan momen (R_n)

$$R_n = M_n / (b \cdot d^2)$$

b : Lebar elemen

d : tinggi efektif elemen.

3. Mencari rasio tulangan (ρ)

- $M = f_y / (0,85 \cdot f_c)$, f_y merupakan tegangan leleh tulangan dan f_c merupakan kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari.
- $\rho_b = (0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1) / f_y \times 600 / (600 + f_y)$
- $\rho_{min} = 1,4 / f_y$ dan $\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b$ merupakan batasan untuk rasio tulangan.
- Jika $f'_c \leq 30$ Mpa, $\beta_1 = 0,85$. Jika $f'_c > 30$ Mpa, $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30)$.

4. Mencari rasio tulangan yang dibutuhkan (ρ_{perlu})

$$\rho_{perlu} = 1/m (1 - \sqrt{(1 - 2m \cdot R_n) / f_y})$$

jika $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, ρ_{perlu} dinaikkan sebesar 30% menjadi $\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu}$.

5. Menghitung kebutuhan tulangan (A_s)

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d.$$

6. Cek kapasitas penampang

$\alpha = (A_s x f_y) / (0,85 \cdot f_c x b)$, dan $\phi M_n = A_s x f_y (d - a/2)$ harus lebih besar dari M_u untuk memastikan memenuhi kapasitas penampang.

$$\phi M_n > M_u$$

Tabel 2. 19 faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

Regangan tarik netto (ϵ_t)	Klasifikasi	ϕ			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0.75	a)	0.65	b)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0.005$	Transisi ^[1]	$0.75 + 0.15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.005 - \epsilon_{ty})}$	c)	$0.65 + 0.25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.005 - \epsilon_{ty})}$	d)
$\epsilon_t \geq 0.005$	Tegangan terkontrol	0.90	e)	0.90	f)

^[1] Untuk penampang transisi, diperbolehkan memakai nilai faktor kekuatan sama dengan penampang terkontrol tekan

(Sumber : SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

2.7.3 Penulangan Kolom

1. Ketentuan tulangan lentur kolom

- a. Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal As harus lebih besar dari $0,01 A_g$ dan lebih kecil dari $0,06 A_g$.
- b. Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2 kekuatan lentur kolom harus memenuhi :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

2. Tulangan transversal

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.1 menentukan panjang minimum yang diperlukan untuk memastikan tulangan transversal yang rapat pada ujung kolom, di mana leleh lentur biasanya terjadi. Nilai panjang l_o minimum:

- a. Tinggi kolom pada area penampang atau permukaan sambungan di mana kelelahan lentur paling mungkin terjadi.
- b. $1/6$ tinggi bersih kolom
- c. 450mm

Tulangan transversal berpedoman pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2 :

- a. Tulangan longitudinal terluar harus dikaitkan dengan tekukan ujung sengkang persegi dan sengkang ikat silang.
- b. Tulangan harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga, di sepanjang perimeter penampang kolom, jarak h_x antara tulangan longitudinal, yang ditumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki sengkang pengekang, tidak melebihi 350 mm.
- c. Sudut-sudut tulangan gempal dan sengkang pengekang memberikan tumpuan lateral untuk setiap batang atau bundel tulangan longitudinal yang mengelilingi inti kolom ketika P_u kurang dari $0,3 A_g f'_c$ atau f'_c lebih besar dari 70 Mpa pada kolom dengan sengkang pengekang. Nilai h_x tidak boleh melebihi 200 mm. P_u adalah gaya tekan terbesar yang konsisten dengan jumlah beban terfaktor termasuk E.

Di luar Panjang l_o yang ditetapkan dalam pasal 18.7.5.1, kolom harus diperkuat dengan sengkang spiral atau sengkang yang memenuhi spesifikasi pada

pasal 25.7.2 sampai 25.7.4, dengan spasi tidak lebih dari 150 mm dan diameter enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil, kecuali jika pasal 18.7.4.3 atau 18.7.6 mensyaratkan jumlah tulangan transversal yang lebih besar.

2.8 Pondasi

Pondasi bangunan merupakan komponen dari struktur bawah suatu bangunan yang berfungsi untuk mentransfer Sebagian berat dari struktur di atasnya ke tanah. Berdasarkan kedalamannya, pondasi terdapat 2 macam, yaitu pondasi dalam dan pondasi dangkal. Dalam perencanaan ulang Gedung Technopole ini digunakan pondasi dalam, yaitu tiang pancang.

2.8.1 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang dipilih karena merupakan salah satu jenis pondasi yang dapat menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke dalam tanah dengan kedalaman tanah lebih dari 10 meter. Menurut (Wiratmoko et al., 2019) kelebihan dari pondasi tiang pancang yaitu, lebih efisien karena tiang dalam keadaan pre-cast, mutu beton terjamin kualitasnya karena dibuat di pabrikasi, memiliki daya dukung tinggi untuk menahan beban, meminimalisir tanah galian. Salah satu jenis pondasi adalah pondasi tiang pancang.

2.8.2 Perencanaan *Pilecap*

Untuk menjaga kolom diposisikan di tengah pondasi dan mencegahnya menambah berat pondasi, *pilecap*, yang berfungsi sebagai pengikat pondasi, berubah menjadi kelompok tiang pancang dan bertindak sebagai pengaku (Wiratmoko et al., 2019). Gaya geser yang disebabkan oleh beban struktur di atasnya dapat ditahan oleh *pilecap* ini. *Pilecap* mempunyai 2 macam bentuk, yaitu segitiga dan persegi Panjang. Kontrol gaya geser satu arah dan dua arah serta pemeriksaan perhitungan tulangan *pilecap* itu sendiri termasuk dalam perhitungan *pilecap* (Rizaludin et al., 2020). Adapun kriteria desain *pilecap* dalam perencanaan ini dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 13.4.2. dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Ketebalan *pilecap* harus didesain sedemikian rupa sehingga tingi efektif tulangan bawah (selimut bawah) tidak kurang dari 300 mm.
2. Momen dan gaya geser terfaktor harus diizinkan untuk dihitung dari reaksi setiap tiang yang diasumsikan terkonsentrasi pada titik pusat penampang tiang.
3. *Pilecap* harus didesain sedemikian rupa sehingga terpenuhi untuk pondasi satu arah (a) dan pondasi 2 arah (b) dimana :
 - a. $\phi V_n \geq V_u$, dimana V_n harus dihitung sesuai pasal 22.5 untuk geser satu arah dan V_u harus dihitung sesuai pasal 13.4.2.5, dan ϕ harus sesuai pasal 21.2.
 - b. $\phi V_n \geq V_u$, dimana V_n harus dihitung sesuai pasal 22.6 untuk geser dua arah dan V_u harus dihitung sesuai pasal 13.4.2.5, dan ϕ harus sesuai pasal 21.2.

2.9 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan prakiraan biaya yang dibutuhkan dalam suatu pelaksanaan proyek , meliputi daftar harga *material* yang diperlukan, upah minimum pekerja dengan memperhatikan peraturan yang berlaku yang terikat dengan perencanaan pembiayaan, dan biaya lain yang dipakai selama pelaksanaan proyek berlangsung. RAB sangat penting untuk penyelesaian proyek dan sering digunakan sebagai alat pemantauan, kemudi dan evaluasi untuk mengukur efektivitas suatu proyek (Kementrian PUPR, 2018).

Sebelum proyek dimulai, perencanaan biaya selesai dan dapat diperbarui secara berkala selama proyek berlangsung. Perencanaan biaya ini menggunakan prinsip perhitungan perkalian volume pekerjaan dari suatu proyek dengan harga satuan pekerjaan setempat. Dalam perencanaan ini, kebutuhan volume pekerjaan dihitung menggunakan metode *Quantity Take Off* dan hasilnya ditentukan menggunakan *software Autodesk Revit*, kemudian dihitung menggunakan *Software Microsoft Excel* untuk membuat *output* RAB.

2.9.1 *Quantity Take Off (QTO)*

Menurut Andiyan (2020) *Quantity Take Off (QTO)* merupakan proses yang digunakan dalam estimasi biaya untuk menentukan dan menyesuaikan jumlah *material* yang diperlukan, volume pekerjaan, dan item pekerjaan lain yang dibutuhkan untuk setiap proyek konstruksi. *Quantity Take Off* harus dilakukan dengan tingkat presisi yang tinggi dan berdasarkan data desain yang tersedia. Akurasi dan kelengkapan data adalah faktor yang sangat menentukan dalam estimasi biaya (Abidin, 2021).

Proses, yang dikenal sebagai ekstraksi *Quantitiy take off* berbasis BIM, memungkinkan ekstraksi otomatis data dan informasi dari item struktur dari pemodelan 3D. (Mattern dkk, 2018).

Tabel 2. 20 Perbandingan QTO Konvensional dengan QTO berbasis BIM

Aspek	QTO Konvensional	QTO berbasis BIM
Kualitas informasi	Risiko bekerja dengan data usang dan dokumen yang tidak konsisten; Gambar 2D mungkin mengandung kesalahan	Kolaborasi berbasis BIM membantu untuk bekerja dengan model perencanaan terkini; pengecekan sebelum melakukan QTO untuk menghindari kemungkinan <i>clash</i>
Kuantitas informasi	Tergantung pada dokumen yang tersedia	Model berisi informasi yang sesuai dengan fase perencanaan terkini
Ketersediaan informasi	Manual (memakan waktu, rawan kesalahan)	Mudah dan cepat karena berbasis <i>central model organization</i>
Kualitas QTO	Manual (memakan waktu, rawan kesalahan)	Kesalahan yang disebabkan oleh salah pengukuran dapat dihindari
Transparansi QTO	Pemetaan manual antara gambar dan WBS dapat mengakibatkan penurunan transparansi; Situasi kompleks yang membutuhkan interpretasi gambar (subyektif)	Penawaran opsi transparansi visual yang lebih besar
Penggunaan kembali QTO	Pemetaan manual antara gambar dan WBS dapat mengakibatkan penurunan transparansi; Situasi kompleks yang membutuhkan interpretasi gambar (subyektif)	Tautan langsung ke analisis 4D atau 5D; digunakan kembali untuk mengatur pesanan material
Fleksibilitas terhadap perubahan desain	Perlu merevisi QTO secara manual	Revisi efektif QTO; Kemungkinan membandingkan desain alternatif dengan sedikit usaha

Sumber : (Mattern dkk, 2018)

2.10 Penjadwalan

Penjadwalan merupakan tolak ukur keberhasilan suatu proyek yang sedang berlangsung di sebuah proyek konstruksi, disamping anggaran, mutu, dan kualitasnya. Tujuan penjadwalan proyek adalah untuk menetapkan dan mengurutkan pekerjaan serta memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek. Dalam merencanakan penjadwalan ini diperlukan manajemen proyek yang bagus untuk menentukan durasi dari proyek supaya terciptanya penjadwalan yang logis dan realistis. Beberapa masalah tentu ada dalam

penjadwalan suatu proyek. Masalah-masalah ini termasuk penundaan proyek yang berdampak pada waktu penyelesaian sehingga dibutuhkan akan sumber daya manusia yang kompetitif, sehingga dapat menjadikan penyelesaian proyek yang tepat waktu dan hemat biaya yang memenuhi standar tenaga kerja (Sugiyanto, 2021).

Penjadwalan pada proyek umumnya menggunakan estimasi durasi yang pasti, namun terkadang terdapat beberapa faktor yang menyebabkan durasi dari proyek itu tidak pasti. Faktor tersebut antara lain, faktor cuaca, produktivitas pekerja, dan lain lain (Febriana & Aziz, 2021).