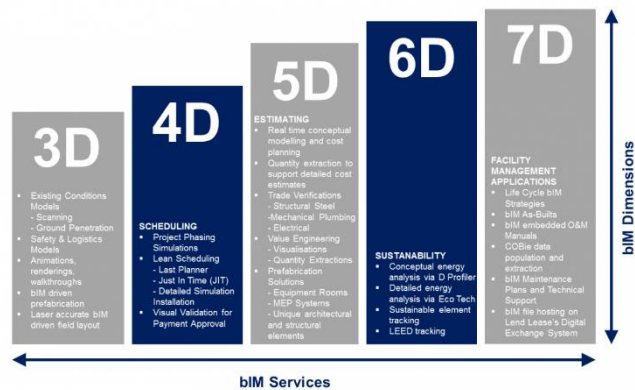


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Software BIM (Building Information Modeling)

BIM (*Building Information Modeling*) yaitu suatu bentuk teknologi digital yang dapat mendukung pembangunan konstruksi dari desain proyek, penjadwalan, dan informasi-informasi lainnya. Menurut (Hwang et al., 2019), Penerapan BIM dalam proyek dapat mengurangi resiko pengerjaan ulang (*rework*) yang diakibatkan oleh *human error*. *Building Information Modeling* (BIM) memiliki beberapa tingkatan dimensi, yaitu 3D, 4D, 5D, 6D, dan 7D. BIM 3D merupakan tingkatan pemodelan bangunan dengan visualisasi 3D, pemodelan BIM 4D menghasilkan informasi terkait penjadwalan waktu proyek, BIM 5D menghasilkan informasi terkait estimasi biaya, 6D melibatkan dampak terhadap lingkungan dan efisiensi energi, dan 7D menghasilkan informasi terkait manajemen fasilitas bangunan. Berikut beberapa *software* yang sering digunakan pada perancangan bangunan gedung bertingkat.



Gambar 2. 1 Dimensi BIM

2.1.1. SAP 2000

SAP 2000 merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk perancangan dan analisa struktur. Software SAP2000 dapat digunakan dalam proses analisis dan perencanaan struktur baik dalam bentuk 2D maupun 3D. Software ini didesain untuk mengenali gaya yang dihasilkan akibat beban yang diterima pada elemen

struktur (Rukmana, 2020).



Gambar 2. 2 Logo SAP2000

2.1.2. Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan salah satu perangkat lunak pemodelan garapan Autodesk yang dirilis secara publik tahun 2000. Software ini banyak digunakan oleh arsitek, *engineer*, dan *engineer MEP*. Leoind Razi dan Irwin Jungreis yang berdiri sebagai *founder* dari Revit menginginkan Arsitek dan insiyur lainnya dapat merancang dan mendokumentasikan sebuah bangunan dengan membuat model 3D yang mencakup informasi desain dan konstruksi.

Inti dari perangkat lunak revit disini adalah suatu sistem yang dapat mempermudah *engineer* untuk membuat, merubah, dan menghitung komponen-komponen bangunan yang nantinya akan ditampilkan dengan model 3D.



Gambar 2. 3 Logo Revit

2.1.3. Microsoft Project

Microsoft Project disini merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan dan dipasarkan oleh perusahaan Microsoft. Ms Project dapat membantu merancang, mengembangkan, serta *monitoring* penjadwalan dalam sebuah proyek konstruksi. Perangkat lunak ini dapat membuat lintasan kritis, rantai pekerjaan, dan rentetan peristiwa yang nantinya divisualisasikan dalam bagan *Gantt Chart*.



Gambar 2. 4 Logo Microsoft Project

2.2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Merupakan sistem rangka bangunan yang dirancang khusus untuk daerah dengan risiko gempa tinggi, terutama wilayah dengan skala gempa 5 dan 6. SRPMK menganalisis bagian struktur dan jointnya yang dirasa dapat menekan gaya bekerja melalui *moment*, *shear*, dan *axial*. (Mahendrayu & Kartini, 2019).

Dari SRPMK kita dapat mengambil data respon parameter respon spektral percepatan desain periode 1 detik (S_{D1}) dan spektral percepatan desain periode pendek (S_{DS}), data-data tersebut dapat *output* berupa kategori resiko yang diatur dalam SNI 1726-2012.

2.3. Pembebanan

Bagian yang esensial dalam mendesain bangunan bertingkat merupakan pembebanan yang dimana terbagi dalam beberapa jenis, diantara lain :

2.3.1. Beban Hidup

Beban hidup (*LL Live Load*) merupakan beban yang ditimbulkan karena adanya pengguna bangunan dan struktur bangunan lainnya. Menurut SNI 1727:2020, beban angin dan gempa tidak termasuk dalam beban hidup dikarenakan angin dan gempa merupakan aspek lingkungan. Pada perencanaan bangunan gedung ini, pembebanan beban hidup didasarkan pada SNI 1727:2020 dan PPIUG 1982.

Tabel 2. 1 Beban Hidup

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
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2	
Helipad (Lihat Pasal 4.11)					
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Rumah sakit					
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan					
Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	4.13
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Pabrik					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2.000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3.000 (13,35)	
Gedung perkantoran					
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	

2.3.2. Beban Mati

Beban mati (*DL dead load*) Menurut SNI 1727:2020 adalah kumulatif total beban yang diakibatkan bahan konstruksi gedung seperti dinding, lantai, atap, dan komponen arsitekturlainnya yang terpasang. Berikut dilampirkan tabel berat pada bahan konstruksi yang tertera pada PPIUG 1982:

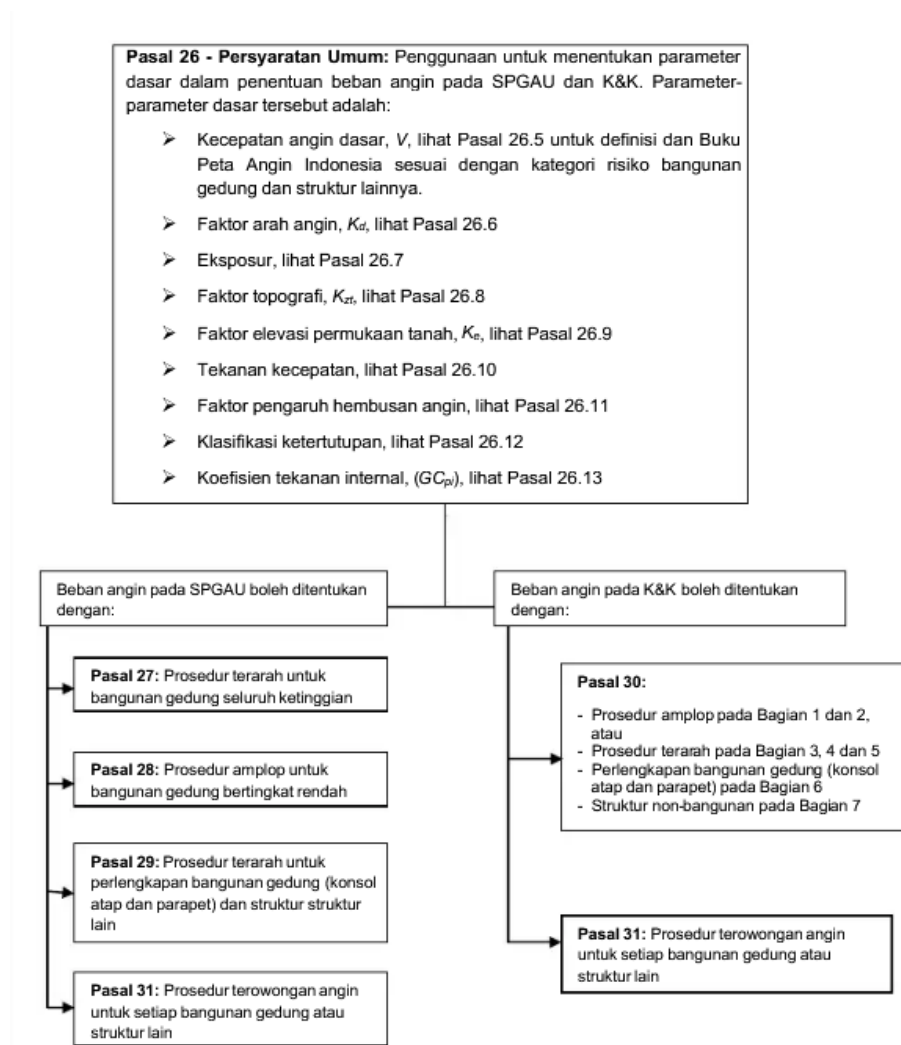
Tabel 2. 2 Berat Bahan Bangunan

BAHAN BANGUNAN	
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2.600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi tuang	7.250 kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	2.200 kg/m ³
Beton bertulang ⁽²⁾	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas I) ⁽³⁾	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m ³

2.3.3. Beban Angin

Beban angin (*WL Wind Load*) merupakan gaya yang dihasilkan akibat jalur angin bergeser atau terhenti jika mengenai struktur sebuah bangunan. Beban pada angin memberikan tekanan dan hisapan pada struktur.

Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan seluruh Komponen dan Klading (K&K) adalah struktur bangunan gedung. Menurut SNI 1727: 2020, pasal 26 hingga 31 berisi daftar persyaratan penentuan indikator dasar dalam menentukan beban angin pada sistem SPGAU dan K&K.



Gambar 2. 5 Parameter dasar penentuan SPAGAU dan K&K

2.3.4. Beban Gempa

Gaya yang dihasilkan pada sebuah struktur bangunan akibat adanya geseran tanah akibat gempa disebut beban gempa. Secara umum, beban gempa dapat dianalisis dengan dua metode. Metode pertama yaitu dengan analisis statik ekuivalen dan yang metode kedua adalah analisis dinamik.

Pada gedung yang beraturan dapat menggunakan metode statik ekuivalen yang bebannya terpusat pada massa lantai-lantai tingkat. Berikut prosedur dalam menentukan ketahanan gempa pada struktur bangunan:

a. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan

Faktor ini dipakai dengan tujuan mensimulasikan beban gempa rencana

sehingga beberapa bagian struktur pada bangunan dapat bertahan ketika gempa timbul. Berikut dilampirkan tabel kategori risiko dan faktor keutamaan baik pada bangunan gedung maupun non gedung:

Tabel 2. 3 Kategori Resiko

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>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.</p>	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (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 <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa, Ie

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1.25
IV	1,50

b. Klasifikasi Situs

Penyelidikan tanah perlu dilakukan untuk menentukan klasifikasi situs. Pelaksanaan penyelidikan ini mencakup pengujian tanah di lokasi dan di lab. *Output* dari penyidikan lokasi proyek ini kemudian akan menjadi landasan untuk menentukan klasifikasi situs.

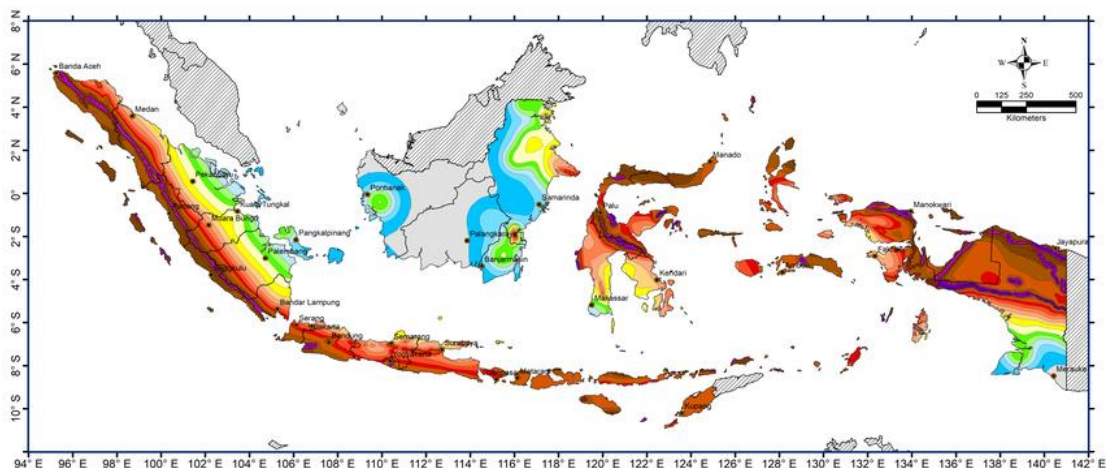
Tabel 2. 5 Klasifikasi Situs

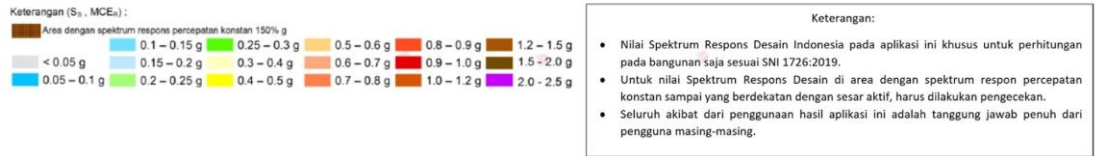
Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{sa}	$\bar{\sigma}_v$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 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 $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	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 (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 $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

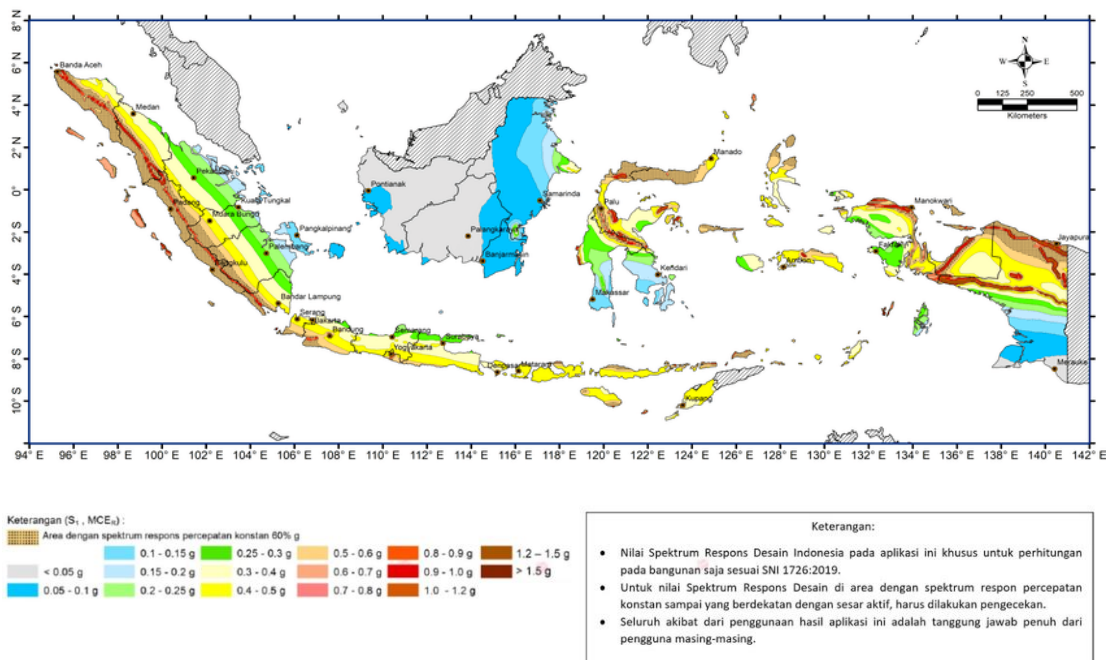
c. Koefisien Spektum Desain

Penentuan Koefisien spektrum desain dapat diambil dari Desain Spektra yang langsung dibuat oleh PUPR. Nilai Koefisien Spektrum berupa S_s (percepatan batuan dasar periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) dalam bentuk desimal.





Gambar 2. 6 Peta MCER pada Ss



Gambar 2. 7 Peta MCER pada S1

d. Koefisien Situs

Koefisien situs digunakan sebagai parameter dalam menentukan respons spektral percepatan gempa. Faktor amplifikasi seismik diperlukan untuk menghubungkan percepatan getaran pada periode pendek (F_a) dan percepatan yang merepresentasikan getaran pada periode 1 detik (F_v).

Tabel 2. 6 Fa koefisien situs untuk periode pendek

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)					

Tabel 2. 7 Fv koefisien situs untuk periode panjang

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

S_{DS} = Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_{D1} = Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Perhitungan S_{DS} dan S_{D1} :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{Ms}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

Keterangan:

S_s = Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1,0 detik

e. Perhitungan Periode Transisi

Perhitungan periode transisi digunakan untuk menentukan lama waktu untuk menyelesaikan satu siklus dari suatu getaran yang terganggu hingga kembali

ke posisi statis.

Perhitungan Periode Transisi:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

f. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik bertujuan sebagai variabel untuk memastikan struktur yang telah memenuhi syarat berdasarkan gempa yang diperkirakan. Berdasarkan nilai parameter respon spektral percepatan desain S_{DS} , S_{D1} , dan kategori resiko, dapat ditentukan kategori desain seismik yang nantinya dapat menjadi acuan dalam perencanaan struktur.

Tabel 2. 8 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 2. 9 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

g. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Faktor – faktor seperti koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Cd), faktor pembesaran defleksi (Ω_0), dan faktor batasan tinggi struktur ditentukan dari jenis sistem pemikul gaya seismik yang dipakai.

Tabel 2. 10 Faktor 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_u (m) ^d					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D*	E*	F*	F*
A. Sistem dinding penutup									
1. Dinding geser beton bertulang khusus ¹⁾	5	2½	5	TB	TB	48	48	30	
2. Dinding geser beton bertulang biasa ²⁾	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI	
3. Dinding geser beton polos detail ³⁾	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI	
4. Dinding geser beton polos biasa ⁴⁾	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
5. Dinding geser pracetak menengah ⁵⁾	4	2½	4	TB	TB	12*	12*	12*	
6. Dinding geser pracetak biasa ⁶⁾	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI	
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30	
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2½	TB	TB	TI	TI	TI	
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1½	TB	48	TI	TI	TI	
10. Dinding geser batu bata polos detail	2	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
12. Dinding geser batu bata pratayang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI	
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk menahan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20	
16. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk menahan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20	
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI	
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canal dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20	
B. Sistem rangka bangunan									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30	
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3½	2	3½	TB	TB	10*	10*	TI	
4. Dinding geser beton bertulang khusus ¹⁾	6	2½	5	TB	TB	48	48	30	
5. Dinding geser beton bertulang biasa ²⁾	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
6. Dinding geser beton polos detail ³⁾	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI	
7. Dinding geser beton polos biasa ⁴⁾	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
8. Dinding geser pracetak menengah ⁵⁾	5	2½	4½	TB	TB	12	12	12	
9. Dinding geser pracetak biasa ⁶⁾	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI	
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30	
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30	
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI	
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30	
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30	
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30	
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI	
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI	

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_u (m) ^d					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D*	E*	F*	F*
19. Dinding geser batu bata polos detail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI	
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
21. Dinding geser batu bata pratayang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk menahan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22	
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk menahan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22	
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB	
25. Rangka baja dengan bresing terkeang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30	
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30	
C. Sistem rangka pemikul momen									
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	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*	TI*	TI*	
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI*	TI*	TI*	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ¹⁾	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 dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Rangka baja dan beton komposit terkeang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI	
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI	
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ²⁾	3½	3 ²⁾	3½	10	10	10	10	10	
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
3. Dinding geser beton bertulang khusus ¹⁾	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
4. Dinding geser beton bertulang biasa ²⁾	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI	
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB	
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB	
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB	
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	6	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI	
12. Rangka baja dengan bresing terkeang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB	
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB	

h. Periode Getar “T” Gedung

Periode getar struktur T diperoleh dengan memanfaatkan sifat-sifat struktural dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang telah terbukti. Nilai T tidak boleh melebihi koefisien C_u .

Tabel 2. 11 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

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

Periode fundamental pendekatan T_a ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Keterangan =

h_n = elevasi struktur (m)

Nilai x diperoleh dari jenis struktur bangunan yang akan dirancang.

Tabel 2. 12 Nilai parameter periode pendekatan 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

2.4. Kombinasi Pembebanan

Pada perencanaan bangunan gedung, kombinasi pembebanan harus mencakup berat sendiri, beban hidup, beban gempa, dan juga beban angin. Menurut SNI 1726:2019 terdapat beberapa kombinasi pembebanan.

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

Keterangan:

D = *Dead Load*

L = *Live Load*

Lr = *Wind Load Roof*

R = *Rain Load*

W = *Wind Load*

E = *Quake Load*

2.5. Struktur Atas

2.5.1. Balok

Balok merupakan elemen struktural yang bekerja menopang gaya dan menyalurkan beban ke kolom vertikal, gaya yang ditopang oleh balok ialah momen lentur dan gaya geser. Selain menopang gaya dan menyalurkan beban ke kolom, balok memiliki fungsi untuk meningkatkan kuat lentur pada plat, meningkatkan kuat horizontal, dan sebagai pengikat kolom. Penggunaan beban pada balok akan mengakibatkan deformasi lentur atau lengkung. Pada bagian atas balok, regangan tarik akan dihasilkan akibat momen lentur, sedangkan pada bagian bawah balok, regangan tekan akan dihasilkan.

Perencanaan komponen balok meliputi perencanaan dimensi penampang dan perencanaan dimensi tulangan. Segala aspek perencanaan komponen balok harus mengikuti pedoman yang tertera pada SNI2847-2019. Berdasarkan pasal 9.3.1, batas tinggi minimal balok dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2. 13 Tinggi Minimum Balok

Kondisi Perletakan	h minimum
Perletakan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

- a. Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.6.2.1, batasan dimensi balok harus memenuhi syarat (1) hingga (3):
 1. Panjang Bersih pada Balok (L_n) $> 4d$ (tinggi efektif balok).
 2. Lebar Penampang (b_w) $> 0.3h$ dan 250 mm.
 3. Lebar balok apabila melebihi lebar kolom penyangga, penyangga \leq melewati batas minimal dari c_2 dan $0.75c_1$ pada bagian sisi-sisi kolom.
- b. Menurut pasal 18.6.3.1, tulangan balok lentur harus memiliki dua tulangan menerus baik pada sisi atas maupun sisi bawah penampang.
- c. Pada tulangan transversal, syarat dan ketentuan mengacu pada SNI 2847-2019 sebagai berikut:
 1. Sengkang pertama harus di desain $< 50\text{mm}$ dari muka kolom penumpu. Berdasarkan pasal 18.6.4.4 yaitu tidak dibolehkan melebihi nilai berikut:
 - a. $\frac{d}{4}$
 - b. $6db$ (6 kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama).
 - c. 150 mm.
 2. Berdasarkan pasal 18.6.4, di luar zona sendi plastis, spasi sengkang dipakai $\leq \frac{d}{2}$ pada bentang balok

2.5.2. Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang berguna untuk menahan beban aksial dan menerima beban yang disalurkan dari balok. Kolom sendiri juga berguna untuk meneruskan beban yang dihasilkan oleh bangunan ke pondasi. Oleh karena itu, perencanaan kolom harus tepat guna mengurangi resiko keruntuhan komponen struktural yang lain. Berikut jenis-jenis kolom:

1. Kolom dengan sengkang lateral sebagai pengikat.
2. Kolom spiral. Kolom spiral yaitu kolom dengan sengkang spiral sebagai sengkang ikat.
3. Struktur kolom komposit

Dalam perencanaan kolom struktur yang mengacu pada SNI 2847-2019 Pasal 10.3.1, tidak terdapat rumus tertentu untuk mengetahui batasan dimensi kolom. Batasan dimensi disesuaikan dengan beban-beban yang ditanggung. Berdasarkan Pasal 18.7.2, batasan dimensi kolom harus memenuhi persyaratan (1) dan (2):

1. Dimensi penampang terkecil (b) > 300 mm
2. Rasio dimensi penampang ($\frac{b}{h}$) $> 0,4$

Keterangan:

b = lebar balok

h = tinggi balok

2.5.3. Plat

Pelat lantai merupakan suatu bentuk struktur padat tiga dimensi yang memiliki area datar dan lurus. Tebal plat lantai dinilai lebih kecil dibandingkan tebal struktur lain (Gusfita et al., 2022). Perencanaan struktur plat mengacu pada SNI 2847-2019. Pada perencanaan tebal minimum pelat yaitu tebal plat (h) $>$ batas minimum. Berikut tabel batas minimum perencanaan plat:

Tabel 2. 14 Tebal Minimum Plat

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

⁽¹⁾Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_c = 420$ MPa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3.

$\alpha_{fm}^{(1)}$	h minimum, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku	(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	(b) ^{[2],[3]}
	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	(d) ^{[2],[3]}
	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	
	125	(c)
	90	(e)

Dengan ketentuan:

Rasio bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek:

$$Bn = \frac{L_n}{S_n} \leq 2 \quad \text{Pelat Dua Arah}$$

$$Bn = \frac{L_n}{S_n} \geq 2 \quad \text{Pelat Satu Arah}$$

Keterangan:

L_n = Bentang Bersih Pelat Sumbu Panjang

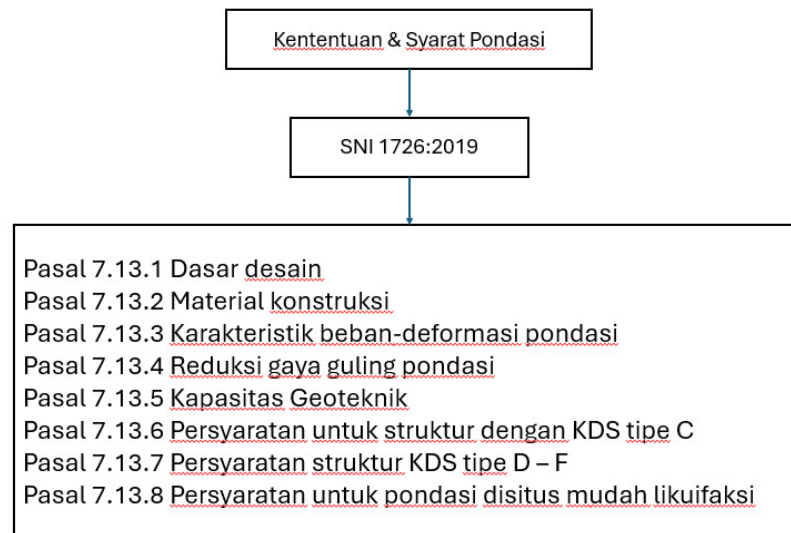
S_n = Bentang Bersih Pelat Sumbu Pendek

2.6. Struktur Bawah

2.6.1. Pondasi

Pondasi merupakan segmen paling bawah pada struktur bangunan dimana fungsi pondasi yakni menerima seluruh beban bangunan dan mengalirkan beban tersebut kedalam tanah.

Perencanaan desain pondasi memiliki acuan SNI 1726:2019 Pasal 7.13 - 7.13.8, faktor lain dalam penentuan desain pondasi juga disesuaikan dengan parameter kekuatan tanah dan daya dukung tiang.



Gambar 2. 8 Ketentuan Pondasi

2.6.2. Pile Cap

Pile cap adalah elemen struktur bangunan yang berguna untuk mengikat elemen - elemen pondasi dibawahnya terhadap kolom atau elemen struktur lainnya (Saputro & Buwono, 2013).

Pada desain rencana Pile cap memiliki banyak variasi tergantung dari banyaknya tiang pondasi yang disatukan. Perencanaan Pile Cap memiliki acuan yakni SNI 2847:2016:

1. Batas minimal tinggi efektif pada *pilecap* yaitu 300 mm.
2. Jarak minimal antar tiang adalah 3D. Jarak ini bertujuan agar transfer ke lapisan tanah dapat berjalan dengan baik dan maksimal.
3. Momen dan gaya geser yang telah dianalisis kemudian digunakan untuk menghitung reaksi masing-masing tiang yang diperkirakan akan terkonsentrasi pada titik tengah penampang tiang.

4. Pada analisa kekuatan geser satu arah (V_N) dikatakan nilai dari $\phi V_N \geq V_U$ dimana V_N dihitung dengan rumus $V_N = V_C + V_S$.
5. Pada analisa kekuatan geser dua arah (V_U) dikatakan nilai dari $\phi V_N \geq V_U$ dimana V_N dihitung dengan rumus $V_N = V_C$.

2.6.3. Tie Beam

Tie beam dapat didefinisikan sebagai struktur bangunan yang berfungsi mengikat poer atau penutup pondasi dimana posisinya sejajar dengan tanah. Tie beam adalah struktur bangunan yang membantu menyamakan penurunan pondasi bangunan dengan mengarahkannya dari balok lalu ke kolom dan kemudian diteruskan ke tie beam. Rotasi bebas pada kolom dapat dicegah karena tie beam mengikat kolom pada pilecap. Dengan begitu tie beam meningkatkan kekakuan struktur bangunan secara keseluruhan (Amalia & Sabariman, 2021). Perencanaan Tie Beam perlu memenuhi beberapa syarat berikut:

a. SNI 2837:2019

Balok sloof merupakan balok yang direncanakan sebagai penyatu antara poer dan pondasi secara horizontal yang mana harus diproporsikan hingga nilai dimensi penampang paling kecil \geq spasi bersih antara kolom yang disambung dibagi dengan 20, tetapi tidak perlu melebihi dari 450 mm.

b. SNI 1726:2019

Pile cap dan tiang pondasi perlu diikatkan satu sama lain dengan pengikat. Kuat tarik atau tekan pada pengikat \geq gaya sebesar 10% SDS dikali nilai terbesar dari beban mati terfaktor ditambah beban hidup terfaktor pada pilecap atau kolom yang lebih besar.

c. SNI 8460:2017

Tie beam besar kemungkinan mengalami penurunan karena beban yang ditumpunya, besarnya tie beam yang diizinkan adalah $< 15 \text{ cm} + \frac{b}{600}$ (b dalam satuan cm) untuk *highrise building* dan bisa struktur atas dapat dijamin aman.

2.7. Penulangan

2.7.1. Penulangan Tulangan Balok

a. Penulangan Lentur Balok

Mengacu SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1, tulangan balok lentur harus memiliki dua tulangan menerus baik pada sisi atas maupun sisi bawah penampang.

$$1. A_s > \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (\text{Pasal 9.6.1.2})$$

$$A_s > \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$2. \text{Rasio Tulangan} < 0,025$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \leq 0,025$$

$$\leq 0,75 \rho_b$$

b. Penulangan Geser Balok

Pada tulangan transversal, syarat dan ketentuan didasarkan pada SNI:2847-2019:

1. Sengkang harus di desain < 50 mm dari muka kolom penumpu. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.4.4 spasi sengkang pengengkang tidak dibolehkan melebihi nilai berikut:
 - a. $\frac{d}{4}$
 - b. $6db$ (6 kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama)
 - c. 150 mm
2. Berdasarkan pasal 18.6.4, di luar zona sendi plastis, spasi sengkang dipasang $\leq d/2$ pada bentang balok.

2.7.2. Penulangan Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019:

a. Penulangan Lentur Kolom

1. Luas Tulangan berada diantara $0,01 A_g - 0,06 A_g$ (A_g = luas bersih kolom)

2. Kolom yang memiliki sengkang ikat bundar, jumlah batang tulangan lentur ≥ 6 .
3. Berdasarkan pasal 18.7.3.2, nilai kekuatan lentur diharuskan memenuhi syarat berikut: $\sum M_{cn} \geq (1,2) \sum M_{cb}$

b. Penulangan Geser Kolom

Terdapat pada pasal 18.7.5:

1. Pemasangan tulangan geser pada setiap kolom harus sepanjang L_o .
2. Panjang $L_o \geq$ dari nilai terbesar $1/6$ tinggi bersih kolom, 450 mm
3. Tulangan geser harus dari spiral tunggal, spiral tumpuk (overlap)
4. Pada sengkang persegi dan ikat silang, tekukan pada ujung sengkang harus terkait dengan bayang tulangan longitudinal terluar.
5. Diameter tulangan ikat silang \leq diameter sengkang pengengkang diizinkan sesuai batas. Ikat silang harus dilakukan selang-seling dan berurutan sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
6. Spasi h_x antar tulangan tidak melebihi $1/4$ dimensi terkecil penampang kolom, $6d_b$, dan nilai S_o :

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (18.7.5.3)$$

7. Jumlah tulangan geser untuk kolom sesuai pada tabel berikut:

Tulangan transversa I	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekok persegi	$P_u \leq 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (a) $0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (b)
	$P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)
ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekok lingkaran	$P_u \leq 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e)	$0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (d) $0,12 \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (e)
	$P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d), (e) dan (f)	$0,35k_f \frac{F_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (f)

Gambar 2. 9 Penulangan Geser Kolom

2.7.3. Penulangan Tulangan Plat

Berdasarkan SNI 2847-2019:

a. Penulangan Lentur Plat

Momen yang sudah dianalisa dihitung dengan mengasumsikan tegak lurus terhadap sumbu diagonal dari ujung plat atas dan sejajar dengan sumbu diagonal dari ujung plat bawah. Pemeriksaan rasio tulangan diperlukan saat menentukan luasan tulangan (Pasal 8.7.3.1).

Berdasarkan pasal 8.7.2, persyaratan spasi tulangan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Spasi tulangan maksimum harus $< 2h$ dan 450 mm pada penampang kritis.
2. Spasi tulangan maksimum harus $< 3h$ dan 450 mm pada penampang lainnya.

Berikut perhitungan penulangan lentur pada plat:

1. Menentukan Nilai Momen Nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\theta}$$

2. Menentukan koefisien tahanan momen (R_n)

$$R_n = \frac{M_n}{(bd^2)}$$

Keterangan:

M_n = Momen Nominal

b = lebar

d = tinggi efektif

3. Menentukan Rasio Tulangan

$$- M = \frac{F_y}{(0,85 \times f_c)}$$

$$- \rho_b = \frac{(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1)}{(f_y \times 600 / (600 + f_y))}$$

Menentukan Rasio Batas Tulangan

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

$$- \rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

4. Menghitung Rasio Tulangan Perlu

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

5. Mencari Kebutuhan Tulangan As

$$- \rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

6. Cek syarat kapasitas penampang, $\phi M_n > M_u$

$$- \alpha = \frac{(A_s \times f_y)}{(0,85 \cdot f_c \times b)}$$

$$- \phi M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

2.7.4. Penulangan Tulangan Pilecap

Berdasarkan SNI 2847:2019 :

1. Tinggi minimum efektif adalah 300 mm.
2. Jarak minimal antar tiang adalah 3D. Jarak ini bertujuan agar transfer ke lapisan tanah dapat berjalan dengan baik dan maksimal.
3. Momen terfaktor dan gaya geser dihitung menggunakan reaksi masing-masing tiang yang diasumsikan terkonsentrasi pada titik tengah penampang tiang.
4. Pada analisa kekuatan geser satu arah (V_N) dikatakan nilai dari $\phi V_N \geq V_U$ dimana V_N dihitung dengan rumus $V_N = V_C + V_S$.
5. Pada analisa kekuatan geser dua arah (V_U) dikatakan nilai dari $\phi V_N \geq V_U$ dimana V_N dihitung dengan rumus $V_N = V_C$.
6. Penulangan lentur pile cap didasarkan dari besarnya beban yang dipikul dari jumlah *pile* dibawahnya $P_U = \sum \text{pile}' \times Q_U$.
7. Penentuan lentur kritis ditentukan dari banyaknya pile dibawahnya, berikut contoh perhitungan lentur kritis pile cap dengan 4 *pile* :

$$M_{U1} = P_{U1} (kD/2 - b_c/2)$$

$$M_{U2} = P_{U2} (kD/2 - h_c/2)$$

2.8. Perencanaan Biaya

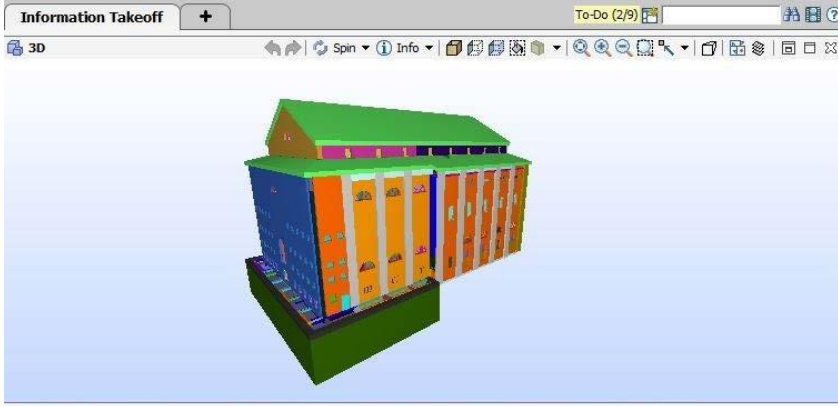
2.8.1. Quantity Take Off (QTO)

Quantity Take Off merupakan jenis perhitungan volume secara mendetail setiap pekerjaan dan material untuk menyelesaikan suatu proyek. QTO pada tugas akhir ini menggunakan software Autodesk Revit sebagai perhitungan volume pekerjaan. Perhitungan QTO yang berbasis BIM menghasilkan output yang lebih akurat dan detail jika dibandingkan dengan perhitungan QTO secara manual atau konvensional (Sadad et al., 2023).

Hasil perhitungan QTO dengan memanfaatkan *software* BIM menghasilkan komulatif total dari volume dalam satuan meter kubik (m³). *Software* yang digunakan untuk QTO adalah Autodesk Revit dengan cara memilih menu *Schedule* dalam tab *View* dan outputnya berupa tabel dengan detail yang dapat dikostumasi

mulai dari luasan hingga tipe.

Menurut (Rizqy et al., 2021) penggunaan BIM dalam merencanakan proyek dapat memperbesar efisien pada waktu. Waktu yang dibutuhkan dalam menggunakan BIM naik sebesar 43,82% atau dapat dibilang dua kali lebih cepat jika dibandingkan dengan perhitungan metode konvensional.



The screenshot shows the Autodesk Revit Information Takeoff interface. At the top, there's a title bar 'Information Takeoff' and a 'To-Do (2/9)' indicator. Below the title bar is a toolbar with various icons for navigation and manipulation. The main area displays a 3D model of a building with different colored elements. Below the 3D view is a table titled 'Information Takeoff' with columns for Building Element Type, Type, Length, Volume, Count, and Color. The table lists various floor construction elements with their respective dimensions, lengths, volumes, and counts.

Building Element Type	Type	Length	Volume	Count	Color
B1010 Floor Construction	100x100	1,489.72 m	14.90 m ³	149	Yellow
B1010 Floor Construction	1200 x 240 mm	17.83 m	4.71 m ³	3	Cyan
B1010 Floor Construction	120x500 mm	82.19 m	4.54 m ³	29	Magenta
B1010 Floor Construction	1500x1000 mm	15.10 m	37.51 m ³	5	Blue
B1010 Floor Construction	1500x1500 mm	184.30 m	529.12 m ³	29	Red
B1010 Floor Construction	1500x800 mm	125.12 m	150.11 m ³	7	Orange
B1010 Floor Construction	150x500	39.51 m	2.85 m ³	16	Light Blue
B1010 Floor Construction	160x240	225.33 m	9.23 m ³	15	Green
B1010 Floor Construction	220x240	468.58 m	24.74 m ³	23	Light Green
B1010 Floor Construction	240 x 200	108.07 m	5.54 m ³	11	Purple
B1010 Floor Construction	240 x 400	123.81 m	11.53 m ³	42	Dark Red
B1010 Floor Construction	240 x 500	106.73 m	10.94 m ³	49	Dark Green

Gambar 2. 10 Contoh *Quantity Take Off* Autodesk Revit

2.8.2. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya merupakan sebuah rincian terkait biaya yang akan dikeluarkan pada suatu pekerjaan. RAB biasanya dibuat dengan rinci dengan tujuan mengurangi resiko adanya pembengkakan biaya. Prinsip dari perhitungan perencanaan biaya yaitu $\sum Volume pekerjaan \times Harga Satuan Pekerjaan wilayah setempat$.

Perencanaan biaya tugas akhir ini menggunakan penerapan BIM dengan Microsoft Excel sebagai format untuk mempresentasikan data dan software Autodesk Revit sebagai perhitungan volume pekerjaan. Berdasarkan penelitian (Adhi et al., 2016), penerapan metode BIM pada pembuatan RAB dapat

menghemat waktu perencanaan hingga 50%, meminimalkan sumber daya sejumlah 26,66% dan dapat menekan biaya pengeluaran sebanyak 52,25%.

2.9. Perencanaan Penjadwalan

Penjadwalan merupakan hal yang krusial dalam keberjalanan proyek. Penjadwalan digunakan untuk menentukan urutan mengidentifikasi urutan pekerjaan dan kurun waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian sebuah proyek. Perencanaan penjadwalan bertujuan untuk mengurangi adanya resiko keterlambatan waktu penyelesaian proyek, sehingga proyek dapat berjalan sesuai rencana, selesai tepat waktu (*on schedule*), tepat anggaran (*on budget*), dan sesuai dengan spesifikasi (*on specification*).

Di masa ini penjadwalan merupakan hal yang wajib dilakukan dalam perencanaan pembangunan gedung bertingkat. Penjadwalan memiliki berbagai manfaat yakni mengetahui hubungan setiap pekerjaan, memberikan estimasi waktu tiap pekerjaan dan estimasi proyek, mengetahui dimana titik mulai dan selesainya setiap pekerjaan, sebagai sarana pengadaan dan pengendalian alat, material, dan *manpower*, sebagai sarana pengawasan, pengendalian proyek.

Menurut (Febriana & Aziz, 2021), *Scheduling* memiliki beberapa metode dalam perencanaannya yakni :

a. Metode Bagan Balok (*Bar Chart*)

Metode yang menggambarkan jenis jenis pekerjaan dari suatu proyek yang disusun secara vertikal dan horizontal. Dibagian vertikal berisi jenis pelaksanaan pekerjaan proyek dan bagian horisontal berisi skala waktu pekerjaan. Kelebihan metode ini adalah lebih mudah dibaca dan dimengerti karena format yang disajikan adalah *Bar Chart*.

b. Metode Kurva S

Metode ini menggambarkan progres pekerjaan suatu proyek berdasarkan waktu, jenis pekerjaan, dan bobot pekerjaan. Metode ini ditunjukkan dengan persentase kumulatif pada setiap pekerjaan di proyek. Kelebihan dari metode ini adalah progress rencana dan progress real dapat dibandingkan terhadap jadwal rencana.

c. Metode Network Planning

Network Planning adalah sebuah metode yang disajikan dengan bagan alur dari setiap pekerjaan-pekerjaan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek. Metode ini dapat memperlihatkan lintasan kritis, jenis pekerjaan, waktu pekerjaan, dan waktu paling lama untuk memulai pekerjaan. Dua macam jenis *network planning*, yaitu Node dengan panah dan jenis aktivitas dan Metode Diagram Prioritas (PDM).

d. Metode Project Evaluation and Review Technique (PERT)

Metode kali ini merupakan penggabungan yang dihasilkan dari peningkatan kualitas perencanaan dan pengendalian dalam proyek. Metode ini digunakan saat perencanaan jadwalnya dihadapi dengan situasi yang tidak pasti.

Perencanaan penjadwalan pada tugas akhir kali ini menggunakan Microsoft Project sebagai software pendukung. Metode yang digunakan adalah membuat alur pekerjaan demi pekerjaan dan *Output* yang dihasilkan berupa *gantt chart* pekerjaan struktur.