

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus atau SRPMK

Sistem struktur SRPMK menggunakan aksi lentur, geser, dan aksial untuk membuat komponen struktur kolom, balok, dan joint-nya mampu menahan berbagai gaya (Ambarwati, 2017). SRPMK berkonsep *strong column weak beam* yang artinya kolom harus lebih kuat daripada balok. Dalam mendesain bangunan bertingkat pada daerah rawan gempa, metode SRPMK sangat diperlukan karena metode ini memiliki tingkat daktilitas yang tinggi.

Perencanaan *re-design* Gedung ICT UNDIP yang berada pada daerah rawan gempa dengan asumsi data Kategori Desain Seismik (KDS) D dan kelas situs sedang (SD) yang dimana termasuk termasuk dalam kategori resiko II maka berdasarkan data tersebut analisa strukturnya akan dilakukan dengan metode SRPMK, dimana sistem ini wajib digunakan saat mendesain suatu bangunan pada daerah kategori resiko D, E, dan F seperti yang diatur dalam SNI 1726-2019.

2.2 BIM (Building Information Modelling)

Proyek konstruksi di Indonesia telah berkembang secara pesat. Sehingga diperlukan inovasi teknologi yang dapat memudahkan pekerjaan konstruksi agar lebih efektif dan efisien. Salah satu inovasi dalam revolusi industri 4.0 pada dunia AEC (*Architecture, Engineering, dan Construction*) adalah BIM (*Building Information Modelling*) dengan tujuan mengoptimalkan keuntungan saat merencanakan *smart building*. BIM adalah perkembangan *design* dan seluruh data konstruksi menggunakan pemodelan digital 3D yang menghubungkan berbagai proses dalam menghasilkan serta menganalisis model suatu bangunan (Herry dkk, 2017). Didalam BIM terdapat berbagai informasi tentang bangunan yang bermanfaat dalam pembuatan perencanaan, perancangan, pelaksanaan pembangunan, dan pemeliharaan bangunan.

Banyak kelebihan yang dimiliki metode BIM daripada metode konvensional. Seperti dalam hal waktu perencanaan, metode BIM dapat menghemat waktu hingga 50% dibandingkan metode konvensional. Lalu dengan metode BIM dapat

mereduksi jumlah sumber daya manusia yang dibutuhkan sebanyak 26,66% serta menciptakan efisiensi biaya sebesar 52,25% (Cinthia dkk, 2016).

Building Information Modelling (BIM) terdapat tingkatan dimensi berdasarkan fungsinya yaitu (Sangadji dkk, 2019):

1. 2D: Pemodelan dirancang dalam bentuk sketsa yang berisikan pengukuran panjang dan lebar yang tertulis pada lembar kerja.
2. 3D: Hasil dari desain 2D yang diubah menjadi model bangunan yang terlihat secara keseluruhan. Melalui hasil 3D dapat diketahui risiko *clash* layanan di gedung.
3. 4D: Merupakan penggabungan dari model 3D dengan jadwal konstruksi. Tahap penambahan parameter waktu ke model 3D dikatakan sebagai simulasi 4D. Hasil dari model 4D dimanfaatkan sebagai perencanaan dan penjabaran kegiatan proyek.
4. 5D: Pengolahan dari hasil integrasi desain 3D dan 4D dengan penetapan biaya. Model 5D ini dapat digunakan saat melakukan estimasi biaya pada suatu proyek.
5. 6D: Dapat dilakukan analisis performa bangunan serta memiliki aspek ramah lingkungan.
6. 7D: BIM 7D dapat melakukan pelacakan dan pencarian data berupa status komponen, spesifikasi, garansi dan data pemeliharaan bangunan secara mendetail terkait kondisi bangunan.

2.2.1 BIM 3D

Pada model BIM 3D terdapat berbagai informasi bangunan yang menjadi sarana dalam penyusunan perencanaan, perancangan, pelaksanaan pembangunan, dan pemeliharaan pada bangunan. Model 3D merupakan desain yang memiliki lebar, panjang, tinggi yang dapat memvisualisasikan objek sebenarnya dalam bentuk tiga dimensi. Selain itu model ini dapat menampilkan kondisi eksisting dan memberikan gambaran keluaran proyek konstruksi (Kementerian PUPR, 2018).

2.2.2 BIM 4D dan 5D

Model pada BIM 4D dan 5D didapatkan dari pemodelan BIM 3D yang ditambahkan dimensi keempat yaitu jadwal proyek dan RAB. Yang membedakan BIM 4D dengan BIM pada tingkatan lainnya yaitu terdapat tambahan elemen waktu

sehingga dapat dilakukan penjadwalan pada suatu proyek konstruksi (Rachmawati, 2022). Model 4D mampu menggabungkan antara elemen 3D dengan *timeline* pengiriman proyek sehingga dapat menyajikan simulasi secara virtual dari proyek lingkungan 4D (Kementerian PUPR, 2018). BIM 5D yang berfokus pada penentuan *quantity take-off* pada proyek konstruksi dinilai sangat berguna dan penting karena berdampak langsung pada perencanaan anggaran biaya (Irika Widiasanti, 2023).

2.3 Clash Detection

Clash Detection merupakan istilah yang digunakan mengidentifikasi pada salah satu dari beberapa jenis konflik atau benturan yang terjadi dalam BIM karena bangunan merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dan hubungan ketergantungan antara komponen bangunan mempengaruhi terjadinya bentrokan (Y Hu, 2019). *Clash Detection* dapat menunjukkan adanya pemborosan dalam sistem produksi sehingga akar dari penyebab benturan dapat diidentifikasi lebih awal dan kemudian ditindaklanjuti.

2.4 Automatic Computer Aided Design

Software pendukung dalam *re-design* pada perencanaan ini adalah AutoCad. AutoCad (Automatic Computer Aided Design) merupakan jenis *software* yang relevan dengan dunia konstruksi dan berfungsi untuk menggambar sekaligus merancang menggunakan bantuan komputer dengan tampilan model beserta ukuran dua dimensi yang berguna sebagai alat bantu rancang bangun bagi manusia dalam menggunakannya (Ansori, 2013). Manfaat penggunaan CAD yaitu dapat dimanfaatkan untuk menggambar serta merancang semua jenis struktur, mulai dari yang kecil seperti rumah hingga yang lebih besar seperti gedung komersial dan industri besar seperti rumah sakit.

2.5 SAP 2000

SAP 2000 merupakan *software* penting dalam dunia konstruksi dengan tingkat keakuratan dan kompleksitas tinggi yang berfungsi untuk melakukan analisis struktur bangunan. *Software* ini telah banyak digunakan di dunia dan menjadi pilihan para profesional dalam bidang rekayasa struktur. Dalam *software* SAP 2000 perhitungan analisis struktur statik maupun dinamik dapat dilakukan. Lalu dalam SAP 2000 juga terdapat metode *interface* (antarmuka) ketika melakukan desain penampang beton bertulang dan struktur baja. Metode ini mudah digunakan

dalam analisis struktur (Zega dkk, 2022). Metode ini memungkinkan untuk melakukan perhitungan dan analisis secara rinci sehingga kemampuan ini sangat penting dalam proses merancang serta menguji struktur bangunan, optimalisasi performa struktur, dan meminimalisir masalah yang dapat muncul.

2.6 Autodesk Revit

Revit merupakan *software* desain bangunan parametrik yang dikembangkan oleh Autodesk, pembuat AutoCAD, 3DS Max, Maya dan banyak program desain terkenal lainnya. Sejak awal Revit dirancang sebagai platform BIM yang secara khusus menangani masalah dalam bidang industri arsitektur, teknik, dan konstruksi (Stine, Daniel & Hanson, Jeffrey, 2018). Revit merupakan singkatan dari *Revise Instantly* yang artinya jika ada perubahan dalam satu tampilan maka pada tampilan lainnya akan secara otomatis diperbarui. Dengan memanfaatkan penggunaan Revit maka pemodelan gedung dan perhitungan volume pada balok dan kolom dapat dilakukan secara baik dan akurat sehingga dapat membuat pekerjaan konstruksi berjalan lebih efisien.

2.7 Naviswork

Naviswork merupakan produk review desain 3D dari Autodesk. Dengan menggunakan Naviswork akan memungkinkan pengguna untuk membuka dan menggabungkan model 3D. *Software* ini mempunyai manajemen gangguan dan fungsi deteksi benturan yang dapat digunakan untuk mengantisipasi serta menghindari masalah potensial pada proyek sehingga penundaan dan pengerjaan ulang dapat diminimalisir. Dibandingkan metode Bar Chart yang masih menggunakan proses manual, Naviswork memiliki sistem otomatis yang membantu proses updating data serta monitoring biaya. Naviswork dapat memberikan gambaran secara visual terhadap kondisi pekerjaan karena mampu menampilkan model 3D dan kemampuan visualisasi serta dapat menyajikan lebih banyak informasi karena memiliki keterangan status dan model 3D dibandingkan metode Bar Chart (Zarkasih, Dody & Ghuzdewan, Toriq, 2021).

2.8 Microsoft Excel

Microsoft excel adalah satu *software* atau program milik Microsoft Office yang secara otomatis mampu mengolah berbagai data contohnya perhitungan, rumus, pemakaian fungsi, tabel, grafik serta manajemen data (Abdullah dkk, 2019). *Excel*

biasa digunakan untuk berbagai kebutuhan misalnya pelaporan keuangan dan pelatihan pengolahan data.

2.9 Microsoft Project

Microsoft Project merupakan *software* yang memiliki fungsi untuk menyusun penjadwalan proyek. *Software* ini membuat penyusunan jadwal dapat dilakukan dengan mudah dan cepat yaitu dengan melakukan input data lalu jadwal akan tersusun secara otomatis (Wipala, 2023). Selain penjadwalan proyek, *software* ini juga menghasilkan jaring kerja proyek atau biasa disebut *Network Planning* dan jalur kritis. Aplikasi ini dapat membantu mencatat dan memantau penggunaan sumber daya di proyek seperti sumber daya manusia maupun peralatan.

2.10 Preliminary Design

2.10.1 Perencanaan Balok

Pada SNI 2847-2019 Pasal 9.3.1.1 telah dijelaskan mengenai tinggi minimum balok nonprategang seperti tabel dibawah ini

Tabel 2. 1 Tinggi minimum balok nonprategang

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

Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan tulangan mutu 420. Untuk kasus lain, minimum h harus dimodifikasi sesuai dengan 9.3.1.1.1 hingga 9.3.1.1.3, sebagaimana mestinya.

(Sumber SNI 2847-2019 Pasal 9.3.1.1)

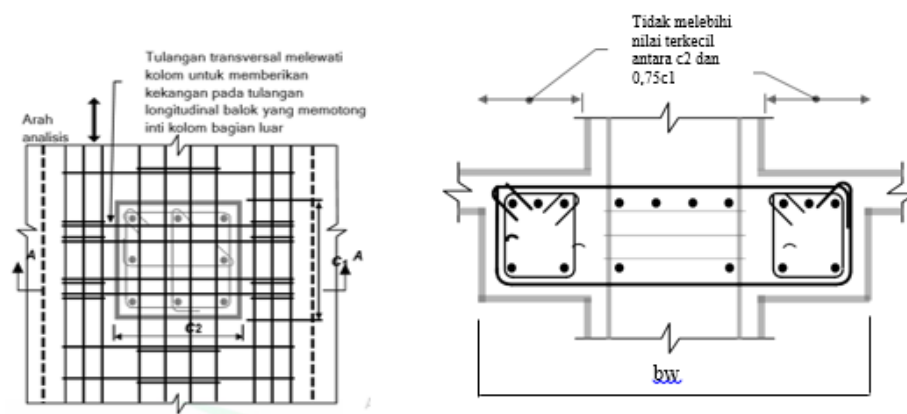
Berdasarkan tabel tersebut, tinggi balok induk minimum yaitu: $h_{min} = \frac{L}{16}$, apabila nilai f_y 420 MPa.

$h_{min} = \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$, apabila nilai f_y selain 420 MPa

Lalu untuk menentukan h (lebar) balok dapat diambil dari minimal $\frac{1}{2} h$ (tinggi balok). Sedangkan selain balok, persamaan tersebut dapat digunakan saat menentukan dimensi *tie beam*.

Sedangkan untuk balok dengan SRPMK berlaku persyaratan gaya tekan aksial terfaktor tidak boleh melebihi $A_g \cdot f'_c / 10$. Dalam menentukan batasan dimensi harus sesuai SNI 2847-2019 Pasal 18.6.2.1 sebagai berikut:

- Bentang bersih, l_n , harus minimal $4d$
- Lebar penampang b_w , harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm
- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom



(Sumber SNI 2847-2019 Gambar R18.6.2)

Gambar 2. 1 Lebar efektif maksimum balok lebar (*wide beam*) dan persyaratan tulangan transversal

2.10.2 Perencanaan Pelat Lantai

- Mencari nilai L_n untuk menentukan pelat 1 arah atau 2 arah menggunakan rumus:

$$L_n = \frac{L_y}{L_x}$$

Keterangan:

L_n = Jarak memanjang antara muka dan tumpuan

L_y = Bentang panjang

L_x = Bentang pendek

Apabila $L_n \leq 2$, maka digunakan pelat 2 arah.

- b. Menentukan dimensi tebal pelat lantai yang berdasar pada SNI 2847-2019

Tabel 2. 2 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

(Sumber SNI 2847-2019 Pasal 7.3.1.1)

Tabel 2. 3 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm)

f_y , MPa	Tanpa drop panel			Dengan drop panel		
	Panel eksterior		Panel Interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

(Sumber SNI 2847-2019 Tabel

8.3.1.1)

- c. Tebal total pelat h harus sesuai batas untuk pelat nonprategang dengan balok memanjang di setiap sisi sesuai tabel 8.3.1.2 SNI 2847-2019.

Tabel 2. 4 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya

αf_m	h minimum, mm	
$\alpha f_m \leq 0,2$	Pasal 8.3.1.1 SNI 2847-2019 berlaku	
$0,2 < \alpha f_m \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha f_m - 0,2)}$
		125
$\alpha f_m > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$
		90

(Sumber SNI 2847-2019 Tabel 8.3.1.2)

2.10.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Pada sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) saat merencanakan kolom harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847-2019 Pasal 18.7.2.1:

1. Ukuran garis lurus melalui pusat geometri tidak boleh kurang dari 300 mm atau 30 cm untuk dimensi penampang terkecil.
2. Rasio dimensi terkecil penampang terhadap dimensi tegak lurus nya tidak < 0,4.

Merencanakan dimensi kolom dapat dicari menggunakan persamaan:

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

Keterangan:

h_{kolom} : Tinggi bersih kolom

h_{balok} : Tinggi bersih balok

I_{kolom} : Inersia kolom ($\frac{1}{12} \times b \times h^3$)

I_{balok} : Inersia balok ($\frac{1}{12} \times b \times h^3$)

2.11 Penulangan Struktur Atas

2.11.1 Penulangan Balok

As min penulangan tulangan lentur minimum pada balok harus memenuhi syarat pada SNI 2847-2019 Pasal 9.6.1.2 dimana As min harus lebih besar dari a dan b

$$a) \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times d$$

$$b) \frac{1,4}{f_y} b_w \times d$$

Rasio tulangan ρ , tidak diperbolehkan > 0,025 dan minimal harus disediakan 2 batang tulangan di kedua sisi atas dan bawah.

1. Perhitungan Penulangan Lentur Balok

Dalam perhitungan penulangan balok pada tumpuan dan lapangan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$mn = \frac{mu}{\phi}$$

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

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

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

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

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.2 $A_{s_{min}}$ tumpuan positif harus tidak < setengah A_s tumpuan negatif. Sedangkan untuk $A_{s_{min}}$ lapangan negatif tidak boleh < seperempat A_s pada momen maksimum lapangan.

2. Perhitungan Tulangan Transversal Balok

Dalam menentukan gaya geser maksimum tumpuan dan lapangan didapatkan dari program SAP 2000

a) Menentukan nilai V_c dan V_s

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

Gaya geser minimum yang harus dimiliki tulangan sengkang atau geser:

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times b_w \times d$$

$$V_{s_{max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

Luas tulangan geser minimum yang harus terpasang:

$$A_{v_{min}} = \frac{b_w \times s}{3 \times f_y}$$

b) Menghitung tulangan geser berdasarkan beberapa kondisi, yaitu:

1) Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

Pada kondisi ini tidak diperlukan tulangan geser

2) Kondisi 2

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

Maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$Av_{min} = \frac{bw \times s}{3 \times fy} \quad Vs_{min} = \frac{1}{3} \times bw \times d$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

3) Kondisi 3

$$\phi \times Vc < Vu \leq \phi(Vc + Vs_{min})$$

Maka diperlukan tulangan geser minimum

$$Av_{min} = \frac{bw \times s}{3 \times fy} \quad Vs_{min} = \frac{1}{3} \times bw \times d$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

4) Kondisi 4

$$\phi(Vc + Vs_{min}) < Vu$$

Maka diperlukan tulangan geser

$$\phi \times Vs_{perlu} = Vu - \phi \times Vc$$

$$Vs = \frac{Av \times fy \times s}{s}$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

5) Kondisi 5

$$\phi\left(Vc + \frac{1}{3}\sqrt{fc'} \times bw \times d\right) < Vu \leq \phi\left(Vc + \frac{2}{3}\sqrt{fc'} \times bw \times d\right)$$

Maka diperlukan tulangan geser

$$\phi \times Vs_{perlu} = Vu - \phi \times Vc$$

$$Vs = \frac{Av \times fy \times s}{s}$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

2.11.2 Penulangan Kolom

1. Menentukan tulangan lentur kolom

- a. Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh $< 0,01A_g$ dan tidak $> 0,06A_g$ (SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.1)
- b. Kekuatan lentur kolom harus sesuai SNI 2847-2019 Pasal 18.7.3.2:

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

2. Tulangan transversal

Panjang minimum ditetapkan sebagai dasar dalam pemberian tulangan transversal yang rapat di ujung kolomnya, yang mana itu menjadi bagian yang biasanya terjadi leleh lentur. Panjang l_0 tidak boleh $<$ nilai terbesar:

- a. Tinggi kolom di penampang atau muka joint di mana pelelehan lentur dapat terjadi
- b. $\frac{1}{6}$ tinggi *netto* kolom 450 mm

SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.2 mensyaratkan tulangan transversal harus memenuhi poin-poin berikut:

- a. Setiap tekukan pada kedua ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
- b. Tulangan harus disusun sedemikian rupa sehingga jarak h_x antara tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang ditopang secara lateral oleh sudut pengikat silang atau kaki sengkang pengekang tidak melebihi 350 mm.
- c. Pada kolom dengan sengkang pengekang, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekitar inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut sengkang pengekang dan kait gempu. Nilai h_x tidak boleh lebih dari 200 mm, dan gaya tekan P_u harus sesuai dengan kombinasi beban terfaktor, termasuk E.

Selain panjang l_0 yang ditetapkan dalam pasal 18.7.5.1, kolom wajib dipasang tulangan sengkang atau spiral sesuai syarat 25.7.2 sampai 25.7.4 dengan besarnya spasi s yang nilainya tidak lebih $>$ nilai terkecil hasil enam kali diameter terkecil tulangan longitudinal dan 150mm. Hal ini dapat dikecualikan jika jumlah tulangan transversal yang lebih besar sesuai yang disyaratkan pada pasal 18.7.4.3 atau pasal 18.7.6.

2.11.3 Penulangan Pelat Lantai

1. Spasi maksimum untuk penulangan pelat lantai dijelaskan dalam SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2

$$S_{max} = 2 \times h \text{ (tebal plat) dan } 450 \text{ mm}$$

2. Luas minimum tulangan lentur, $A_{s_{min}}$, harus disediakan sesuai Tabel 7.6.1.1.

Tabel 2. 5 $A_{s_{min}}$ untuk pelat satu arah dan dua arah nonprategang

Tipe Tulangan	f_y , MPa	$A_{s_{min}}$	
Batang Ulir	< 420	$0,0020 A_g$	
Batang Ulir atau Kawat Las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0,0014 A_g$

(Sumber SNI 2847-2019 Pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1)

3. Menghitung tebal efektif penampang (d), menggunakan persamaan:

$$d = h - c_c - d_b - \frac{d_b}{2}$$

Keterangan:

d = tinggi efektif penampang pelat lantai

c_c = selimut beton

h = tebal pelat

d_b = diameter tulangan

4. Menghitung jumlah tulangan dalam 1 meter

$$n = b / s$$

Keterangan:

n = jumlah tulangan dalam 1 meter

s = jarak tulangan yang dipakai

5. Menghitung $A_{s_{pasang}}$

$$A_{s_{pasang}} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

Nilai $A_{s_{pasang}}$ harus memenuhi syarat pada tabel 2.13

6. Menghitung blok beton, a,

$$a = A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

7. Menghitung kapasitas lentur, M_n pasang

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

8. Menghitung kapasitas lentur tereduksi, ϕ

$$\phi \times M_n$$

9. Cek kapasitas, $\phi M_n > M_u$

Tabel 2. 6 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		Tulangan lainnya	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	a)	0,65	b)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$	Transisi	$0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{0,005 - \epsilon_{ty}}$	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)

(Sumber SNI 2847-2019 Tabel 21.2.2)

10. Menghitung kapasitas Momen ultimit, M_u , nilai M_u diperoleh dari output SAP 2000

11. Cek kapasitas, $\phi M_n > M_u$

2.12 Pondasi

Pondasi merupakan suatu struktur pada dasar bangunan (*sub-structure*) yang mempunyai fungsi memindahkan beban dari struktur atas bangunan (*upper-structure*) menuju lapisan tanah di bawahnya tanpa menimbulkan keruntuhan akibat geseran tanah serta tanpa penurunan tanah atau pondasi yang terlalu banyak (Candra dkk, 2018). Jenis pondasi berdasarkan kedalamannya, dibedakan menjadi pondasi dangkal dan dalam. Dalam *re-design* ini direncanakan menggunakan pondasi dalam tiang pancang.

2.12.1 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tipe tiang pancang merupakan jenis pondasi yang telah difabrikasi terlebih dahulu di pabrik (*precast*) kemudian dibawa menuju lokasi proyek dan dipancang pada titik pondasi dengan kedalaman sesuai yang telah direncanakan. Dalam merencanakan daya dukung tiang, digunakan data Q_c dan T_f dari hasil pengujian sondir.

2.12.2 Merencanakan Dimensi *Pile Cap*

Dalam perencanaan dimensi *pile cap*, diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Merencanakan dimensi pile cap didasarkan pada jarak antar tiang dan jarak tepi pondasi tiang. Digunakan syarat berikut:

Menurut SNI 2847:2019 pasal 13.4.2.2, momen lentur dan gaya geser pada pile cap dihitung berdasarkan asumsi bahwa reaksi dari tiap tiang pondasi terpusat pada pusat berat penampang tiang dan tinggi efektif pile cap minimal adalah 300 mm dengan jarak antar tiang minimal sebesar 3D dengan tujuan transfer beban ke lapisan tanah dapat berjalan dengan baik.

- b. Menghitung geser satu arah pada penampang kritis sesuai SNI 2847:2019 pasal 13.4.2.5 dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_u = \sigma \cdot L \cdot G'$$

Keterangan:

V_u = Gaya geser

σ = P/A

L = Panjang pondasi

d = tebal efektif *pile cap*

G' = daerah pembebanan yang akan diperhitungkan pada geser penulangan satu arah

$$= L - (L/2 + \text{lebar kolom}/2 + d)$$

- c. Menghitung kuat geser beton dengan persamaan sebagai berikut:

$$\phi V_c = \phi \times 1/6 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

- d. Melakukan kontrol geser satu arah dengan syarat $\phi V_c > V_u$.

- e. Menghitung geser dua arah berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.6.5.2

$$B' = c + d$$

$$b_0 = 4B'$$

Keterangan:

B' = daerah kritis

b_0 = daerah keliling kritis

c = ukuran kolom

d = tebal efektif *pile cap*

- f. Menghitung kuat geser beton dengan persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0,17 \times (1 + 2/Bc) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

$$V_{c2} = 0,083 [\alpha_s d/b_0 + 2] \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

$$V_{c3} = 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

Dari ketiga V_c tersebut, akan digunakan V_c terkecil (V_c pakai).

$$\Phi V_c = 0,75 \times V_c \text{ pakai}$$

- g. Menghitung gaya geser dua arah pada penampang kritis dengan persamaan berikut:

$$V_u = \sigma (L^2 - B'^2)$$

- h. Melakukan kontrol geser dua arah dengan syarat $\Phi V_c > V_u$.

Tabel 2. 7 Perhitungan V_c untuk geser dua arah

V_c		
Nilai terkecil dari a), b), dan c):	$0,33\lambda\sqrt{f'_c}$	a)
	$0,17(1+\frac{2}{\beta})\lambda\sqrt{f'_c}$	b)
	$0,083(2+\frac{a_s+d}{b_o})\lambda\sqrt{f'_c}$	c)

(Sumber SNI 2847:2019 Tabel 22.6.5.2)

Catatan:

β = Rasio perbandingan sisi Panjang dan sisi pendek kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi dan a_s diberikan pada 22.6.5.3.

2.13 Beban Mati

Beban mati pada suatu bangunan merupakan beban yang disebabkan oleh beban bangunan itu sendiri serta berat material konstruksi bangunan yang terpasang didalamnya, meliputi dinding, atap, lantai, tangga, plafon, dinding partisi pemanen, akibat finishing, klading gedung, dan juga komponen struktural dan arsitektural lainnya beserta peralatan atau kelengkapan lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut materialnya (SNI 1727-2020 pasal 3.1.1).

2.14 Beban Hidup

Beban hidup diartikan sebagai keseluruhan beban yang disebabkan penghunian atau penggunaan suatu gedung, tidak termasuk beban akibat berat dari konstruksi dan

beban yang diakibatkan lingkungan dalam hal ini adalah beban angin, beban air hujan, beban banjir, ataupun beban mati (SNI 1727-2020 pasal 4.1)

2.15 Beban Hujan

Beban hujan merupakan beban yang ada pada bagian atap struktur bangunan yang berasal dari air hujan. Jika sistem drainase primer terhambat pada bagian atap dan air naik di atas lubang masuk sistem drainase sekunder, maka setiap bagian atap harus dirancang dapat menampung beban air hujan yang terakumulasi (SNI 1727-2020 pasal 8.3)

$$R = 5,2 (d_s + d_h)$$

$$R = 0,0098 (d_s + d_h)$$

Keterangan:

R = Beban air hujan pada atap yang tidak melendut (kN/m^2)

d_s = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (yakni, tinggi statis) (mm)

d_h = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran desainnya (yakni, kepala hidraulik) (mm)

2.16 Beban Gempa

Gempa merupakan bencana alam yang terjadi akibat adanya aktivitas vulkanik ataupun tektonik dari kerak bumi yang dapat menimbulkan gelombang sehingga 22rogre gelombang mencapai tanah maka akan terjadi getaran pada struktur bangunan (Batu, dkk., 2016). Sehingga dapat dikatakan beban gempa merupakan beban lateral yang terjadi pada struktur bangunan akibat gelombang gempa. Untuk melakukan analisis terhadap beban gempa, ada 2 metode yaitu metode analisis ekuivalen dan analisis dinamik. Analisis statik ekuivalen memodelkan getaran gempa sebagai beban horizontal statik yang terjadi di pusat massa bangunan. Analisis dinamik memperhitungkan dampak tanah terhadap struktur untuk menghasilkan gaya geser gempa. Beban gempa dalam perencanaan Gedung ICT UNDIP ini dihitung dengan acuan SNI 1726-2019.

1. Menetapkan klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 5.3 berdasarkan perhitungan SPT rata-rata ($\bar{N}$).

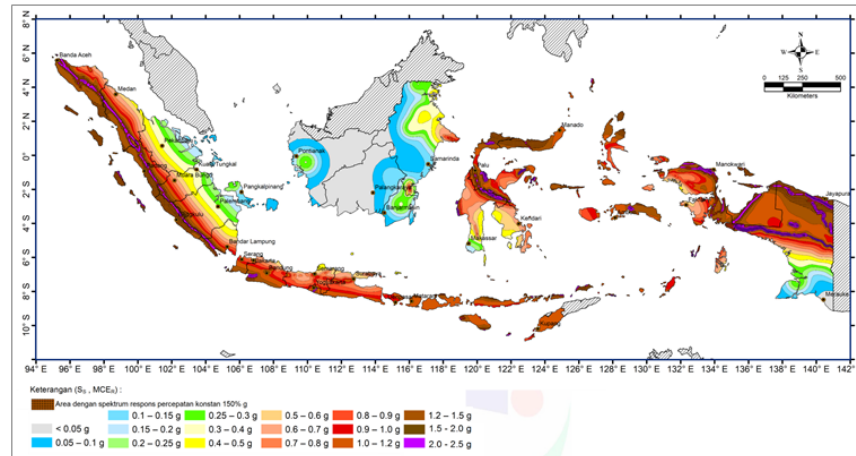
Tabel 2. 8 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{c_h}$	$\bar{S}_u$ (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
Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{c_h}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m 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, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat 23rogres 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

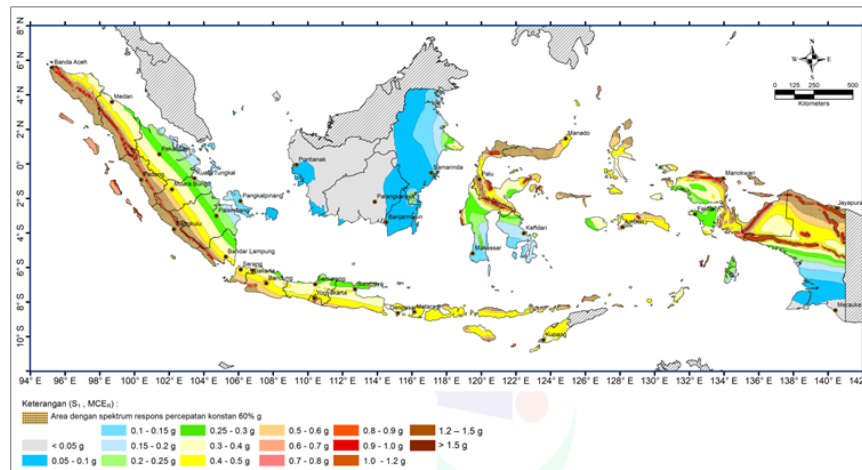
(Sumber SNI 1726-2019 Tabel 5)

2. Menetapkan parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang diperhitungkan dari risiko tertarget (MCER). Parameter S_s (percepatan batuan dasar di periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar di periode 1 detik) ditetapkan dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta tanah seismik (SNI 1726-2019 Pasal 6.1.2)



Gambar 2. 2 Peta Wilayah S_1

(Sumber SNI 1726-2019 Gambar 15)



Gambar 2. 3 Peta Wilayah S_s

(Sumber SNI 1726-2019 Gambar 16)

3. Dalam menentukan respon percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor penguatan meliputi faktor penguatan getaran yang berkaitan dengan percepatan getaran periode pendek (F_a) dan faktor penguatan yang berkaitan dengan percepatan yang mewakili getaran dengan periode 1 sekon (F_v) (SNI 1726-2019 Pasal 6.2). Parameter respon percepatan dalam periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi lokasi, harus ditentukan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

Keterangan:

S_s = parameter respons percepatan gempa MCE_R terpetakan
untuk periode pendek

S_1 = parameter respons percepatan gempa MCE_R terpetakan
untuk periode 1,0 detik

Tabel 2. 9 Koefisien Situs, F_n

Kelas Situs	Parameter respons 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	$SS^{(a)}$					

(Sumber SNI 1726-2019 Tabel 6)

Tabel 2. 10 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
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
Kelas Situs	Parameter respons percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

(Sumber SNI 1726-2019 Tabel 7)

4. Menentukan parameter percepatan desain untuk periode pendek, S_{DS} dan untuk periode 1 detik, S_{D1} , berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.3 melalui rumus:

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

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

5. Menentukan Respon Spektrum Design

Ketentuan kurva spektrum respons sesuai SNI 1726-2019 Pasal 6.4 sebagai berikut:

- a. Bagi besar periode $< T_0$, spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} , menggunakan persamaan:

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

- b. Bagi besar periode $\geq T_0$ dan $\leq T_s$, spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;

- c. Bagi besar periode $>$ dari T_s tetapi $\leq$ dengan T_L , respons percepatan desain, S_a , menggunakan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

- d. Bagi besar periode $>$ dari T_L , respons percepatan desain, menggunakan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons percepatan desain pada periode pendek

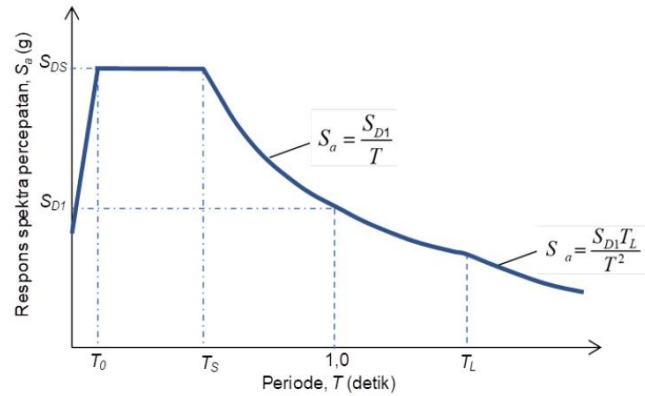
S_{D1} = parameter respons percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

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

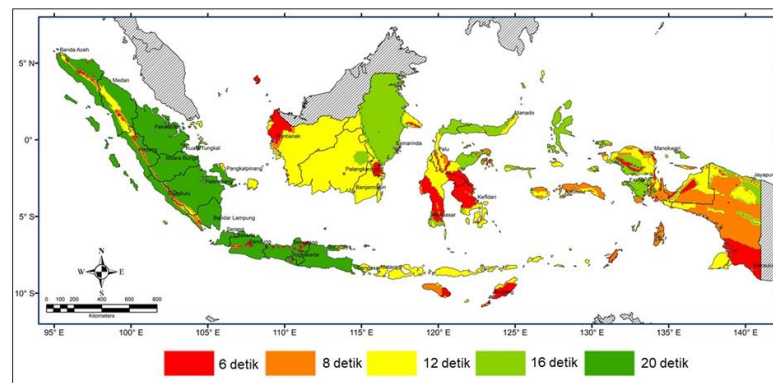
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = Peta transisi periode 26 progres yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 yang nilainya diambil dari Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Respon Spektrum Desain

(Sumber SNI 1726-2019 Gambar 3)

Gambar 2. 5 Peta transisi periode T_L , wilayah Indonesia

(Sumber SNI 1726-2019 Gambar 20)

6. Menentukan KDS menurut SNI 1726-2019 Pasal 6.5.

Tabel 2. 11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber SNI 1726-2019 Tabel 8)

Tabel 2. 12 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,5 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber SNI 1726-2019 Tabel 9)

7. Menentukan nilai koefisien modifikasi respon I berdasarkan struktur yang dipakai. Nilai koefisien tersebut diperoleh dari SNI 1726-2019 pasal 7.2.2.

Tabel 2. 13 Koefisien modifikasi respon I

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_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20.Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21.Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
22.Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23.Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan 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 terkekang 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 _k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	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 terkekang 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 canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya progres 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 ^{g,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	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	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber SNI 1726-2019 Tabel 12)

8. Menetapkan periode fundamental pendekatan (T_a) berdasarkan SNI 1726-2019 dengan rumusan sebagai berikut

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan:

h_n merupakan tinggi struktur (m), di atas dasar hingga tingkat paling tinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari berikut:

Tabel 2. 14 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya 30progres yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya 30progres:		
• 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)

9. Menentukan faktor keutamaan gempa serta kategori risiko struktur bangunan berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.1.2

Tabel 2. 15 Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa

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 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 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 manajumlah 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 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 lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat • Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun, 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. 16 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)

2.17 Beban Angin

Beban angin merupakan beban dari tekanan dari angin yang memengaruhi struktur bangunan. Bangunan gedung dan struktur tambahan, termasuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan seluruh Komponen dan Klading gedung, diharuskan didesain serta diaktualisasikan untuk dapat menahan beban angin sesuai yang disyaratkan pada pasal 26 hingga pasal 31 (SNI 1726-2020 Pasal 26.1.1). Dimana pasal tersebut menjelaskan terkait parameter angin dasar agar dipergunakan beserta syarat tambahan yang diatur dalam peraturan ini.

2.18 Kombinasi Pembebanan

Sesuai yang tertuang dalam SNI 1726-2019 Pasal 4.2.2.1 dijelaskan bahwa struktur, elemen dan komponen struktur, beserta seluruh elemen pondasi diharuskan untuk didesain sedemikian sehingga besar kuat rencana dapat sama atau lebih besar daripada pengaruh faktor beban-beban terhadap kombinasi-kombinasi sebagai di bawah.

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

Sesuai dengan SNI 1726-2019, Pasal 8.3.2.3, kombinasi beban berfaktor kuat menggunakan ketentuan berikut:

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + E_{mh} + L$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D + E_{mh}$$

Keterangan:

D = pengaruh beban mati dari berat konstruksi permanen, termasuk beban lantai, dinding, plafon, atap, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap.

L = pengaruh beban hidup yang diakibatkan oleh penggunaan gedung, seperti kejut, tetapi beban lingkungan seperti hujan, angin, dan lain-lain tidak termasuk.

L_r = beban hidup pada atap yang timbul selama pemeliharaan oleh pekerja, peralatan dan material atau selama penggunaan barang biasa oleh manusia dan benda bergerak.

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

2.19 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Penyusunan RAB pada proyek merupakan tahap awal sebelum pelaksanaan proyek. RAB merupakan besarnya biaya yang dibutuhkan baik untuk upah, material maupun biaya lain yang berkaitan dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi (Junadi, Bambang. 2019). Isi dari daftar ini yaitu volume, harga satuan, serta total harga berbagai bahan dan biaya tenaga kerja yang diperlukan untuk melaksanakan suatu proyek. Perencanaan biaya dapat dilakukan dengan cara menghitung volume pekerjaan dikalikan harga satuan pekerjaan setempat.