

# KOMPARASI KOLOM MIRING PADA STRUKTUR GEDUNG (STUDI LITERATUR)

Disusun oleh:

CHRISTIAN ROMANUGRAH HAHOLONGAN TAMBUNAN

19310052

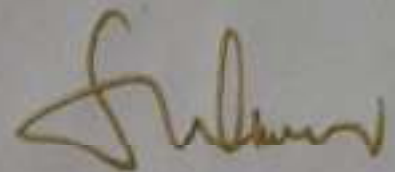
Disahkan oleh:

Dosen Pembimbing I



(Ir. J. Oberlyn Simanjuntak, S.T., M.T., IPM ASEAN Eng.)

Dosen Pembimbing II



(Ir. Salomo Simajuntak, M.T.)

Dosen Pembanding I



Dosen Pembanding II



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Seiring kemajuan perkembangan ilmu dan teknologi pembangunan bangunan tinggi di Indonesia sudah mulai berkembang. Perkembangan ilmu dan teknologi yang terjadi berpengaruh terhadap struktur bangunan dengan menghasilkan beberapa inovasi. Inovasi-inovasi pada struktur bangunan dipengaruhi oleh design perencanaan yang terus berkembang. Perkembangan terus terjadi di beberapa faktor, yaitu faktor kebutuhan bangunan sampai faktor estetika bangunan. Maka dari itu, sebagai seorang engineer harus dapat mengikuti perkembangan dan mengembangkan ilmunya. Sementara itu, pada struktur bangunan terdiri dari beberapa komponen struktur diantaranya adalah struktur pondasi, struktur kolom, struktur balok dan struktur pelat. Kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil sama dengan 3 atau lebih, digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total seluruh struktur (Sudarmoko,1996).

Struktur kolom merupakan salah satu komponen struktur yang mengalami beberapa inovasi dalam memenuhi faktor estetika bangunan. Salah satu inovasi pada struktur kolom ialah kolom miring. Penggunaan struktur kolom miring mulai diaplikasikan pada beberapa bangunan. Pada skripsi ini akan membahas kombinasi dari kolom miring dan kolom tegak pada gedung. Penggunaan kombinasi kolom miring dan kolom tegak pada gedung telah dibahas dalam skripsi ini sudah diterapkan pada struktur bangunan, yaitu Menara BRI Medan dapat dilihat pada gambar 1.1 dan gambar 1.2. Kombinasi dari kolom miring dan kolom tegak pada Menara BRI Medan didesain untuk memiliki bentuk volume bangunan yang ramping dan melengkung menunjukkan kualitas bangunan yang futuristik dan berteknologi tinggi.



konstruksi  
(HPtJZHI&t=1s)

Gambar 1.2 Menara BRI Medan setelah konstruksi selesai  
(sumber : <https://www.skyscrapercity.com/threads/medan-menara-bri-bri-tower-office-21-floors-u-c.2297875/page-4>)

Struktur pada bangunan Menara BRI Medan terutama pada struktur kolom sangat menarik untuk dibahas. Pembahasan desain kombinasi kolom miring dan kolom tegak pada struktur bangunan tidak digunakan pada satu sisi saja seperti Menara BRI Medan, melainkan digunakan pada kedua sisi gedung. Sehingga dengan pembahasan ini, bisa didapatkan hasil gaya dalam dan penulangan pada struktur gedung.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh kemiringan kolom terhadap besaran nilai momen, geser, aksial dan deformasi ?
2. Bagaimana perbandingan jumlah dan jarak tulangan dari model struktur yang menggunakan kolom tegak, kolom miring dan kolom kombinasi di kedua sisi ?

## 1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah agar penulisan tugas akhir dapat terfokus pada permasalahan yang ada, batasan masalah tersebut meliputi :

1. Perancangan elemen struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.
2. SNI yang digunakan dalam perancangan struktur.
  - a) Peraturan Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019)
  - b) Peraturan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2019)
  - c) Peraturan mengenai beban minimum (SNI 1727-2020)
  - d) Peraturan Baja Tulangan Beton (SNI 2052-2017)
3. Ada 7 model bangunan 2 lantai yang digunakan sebagai pembanding nilai momen, geser, aksial dan deformasi.
4. Model yang dirancang penulangan hanya untuk 3 portal, yaitu portal dengan kolom tegak, portal dengan kolom miring di kedua sisi dan portal dengan kolom kombinasi di kedua sisi.
5. Dimensi kolom, balok dan pelat serta pembebanan yang digunakan untuk semua model struktur pada skripsi ini mengikuti dari perencanaan dimensi awal pada model struktur portal dengan kolom tegak.
6. Analisis yang dirancang penulangan dengan menggunakan metode matriks .
7. Kekakuan dengan bantuan aplikasi excel .

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk

1. Untuk mengetahui pengaruh kemiringan kolom pada struktur gedung.
2. Untuk mengetahui dimensi ideal dan penulangan pada struktur atas untuk ketiga portal yang telah ditentukan.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini yaitu dapat memberikan pengetahuan tentang bagaimana pengaruh kemiringan suatu kolom terhadap kekakuan dan kestabilan struktur dalam merencanakan struktur gedung dengan metode matriks kekakuan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kriteria Desain dan Analisis**

Untuk melakukan analisis maupun mendesain dari suatu struktur, perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai ukuran untuk menentukan apakah struktur tersebut dapat diterima untuk penggunaan yang bermanfaat maupun untuk maksud desain tertentu. Kriteria-kriteria yang penting dalam mendesain maupun analisis adalah sebagai berikut.

1. Kemampuanlayanan (Serviceability)

Struktur harus mampu memikul beban rancang secara aman-tanpa kelebihan tegangan pada material dan mempunyai batas deformasi yang masih dalam daerah yang diizinkan.

2. Deformasi

Deformasi adalah distorsi aktual atau perubahan bentuk, ukuran dan volume yang terjadi pada bagian struktural atau suatu objek akibat pembebanan yang terjadi.

3. Efisiensi

Kriteria ini mencakup juga tujuan untuk mendesain struktur yang lebih relatif dan ekonomis.

4. Konstruksi

Kriteria konstruksi sangat luas, dan termasuk juga ke dalamnya tinjauan mengenai banyak serta jenis usaha atau tenaga kerja yang diperlukan untuk melaksanakan suatu bangunan, juga jenis dan banyak alat yang diperlukan serta lama waktu penyelesaiannya.

5. Ekonomis  
Konsep ekonomis dalam mendesain tidak dapat dilepaskan dari dua hal yang telah dibahas sebelumnya, yaitu efisiensi bahan dan kemudahan pelaksanaannya.

## 2.2. Pembebanan

Perancangan struktur beton bertulang gedung bertingkat diperlukan memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Beban yang bekerja pada struktur dapat digolongkan menjadi beban gravitasi yang meliputi beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*), serta beban lateral yang meliputi beban gempa (*Eartquake*) dan beban angin (*Wind*). Beban-beban tersebut digunakan untuk menentukan dimensi dan bentuk dari struktur bangunan yang dirancang. Pada bagian ini dijelaskan jenis-jenis beban yang digunakan dalam perancangan.

### 2.2.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang harus ada pada struktur bangunan, karena beban mati merupakan beban yang dihasilkan oleh bahan konstruksi struktur tersebut. Berat bahan bangunan akan dikalikan dengan volume dari struktur bangunan agar menjadi beban terpusat atau dikalikan dengan luas dari penampang struktur agar menjadi beban merata. Pada perancangan ini beban mati yang didapat adalah beban mati luasan dan dikonversikan menjadi beban

No	Jenis Bahan	Berat isi (Kg/m <sup>3</sup> )
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7	Pasangan batu merah	2200
8	Pasangan batu setak, batu bulat, batu gunung	2200
9		
10	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600

nan yang digunakan untuk dan 2,2.

Berat isi (Kg/m<sup>3</sup>)

2200

2400

7850

2600

1450

1650

1700

		Berat (Kg/m <sup>2</sup> )
		21
		17
		450
		250
		200
		120
		300
		200
		pa
		bal
		11
		10
		40
		git
6	dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m <sup>2</sup>	40
7	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m	7

Rumus yang digunakan dalam menentukan nilai dari beban mati adalah sebagai berikut:

$$q = \text{Luas} \times \text{Berat isi} \quad (2.1)$$

$$P = \text{Volume} \times \text{Berat isi} \quad (2.2)$$

Dengan :

q = beban merata (kg/m)

P = beban terpusat (kg)





### 2.2.3 Beban Angin

Beban angin adalah hembusan angin yang mengarah ke bangunan sehingga mengenai bagian bangunan meliputi atap, dinding, dan kolom. Beban angin dapat dihitung menggunakan metode Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan Komponen dan Klading (K&K). Pada perancangan kali ini digunakan metode Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU). Faktor-faktor yang digunakan dalam metode SPGAU adalah sebagai berikut.

a. Kecepatan angin

Nilai kecepatan angin dapat ditentukan berdasarkan Buku Peta Angin Indonesia, kecepatan angin juga dapat ditentukan menggunakan data dari pihak yang berwenang dan data iklim regional. Perancangan ini menggunakan data kecepatan angin berdasarkan HB 212-2002.

Tipe Struktur	$K_d$
Bangunan Gedung	
SPGAU	0,85
K&K	0,85

pada tabel 2.4.  
(SNI 1727:2020)

c. Eksposur

Kekerasan permukaan tanah, vegetasi, dan fasilitas yang sudah dibangun akan melawan arah angin dan mengakibatkan eksposur melawan angin. Dalam penentuan exposure, perlu diketahui data mengenai kategori kekerasan permukaan yang dapat dilihat pada Pasal 26.7.2 SNI 1727:2020. Berikut kategori kekasaran permukaan :

- Kekasaran Permukaan B : Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga tunggal atau lebih besar dalam Kekasaran Permukaan C : Dataran terbuka dengan penghalang terbesar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1 m).

Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput

- Kekasaran Permukaan D : Permukaan datar, area tanpa halangan dan permukaan air. Kategori ini termasuk hamparan lumpur halus.

Berikut kategori eksposur :

- Eksposur B : Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah melawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur, pilih yang terbesar.
- Eksposur C : Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau Eksposur D tidak berlaku.
- Eksposur D : Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah dekat dari situs dalam arah melawan angin adalah B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

#### d. Efek Topografi

Topografi pada sekitar bangunan dapat mempengaruhi kecepatan angin yang terjadi, oleh sebab itu maka diperlukan diperiksa keberadaan dari bukit, bukit memanjang, dan tebing curam terisolasi. Efek peningkatan kecepatan angin yang diakibatkan faktor topografi dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

$$\frac{V_{top}}{V_{ref}} = \left( 1 + \frac{K_{top}}{10} \right) \quad (2.3)$$



f. Tekanan kecepatan

Kategori eksposur dan ketinggian bangunan dari atas permukaan tanah dapat menentukan nilai dari koefisien eksposur tekanan kecepatan. Berdasarkan kategori tekanan kecepatan,  $K_z$  telah ditentukan pada SNI 1727 : 2020 Pasal 26.10.1. Untuk lokasi yang berada di zona transisi antara kategori-kategori eksposur yang mendekati perubahan kekasaran permukaan tanah boleh diambil nilai menengah pada tabel 2.6. Nilai koefisien eksposur

				D
				1,03
				1,08
				1,12
				1,16
				1,22
				1,27
				1,31
				1,34
				1,38
				1,40
				1,43
	36,6	1,04	1,31	1,48
	42,7	1,09	1,36	1,52
	48,8	1,13	1,39	1,55

<sup>a</sup>Gunakan 0,70 pada metode SPGAU, Eksposur B, apabila  $z < 9,1m$

Nilai koefisien eksposur tekanan kecepatan  $K_z$  dapat ditentukan dari persamaan yang sama seperti berikut.

$$K_z = 2,01 \left( \frac{z}{m} \right)^{0,425} \quad , \text{ untuk } 4,6 \leq z \leq 12 \quad (2.4)$$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{z}{m} \right)^{0,425} \quad , \text{ untuk } z < 4,6 \quad (2.5)$$

dengan :

$K_z$  = koefisien eksposur tekanan kecepatan pada ketinggian  $z$

$z_g$  = elevasi tanah di atas permukaan laut (m) (Tabel 2.6)

$\alpha$  = sudut dari arah angin terhadap suatu titik ( $^\circ$ ) (Tabel 2.7)

	$e$	$z_{min}$									
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14	
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57	
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13	

Interpolasi linier untuk nilai  $z$  menengah dari tinggi  $z$  boleh dilakukan.

Tekanan kecepatan,  $q_z$ , dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot K_e \cdot V^2 \quad (2.6)$$

dengan :

$q_z$  = tekanan kecepatan pada ketinggian  $z$  ( $N/mm^2$ )

$K_z$  = koefisien eksposur tekanan kecepatan pada ketinggian  $z$

$K_{zt}$  = koefisien faktor topografi

$K_d$  = koefisien faktor arah angin

$K_e$  = koefisien faktor elevasi permukaan tanah

$V$  = kecepatan angin dasar (m/s)

#### g. Efek hembusan angin

Pengaruh hembusan angin pada suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku dapat digunakan nilai sebesar 0,85. Bangunan bertingkat rendah adalah bangunan yang memiliki tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 18 m atau tidak melebihi dimensi horizontal yang terkecil. Bangunan bertingkat rendah dapat dikategorikan sebagai bangunan kaku.

h. Klasifikasi ketertutupan

Bangunan memiliki 4 kategori ketertutupan, kategori ketertutupan mempengaruhi tekanan internal yang terjadi pada bangunan tersebut. Pada Tabel 2.8 dapat dilihat klasifikasi ketertutupan.

Kategori ketertutupan	Klasifikasi ketertutupan	Diabaikan	Koefisien tekanan internal, ( $GC_{pi}$ )
terbuka	Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	-0,18
Bangunan sebagian terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	Diabaikan	0,00

Catatan

1. Tanda plus dan minus menandakan tekanan yang bekerja ke arah dan menjauh dari permukaan dalam.
2. Dua kasus harus diperhitungkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
  - a. Nilai negatif ( $GC_{pi}$ ) diterapkan pada semua permukaan dalam, atau
  - b. Nilai positif ( $GC_{pi}$ ) diterapkan pada semua permukaan dalam.
3. Nilai ( $GC_{pi}$ ) harus digunakan dengan  $q_z$  atau  $q_h$  seperti yang disyaratkan.

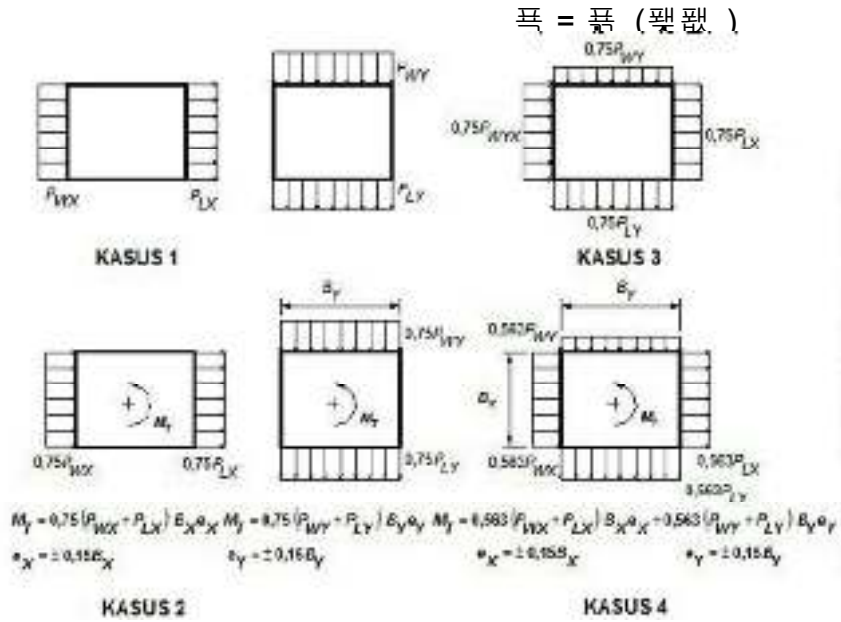
Tekanan angin menggunakan metode SPGAU dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.7.

$$p = q_z \cdot C_{pe} \cdot C_{pi} \quad (2.7)$$

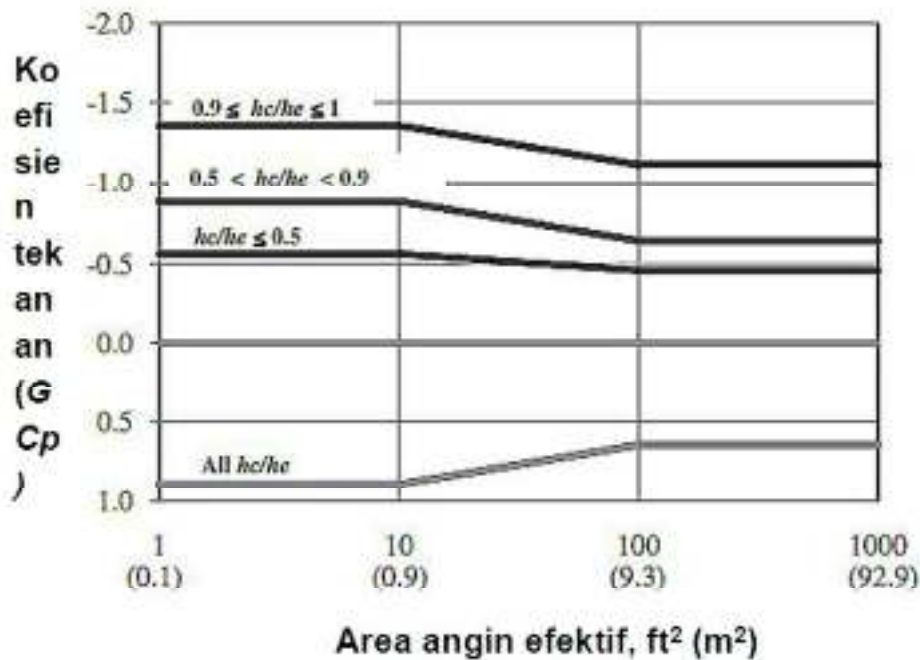




Dalam perhitungan beban angin untuk kanopi digunakan persamaan berikut.



atau  $h$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 dengan (Gambar 3.2)



atau (Gambar 3.2)

Gambar 2.2 Koefisien tekanan neto untuk kanopi,  $G C_p$

### 2.2.4 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban horizontal yang berasal dari gerakan tanah akibat gempa bumi. Beban gempa harus dipertimbangkan dalam merancang suatu bangunan pada daerah yang telah direncanakan, sehingga bangunan dapat didesain dengan baik dan memenuhi standar perencanaan ketahanan gempa yang menggunakan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Hal pertama yang harus diketahui untuk mendesain beban gempa adalah kategori risiko dari Tabel 2.11 dapat dilihat pemanfaatan bangunan dan kategori risiko.

	Kategori Risiko	Pemanfaatan Bangunan
	I	Gedung bertingkat
	II	Gedung bertingkat

- Pusat perbelanjaan/ mal
- Bangunan industri
- Fasilitas manufaktur
- Pabrik

2.11

III

untuk  
kar  
ung  
n

t  
urat

IV

ur

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.

Setelah mendapatkan kategori risiko dari bangunan yang didesain maka dapat digali faktor keutamaan gempa.

Tabel

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

Pada perancangan beban gempa perlu diketahui klasifikasi situs dari daerah bangunan yang dibangun. Pada Tabel 2.13 dapat dilihat klasifikasi situs

	$N_{ch}$	$s_u$ (kPa)
SA (tanah lunak)	<15	<50
SB (batuan)	750-1500	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350-750	>50
SD (tanah sedang)	175-350	15-50
SE (tanah lunak)	<175	<15

Penentuan kelas situs menggunakan nilai dari tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata ( $N$ ) atau tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah nonkohesif ( $N_{ch}$ ). Nilai  $N$  dan  $N_{ch}$  dihitung menggunakan Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \quad (2.9)$$

Persamaan 2.9 berlaku untuk tanah nonkohesif, tanah kohesif, dan lapisan batuan.

$$\bar{N}_{ch} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{ch,i}}{n} \quad (2.10)$$

Persamaan 2.10 berlaku untuk tanah nonkohesif, dengan:

$d_i$  = tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30m paling atas

$d_s$  = tebal total lapisan tanah nonkohesif di dalam lapisan 30m paling atas

$n_i$  = jumlah lapisan

Kemudian setelah didapat klasifikasi tanah, maka dicari nilai koefisien parameter respons spektral percepatan gempa. Nilai parameter respons spektral percepatan gempa periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) dapat dicari menggunakan Persamaan 2.11 dan Persamaan 2.12.

$$\frac{S_{M1}}{S_1} = \frac{F_s}{E_s} \quad (2.11)$$

$$\frac{S_{MS}}{S_S} = \frac{F_s}{E_s} \quad (2.12)$$

dengan:

$S_{M1}$  = parameter percepatan respons spektral  $MCE_R$  pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

$S_{MS}$  = parameter percepatan respons spektral  $MCE_R$  pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

$S_1$  = parameter percepatan respons spektral  $MCE_R$  pada periode 1 detik

$S_S$  = parameter percepatan respons spektral  $MCE_R$  pada periode pendek

$F_s$  = koefisien situs pada periode pendek (Tabel 2.14)

Kelas Situs	Kelas Situs						$S_s \geq 1,5$
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8
SF							SS

							terpetakan pada
							$S_1 \geq 0,6$
							0,8
							0,8
							1,4
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			

Berikutnya parameter percepatan spektral desain dicari menggunakan nilai parameter percepatan spektral dengan Persamaan 2-13 dan Persamaan 2-14.

$$\ddot{u}_g = \dots \quad (2.13)$$

$$\ddot{u}_g = \dots \quad (2.14)$$

dengan:

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

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

Kurva spektrum respons desain dibuat menggunakan peraturan sebagai berikut:

- a. Jika nilai  $T < T_0$ , maka persamaan  $S_a$

$$\ddot{u}_g = \ddot{u}_g (0,4 + 0,6 \dots) \quad (2.15)$$

- b. Jika nilai  $T_0 \leq T \leq T_s$ , maka persamaan  $S_a$

$$\ddot{u}_g = \ddot{u}_g \dots \quad (2.16)$$

- c. Jika nilai  $T_s \leq T \leq T_L$ , maka persamaan  $S_a$

$$\ddot{u}_g = \ddot{u}_g \dots \quad (2.17)$$

- d. Jika nilai  $T \geq T_L$ , maka persamaan  $S_a$

$$\ddot{u}_g = \ddot{u}_g \dots \quad (2.18)$$

dengan :  $S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

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

$S_{DS}$  = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \cdot \dots \quad (2.19)$$

$$T_s = \dots \quad (2.20)$$

$T_L$  = periode panjang dari peta transisi sesuai lokasi pembangunan

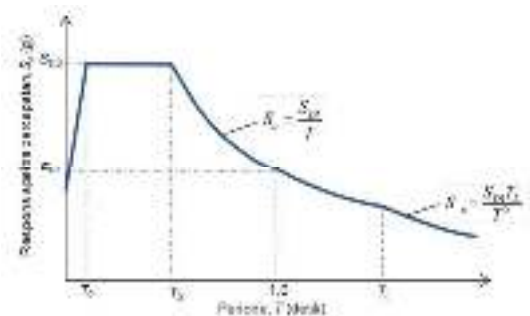
Pada Tabel 2.16 dan Tabel 2.17 dapat ditentukan parameter respons spektral percepatan  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  dapat digunakan untuk menentukan kategori desain seismik.

Tabel parameter respons percepatan pada periode

		Kategori risiko	
		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 parameter respons percepatan pada periode

		Kategori risiko	
		atau III	IV
	$S_{D1} < 0,067$	A	A
		C	C
		D	D
		D	D



Gambar 2.3 Grafik spektrum respons desain

Maka didapatlah nilai dari beban gempa menggunakan persamaan berikut

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (2.21)$$

$$F_x = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{W} \times V_i \quad (2.22)$$

Dimana

$C_{vx}$  = factor distribusi vertical

$V$  = gaya geser dasar seismic

$W_x$  = berat struktur pada tingkat x

$H_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat x

$K$  = Ekponen perioda strktur

$T \leq 0,5$ ,  $K = 1$  ;  $T \geq 2,5$ ,  $K = 2$

$0,5 < T < 2,5$  = dilakukan interpolasi antara nilai 1 dan 2

Diketahui  $T = 0,279$  detik  $< 0,5$  detik, sehingga  $K = 1$

### 2.2.5 Faktor Keamanan Beban

Berdasarkan persyaratan dalam SNI 2847:2013 besarnya kuat perlu,  $U$ , yang harus dipertimbangkan sebagai kondisi paling kritis yang harus dipikul suatu elemen struktur adalah:

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 1 E + 1 W \quad (2.23)$$

Dengan :

$U$  = Beban ultimate

$D$  = Beban mati

$L$  = Beban hidup

$E$  = Beban gempa

$W$  = Beban angin



## 2.3. Analisa Struktur

### 2.3.1 Metode Matrix Kekakuan

Metode matrix merupakan konsep baru dalam analisis struktur yang memungkinkan langkah idealisasi struktur untuk menyusun persamaan-persamaan linear yang diperlukan dalam penentuan tanggap struktur, baik yang berupa medan perpindahan (translasi dan rotasi) maupun medan gaya (gaya aksial, gaya lintang, momen lentur dan torsi) pada titik-titik diskrit dalam suatu struktur. Keunggulan lain dari metode matrix adalah susunan persamaan linear dalam penentuan perpindahan dan gaya dalam yang terjadi dapat dijabarkan dalam bahasa program komputasi, sehingga akan mempercepat waktu dan meningkatkan ketelitian hasil perhitungan yang diperoleh. Dalam analisis metode matrix secara garis besar dapat dibedakan menjadi dua yaitu; metode fleksibilitas dan metode kekakuan.

Dengan metode kekakuan (*stiffness method*) ini sebenarnya dicari hubungan gaya dengan perpindahan, yang secara matematis dapat dinyatakan :

$$[F] = [K] \times [D] \quad (2.24)$$

di mana {F} menyatakan gaya-gaya yang timbul pada titik-titik diskrit akibat terjadinya perpindahan {D} pada titik-titik tersebut. Tentu saja gaya {F} merupakan gaya yang berhubungan (*corresponding*) dengan perpindahan {D}.

Sedangkan [K] menyatakan kekakuan dari struktur.


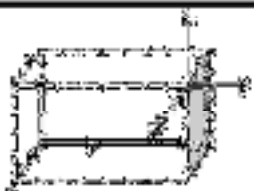
Metode kekakuan ini juga disebut metode perpindahan (*displacement method*), karena analisis dimulai dengan menghitung perpindahan yang terjadi pada titik-titik diskrit, dilanjutkan dengan mencari hubungan antara perpindahan dengan gaya dalam yang terjadi pada titik diskrit. Metode ini akan sangat menguntungkan apabila digunakan untuk menganalisis suatu struktur di mana nilai derajat ketidak-tentuan kinematisnya (berhubungan erat dengan derajat kebebasan atau *degree of freedom*) adalah lebih kecil dari derajat ketidak-tentuan statisnya. Dengan demikian struktur-struktur statis tak tentu yang sering dijumpai pada kasus nyata di lapangan, akan lebih menguntungkan bila dianalisis dengan metode kekakuan ini, karena umumnya struktur-struktur ini memiliki derajat ketidak-tentuan statis yang besar.

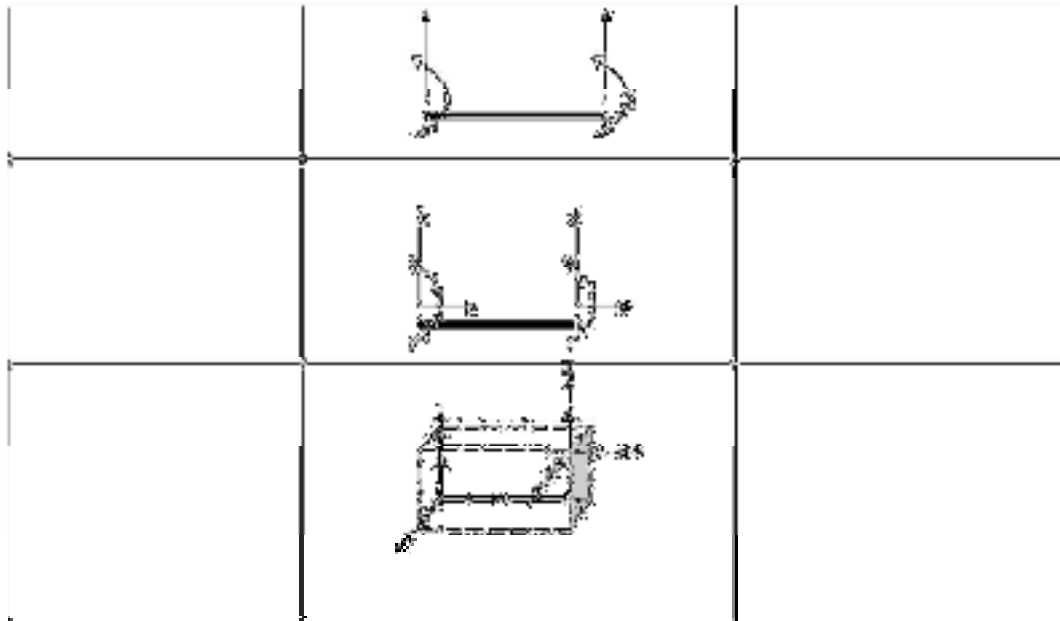
### 2.3.2 Derajat Kebebasan

Untuk mengetahui di mana harus dihitung besaran perpindahan yang terjadi, maka terlebih dahulu harus diketahui berapa derajat ketidak-tentuan kinematis atau *kinematic indeterminacy degree* (KID) atau derajat kebebasan pergerakan (*degree of freefom*) dari sistem struktur yang tidak terkekang. Derajat ketidak-tentuan kinematis merupakan suatu besaran yang menyatakan jumlah komponen bebas dari perpindahan di titik diskrit yang mungkin terjadi sebagai akibat bekerjanya beban pada sistem struktur.

Pada struktur bidang/dua dimensi (2D) dengan perilaku titik simpul yang kaku sempurna (jepit), umumnya akan terjadi perpindahan berupa translasi (linear) dan **rotasi** (anguler) di titik-titik simpul. Perpindahan yang berupa translasi selalu dapat dinyatakan dalam dua komponen yang saling tegak lurus, sedangkan komponen **rotasi** dinyatakan oleh satu komponen anguler. Dengan demikian pada satu titik simpul (nodal) secara lengkap akan terjadi tiga komponen perpindahan.

Untuk struktur ruang/tiga dimensi (3D) dengan titik simpul kaku sempurna (jepit), pada umumnya secara lengkap akan ada enam buah komponen perpindahan di setiap nodal, yang berupa tiga komponen translasi dan tiga komponen rotasi. Pada bangunan rangka batang dengan perilaku sambungan sendi, maka dengan sendirinya komponen perpindahan rotasi tidak akan muncul. Selengkapnya derajat kebebasan pergerakan awal (*initial degree of freedom*) untuk satu buah titik simpul pada berbagai jenis struktur dapat dilihat

			
			
			of Freedom ap nodal 2



lanjutan tabel 2.18

2

3

6

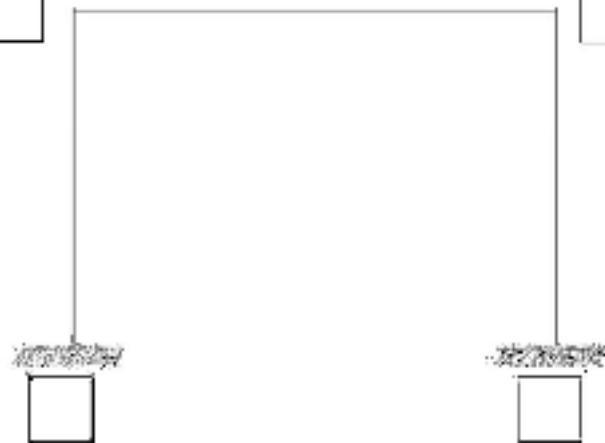
*Space Frame*  
(3D)

### 2.3.3 Rumus pada Matriks Kekakuan

Rumus yang digunakan dalam skripsi ini adalah rumus pada 2 dimensi untuk struktur portal dimana titik simbul yang digunakan adalah jepit-jepit.

J  
r

mpuan jepit-jepit. Rumus-bar 2.4.



4

1

3

Gambar 2.4 Arah tinjauan analisa struktur berdasarkan penomoran pada join

$$[k_{\text{elem}}] = \begin{bmatrix} 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 2EI/L \\ -EA/L & 0 & 0 & EA/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & 12EI/L^3 & -6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Koordinat titik simpul elemen untuk menentukan nilai cosinus dan sinus.

$$\cos(\theta) = \dots \quad (2.26)$$

$$\sin(\theta) = \dots \quad (2.27)$$

Bentuk dari

adalah sebagai berikut.

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Matriks kekakuan lokal  $[k_{\text{elem}}]$

$$[k_{\text{elem}}] = [k_{\text{elem}}] \times [T] \quad (2.29)$$

Matriks koordinat global  $[k_{\text{elem}}]$

$$\dots \quad (2.30)$$

Matriks kekakuan global [K]

Matriks disusun dan disesuaikan disetiap elemen dan titik simpul yang ada pada struktur yang dilakukan analisa. Matriks kekakuan global direduksi [K<sub>red</sub>] karena pada tumpuan jepit tidak ada terjadi deformasi dan putaran sudut, sehingga nilai d1 dan d4 pada struktur adalah 0.

Berikut adalah persamaan dan bentuk matriks kekakuan global sesuai dengan gambar 2.4.

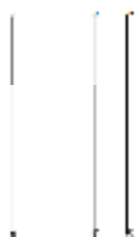
$$[F] = [K] \times [d] \quad (2.31)$$

$$1. F_1 = KA_{11} \cdot (d_1) + KA_{12} \cdot (d_2) \quad (2.31a)$$

$$2. F_2 = KA_{21} \cdot (d_1) + (KA_{22} + KB_{11}) \cdot (d_2) + KB_{12} \cdot (d_3) \quad (2.31b)$$

$$3. F_3 = KB_{21} \cdot (d_2) + (KB_{22} + KC_{11}) \cdot (d_3) + KC_{12} \cdot (d_4) \quad (2.31c)$$

$$(2.31d)$$



f2	KA <sub>21</sub>	KA <sub>22</sub> + KB <sub>11</sub>	KB <sub>12</sub>	0	(2.32)
f3	0	KB <sub>21</sub>	KB <sub>22</sub> + KC <sub>11</sub>	KC <sub>12</sub>	
f4	0	0	KC <sub>21</sub>	KC <sub>22</sub>	
				0	

Berikut adalah bentuk matriks kekakuan global yang telah direduksi

$$[K_{red}] = \begin{bmatrix} f_1/d_1 & & & \\ & f_2/d_2 & & \\ & & f_3/d_3 & \\ & & & f_4/d_4 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

f2	KA <sub>22</sub> + KB <sub>11</sub>	KB <sub>12</sub>
f3	KB <sub>21</sub>	KB <sub>22</sub> + KC <sub>11</sub>

Menentukan deformasi global

Arah gaya beban akan disesuaikan dengan sumbu, arah beban dari kiri ke kanan bernilai positif dan arah beban dari kanan ke kiri bernilai negatif.

$$[d] = [K_{red}]^{-1} \times [F] \quad (2.34)$$

Menentukan besar gaya tiap batang

$$[F_{elem}] = [K_{elem}] \times [d_{elem}] \quad (2.35)$$

Menentukan deformasi lokal

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{bmatrix} = [D] \times \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Menentukan nilai momen, lintang dan normal

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \\ V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = [K] \times \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

#### 2.4. Faktor Desain Kekuatan

Fungsi faktor reduksi kekuatan adalah untuk memperkirakan kemungkinan kekuatan penampang tidak mencukupi (under-strength) karena perbedaan dimensi dan perbedaan material, untuk memperkirakan ketidaktepatan pada tahap perancangan, untuk merefleksikan ketersediaan daktilitas dan tingkat keandalan yang diperlukan komponen struktur relatif terhadap beban, serta untuk menyatakan seberapa penting komponen struktur terhadap keseluruhan struktur

Dalam perencanaan elemen struktur atas, ada beberapa asumsi desain yang disyaratkan dalam SNI 2847:2019, di antaranya adalah :

- Regangan pada beton dan baja dianggap proporsional terhadap jarak ke sumbu netral
- Keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan harus dipenuhi
- Regangan tekan maksimum pada beton dibatasi sebesar 0,003
- Kekuatan beton di daerah tarik dapat diabaikan.
- Tegangan pada tulangan baja adalah

$$\sigma_s = \rho_s \sigma_c \leq \sigma_{sy} \quad (2.38)$$

- Nilai faktor distribusi tegangan beton ( $\rho_s$ ) didapat dari SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3 dan ditunjukkan pada tabel 2.18

Tabel 2

	beton
	0,85
	0,65

$\frac{f_{yk}}{f_{yk}} \leq \frac{f_{yk}}{f_{yk}} \leq \frac{f_{yk}}{f_{yk}} - \frac{f_{yk}}{f_{yk}}$   
 $\frac{f_{yk}}{f_{yk}} \geq \frac{f_{yk}}{f_{yk}}$

- g. Balok tegangan beton dianggap berbentuk persegi sebesar 0,85  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}}$  yang terdistribusi merata dari serat tekan terluar hingga setinggi  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}} = \frac{f_{yk}}{f_{yk}}$ , dengan
- c adalah jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral penampang. Nilai  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}}$  adalah 0,85, jika  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}} < 30$  MPa. Nilai  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}}$  akan berkurang 0.05 setiap kenaikan 7 MPa, namun tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Faktor reduksi kekuatan,  $\phi$ , dapat bervariasi tergantung beberapa kondisi berikut :

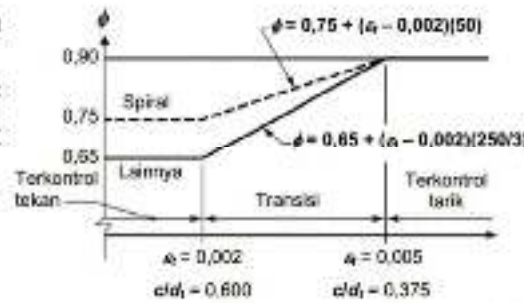
- a. Apabila  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}} = \phi \frac{f_{yk}}{f_{yk}} \geq \dots$ ,  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}}$  ,  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}}$   $\phi = \dots$  ,  $\dots$  untuk kolom dengan sengkang persegi, dan  $\phi = \square, \square\square$  untuk kolom dengan sengkang spiral.

Kondisi ini terjadi apabila keruntuhan yang direncanakan adalah berupa keruntuhan tekan.

- b. Penampang dengan regangan tarik tulangan baja terluar,  $\frac{f_{yk}}{f_{yk}}$ , berada antara

	antara 0,95 dan
	1.2.1)
	$\phi$
	0,65-0,90
	0,75
	0,75
Tumpu (bearing)	0,65
Strut, ties, zona nodal dan daerah tumpuan yang dirancang dengan strut-and-tie	0,75
Beton polos	0,6
Angkur dalam elemen beton	0,45-0,75

Suatu nilai reduksi kekuatan yang diatur dalam SNI 2847:2019 memiliki hubungan dengan dengan  $\phi$  yang menunjukkan hubungan antara nilai reduksi kekuatan ( $\phi$ ) dengan nilai regangan tarik tulangan baja ( $\epsilon_s$ ). Gambar 2.5 memperlihatkan grafik hubungan antara nilai reduksi kekuatan ( $\phi$ ) dengan nilai regangan tarik tulangan baja ( $\epsilon_s$ ) yang terkontrol tarik.



Gambar 2.5 Variasi nilai  $\phi$  terhadap nilai regangan tarik tulangan baja

## 2.5. Perencanaan Struktur Atas

Struktur atas terdiri dari tangga, pelat, balok dan kolom. Perencanaan struktur atas menggunakan prinsip SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah suatu sistem struktur yang didesain dan diberi detailing yang cukup guna menahan beban gempa bumi. Sistem rangkai pemikul momen khusus atau SRPMK, ditentukan berdasarkan kategori desain seismik pada daerah perencanaan bangunan pada SNI 2847:2019.

Perencanaan tulangan merupakan bagian dari perencanaan struktur atas. Adanya kesamaan persamaan dalam merencanakan tulangan pokok atau tulangan longitudinal pada struktur atas. Perencanaan penulangan dapat dilihat dalam persamaan berikut

$$R_n = \dots \quad (2.39)$$

$$\frac{R_n}{f_y} = \dots \quad (2.40)$$

$$\rho_{max} = 0,429 \frac{f_y}{f_c} \dots \text{ Atau } \rho_{max} = 0,0025 \quad (2.41)$$

$$\rho = \dots \quad (2.43)$$



$$\sigma_{\text{t}} = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{\sigma_{\text{t}}} \cdot \frac{1}{\sigma_{\text{t}}} \quad (2.44)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} + \rho_{\text{min}} \quad (2.45)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{b \cdot d^2}{A_s} + \frac{1}{\rho_{\text{min}}} \quad (2.46)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{f_y}{4 \cdot f_c} \quad (2.47)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{f_y}{4 \cdot f_c} \quad (2.48)$$

$$\sigma_{\text{t}} = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{\sigma_{\text{t}}} \cdot \frac{1}{\sigma_{\text{t}}} \quad (2.49)$$

$$\sigma_{\text{t}} > \sigma_{\text{t}} \quad (2.50)$$

Keterangan :

$M_u$  = momen ultimate dari hasil analisa struktur (kN.m)

$f_y$  = mutu baja (MPa)

$f_c$  = mutu beton (MPa)

$\rho$  = rasio tulangan

$\rho_{\text{min}}$  = rasio tulangan minimum

$\rho_{\text{max}}$  = rasio tulangan maksimum

$A_s$  = luas tulangan tarik longitudinal non-prategang (mm<sup>2</sup>)

$b$  = lebar penampang (mm)

$d$  = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan longitudinal (mm)

$n$  = jumlah tulangan perlu

$m$  = jumlah tulangan dalam satu baris

$a$  = tinggi balok beton yang tertekan

$c$  = jarak dari sisi terluar tekan sampai dengan titik peralihan regangan tekan dan regangan tarik

$\beta_1$  = koefisien nilai beton

$\epsilon_s$  = regangan

### 2.5.1 Perencanaan Tangga

Tangga merupakan akses penghubung antar lantai bawah dan di atasnya. Tangga tersusun dari beberapa bagian yaitu anak tangga dan bordes. Dalam perancangan struktur tangga hal yang perlu diperhatikan adalah jumlah anak tangga yang direncanakan yang dipengaruhi oleh tinggi anak tangga ( $O_p$ ) dan panjang anak tangganya ( $A_n$ ). Antrede dan Optrade pada anak tangga harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat kenyamanan tangga yaitu :

$$600 \leq 2 \times O_p + A_n \leq 650 \quad (3-34) \quad (2.51)$$

Keterangan :

$O_p$  = Tinggi per 1 buah anak tangga (mm)

$A_n$  = Lebar per 1 buah anak tangga (mm)

### 2.5.2 Perencanaan Pelat

Pelat adalah elemen struktur yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke struktur lainnya. Apabila pelat didukung sepanjang keempat sisinya, dinamakan sebagai pelat dua arah di mana lenturan akan timbul dua arah yang saling tegak lurus. Tebal pelat ditentukan dan direncanakan kebutuhan tulangan melalui metode koefisien momen. Batas minimum tebal dari suatu pelat dua arah

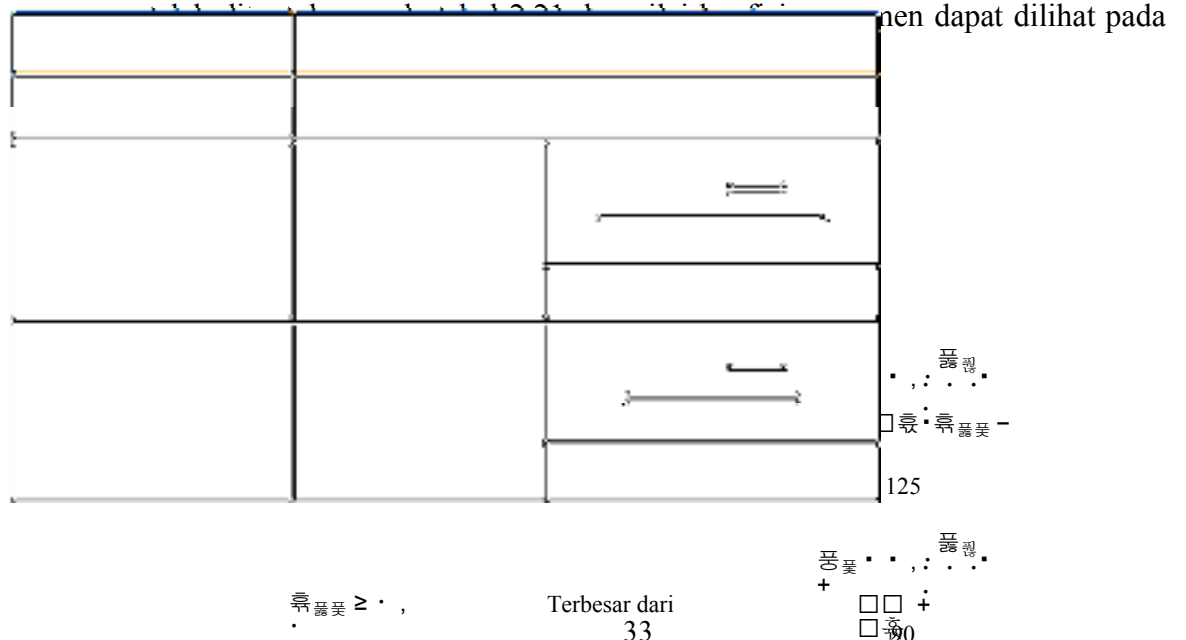


Diagram	M <sub>lx</sub>	M <sub>ly</sub>	M <sub>ty</sub>	Kondisi terjepit				
				2.2	2.3	2.4	2.5	> 2,5
				0	0	0	0	0
				06	108	110	112	125
				35	34	32	32	25
				0	0	0	0	0
				62	63	63	63	63
				62	63	63	63	63
				34	34	34	34	13
				34	34	34	34	38
				90	91	92	92	94
				90	91	92	92	94
				48	48	47	47	19
				48	48	47	47	56
				0	0	0	0	0
				93	97	100	103	125
				79	79	79	79	25
				79	79	79	79	75
				63	63	63	63	63
				63	63	63	63	63
				9	9	9	9	13
				0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0
				99	102	105	108	125
				79	79	79	79	25
				79	79	79	79	75
				91	92	92	93	94
				91	92	92	93	94
				17	16	16	15	12
				0	0	0	0	0
				37	88	89	90	54
				37	88	89	90	54
				49	48	48	48	19
				49	48	48	48	56

$M_{lx} = 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \times$  13 48 51 55 57 58 60 61 62 62 62 63 63 63 63 63 63  
 $M_{ly} = 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \times$  38 39 38 38 37 36 36 35 35 34 34 34 33 33 33 33 13  
 $M_{ty} = -0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \times$  38 39 38 38 37 36 36 35 35 34 34 34 33 33 33 33 38

**Catatan:**  
 = Terletak bebas  
 = Menerus atau terjepit elastis

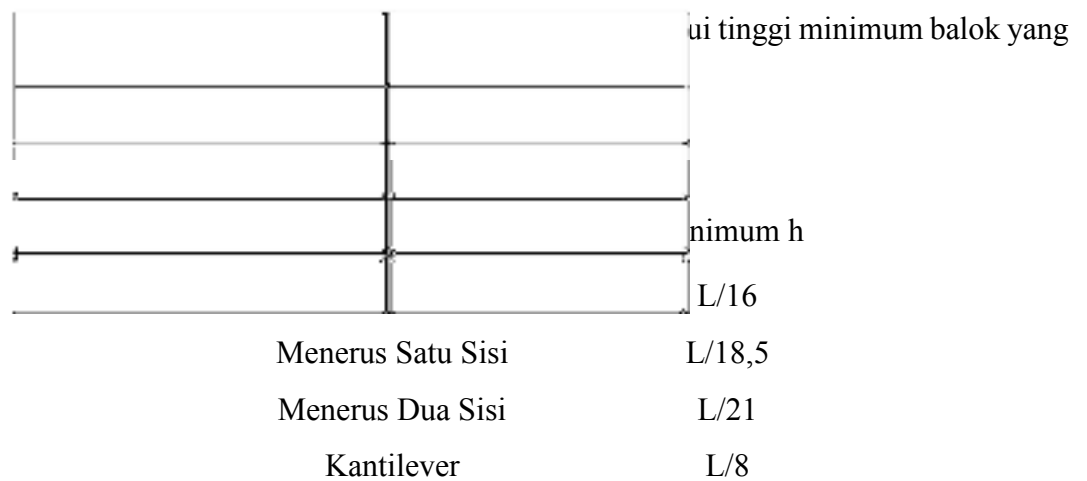
Diagram	Kondisi Terjepit																								
	2.2	2.3	2.4	2.5	>2,5																				
	0	0	0	0	0	06	108	110	112	125	35	34	32	32	25	0	0	0	0	0					
	83	83	83	83	83	41	42	42	42	42	11	11	10	10	8	57	57	57	57	57	20	121	122	122	125
	59	60	61	61	63	17	17	16	16	43	79	79	79	79	79	0	0	0	0	0	93	97	100	103	125
	37	36	35	35	25	21	122	123	123	125	83	83	83	83	83	42	42	42	42	42	9	9	9	9	8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	102	105	108	125	36	35	34	33	25
	23	123	124	124	125	22	123	123	124	125	60	61	61	62	63	17	16	16	15	13	0	0	0	0	0
	17	118	119	120	125	57	58	59	60	63	20	19	19	18	13	78	78	78	79	79	33	83	83	83	83

$$\begin{aligned} M_{ix} &= 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \times 26 & 29 & 32 & 35 & 36 & 38 & 39 & 40 & 40 & 41 & 41 & 42 & 42 & 42 & 42 & 42 & 42 & 42 & 42 & 42 \\ M_{iy} &= 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \times 21 & 20 & 19 & 18 & 17 & 15 & 14 & 13 & 12 & 12 & 11 & 11 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 8 \\ M_{ty} &= -0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \times 55 & 57 & 57 & 57 & 58 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 & 57 \end{aligned}$$

**Catatan:**  
 = Terletak bebas  
 = Terjepit penuh

### 2.5.3 Perencanaan Balok

Balok adalah bagian dari struktur yang berfungsi untuk menopang lantai di atasnya serta sebagai penyalur momen ke kolom-kolom yang menopangnya. Balok yang bertumpu langsung pada kolom disebut dengan balok induk, sedangkan yang bertumpu pada balok induk disebut balok anak. Dalam



Adapun batasan desain untuk balok yang telah ditentukan pada pasal 18.6.2 SNI2847:2019 untuk ketentuan penampang balok SRPMK yaitu :

- Bentang bersih ( $l_n$ )  $\geq 4d$
- Lebar penampang ( $b_w$ ) harus lebih besar dari nilai terkecil dari  $0,3h$  dan  $250$  mm.
- Lebar penampang balok ( $b_w$ ) tidak boleh melebihi nilai terkecil dari nilai lebar penampang kolom dan  $0,75$  tinggi kolom.

Luas tulangan lentur minimum untuk balok nonprategang ditentukan dari dua nilai terkecil dari ketentuan pasal 9.6.1.2 dan untuk luas tulangan maksimum adalah sebesar  $0,0025$ .(SNI 2847:2019). Perhitungan penulangan dimulai dengan menentukan momen dan geser yang terjadi pada tumpuan balok dan ditengah bentang balok lalu dilanjutkan dengan perhitungan tulangan. Apabila rasio tulangan ( $\rho$ ) lebih besar dibandingkan rasio tulangan minimum, maka rasio tulangan minimum yang akan digunakan dalam merencanakan penulangan.

Dalam desain sebuah balok SRPMK, maka tulangan transversal harus memenuhi beberapa persyaratan berikut :

- a. Sengkang tertutup harus disediakan pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan pada kedua ujung komponen struktur lentur.
- b. Jarak antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi dari nilai terkecil :
  1.  $d/4$
  2.  $6d_b$  (6 kali diameter tulangan memanjang terkecil)
  3. 150 mm
- c. Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempapada kedua ujungnya harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  di sepanjang bentang komponen struktur lentur
- d. Sengkang tertutup dapat terdiri dari dua buah tulangan, yaitu : sebuah sengkang dengan kait gempapada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang berurutan yang mengikat tulangan memanjang yang sama, kait 90°-nya harus dipasang berselang-seling
- e. Tulangan transversal untuk SRPMK harus didesain untuk memikul gaya geser rencana yang ditimbulkan oleh kuat lentur maksimum,  $M_{pr}$ , dengan tanda berlawanan, yang dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan. Pada saat yang bersamaan komponen tersebut dianggap memikul beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya. Besarnya gaya geser rencana tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_{pr} = \dots + \dots \quad (2.52)$$

$$V_{pr} = \dots + \dots \quad (2.53)$$

Besarnya nilai  $M_{pr}$ , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$a_{pr} = \dots \quad (2.54)$$

$$\dots = 1.25 \cdot \dots \quad (2.55)$$

Keterangan

- $a_{pr}$  = tinggi balok beton tertekan di ujung balok
- $V_{ki}, V_{ka}$  = gaya geser rencana pada ujung kiri dan kanan komponen struktur lentur
- $M_{pr}$  = kuat momen lentur di ujung balok yang ditentukan dengan menganggap kuat tarik pada tulangan memanjang sebesar minimum  $1,25 f_y$  dan faktor reduksi  $\phi = 1$
- $V_{a_{ki}}, V_{a_{ka}}$  = gaya geser dari analisa struktur
- $l_n$  = panjang bentang bersih komponen struktur lentur

Dalam perhitungan sengkang digunakan rumus menurut ketentuan SNI 2847:2019 pasal 22.5.5.1 :

$$V_c = 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{M_{pr}}{b \cdot d} \right) \cdot \dots \cdot \dots \quad (2.56)$$

$$\dots = \dots - \dots \quad (2.57)$$

Keterangan :

- $V_c$  = kekuatan geser nominal yang disediakan beton (kN)
- $V_s$  = kekuatan geser nominal yang disediakan tulangan geser (kN)
- $V_u$  = gaya geser terfaktor (kN)
- $\dots$  koefisien dimana diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal

Kekuatan geser nominal pada tumpuan dan nominal harus diperiksa kapasitasnya dan memiliki nilai seperti yang telah ditentukan. Batas nilai kuat geser nominal tulangan geser akan diperlihatkan pada persamaan berikut :

$$\dots < 0,66 \times \dots \times \dots \times \dots \quad (2.58)$$

$$\dots < 0,33 \times \dots \times \dots \times \dots \quad (2.59)$$

Setelah dinyatakan aman, maka jarak tulangan transversal atau tulangan geser dapat ditentukan melalui rumus berikut

$$\dots = \dots \quad (2.60)$$

Keterangan :

$F_{ys}$  = kekuatan leleh tulangan transversal (MPa)

$A_{st}$  = luas penampang tulangan

#### 2.5.4 Perencanaan Kolom

Kolom adalah elemen vertikal yang memikul sistem lantai struktural. Elemen ini merupakan elemen yang mengalami tekan dan pada umumnya disertai dengan momen lentur. Dalam merencanakan dimensi kolom dapat melalui dimensi balok yang telah direncanakan. Namun lebar dari kolom tersebut dapat disesuaikan, layaknya merencanakan dimensi balok. Batasan dimensi kolom juga ditinjau berdasarkan ketentuan dari pasal 18.7.2 SNI 2847:2019 tentang persyaratan dimensi kolom untuk SRPMK dengan dua ketentuan yaitu :

- a. Dimensi penampang terkecil kolom harus lebih besar dari 300 mm
- b. Rasio dimensi penampang kolom (b/h) harus lebih besar atau sama dengan 0,4.

Untuk rasio tulangan longitudinal pada kolom ditentukan berdasarkan pasal 10.6 dan 18.7.4 minimum pada kolom adalah sebesar 0,01 dan untuk maksimum adalah sebesar 0,08 untuk kolom nonprategang , sedangkan untuk kolom SRPMK adalah sebesar 0,06.(SNI 2847:2019). Kuat lentur dari suatu kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 :

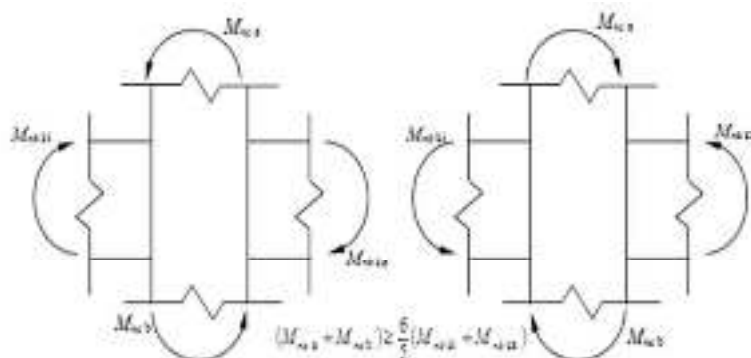
$$\sum \frac{M_{nc}}{A_{nc}} \geq \sum \frac{M_{nb}}{A_{nb}} \quad (2.61)$$

Keterangan:

$\Sigma M_{nc}$  = Jumlah kuat lentur nominal kolom yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom (HBK). Kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau yang menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil.

$\Sigma M_{nb}$  = Jumlah kuat lentur nominal balok yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom (HBK).





Gambar 2.6 Konsep Kolom Kuat-Balok Lemah (Strong Column-Weak Beam)

Untuk penulangan transversal atau sengkang pada kolom ditentukan dengan cara menghitung gaya geser terbesar yang terjadi pada kolom yang ditinjau yang akibat Mpr balok dan Mpr kolom serta gaya geser ultimate terfaktor pada kolom yang ditinjau, yang dibagi menjadi dua daerah pada kolom yaitu tumpuan dan lapangan. Ketetapan dalam perancangan tulangan transversal untuk struktur kolom SRPMK ditentukan dalam SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.5.

Dalam merencanakan kebutuhan tulangan trasversal yang disesuaikan dengan SNI 2847:2019

$$f_{wh} = \dots \quad (2.62)$$

$$f_{wp} = \dots \quad (2.63)$$

$$f_{wb} = \sum \dots \times \dots \quad (2.64)$$

Besarnya nilai  $M_{pr}$ , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{f_{wb}}{f_{wh}} = 1.25 \cdot \dots \cdot \dots \quad (2.65)$$

Keterangan

$V_c$  = kekuatan geser nominal beton (kN)

$V_{e1}$  = gaya geser akibat kolom

$V_{e2}$  = gaya geser akibat balok  
= kuat momen lentur di ujung balok yang ditentukan dengan

$M_{pr}$  mengandaifaktor tidak pada tulangan memanjang sebesar minimum

$l_n$  = panjang bentang bersih komponen struktur lentur

Dalam perhitungan tumpang digunakan rumus menurut ketentuan SNI 2847:2019 pasal 22.5.5.1 :

$$V_c = 0.17 \cdot \left( 1 + \frac{M_1}{M_2} \right) \cdot \dots \cdot b \cdot d \quad (2.66)$$

$$\dots = \frac{V_u}{\phi} \quad (2.67)$$

$$\dots = \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (2.68)$$

Keterangan

- $V_s$  = kekuatan geser nominal yang sediakan tulangan geser (kN)
- $V_u$  = gaya geser terfaktor (kN)
- $F_{ys}$  = kekuatan leleh tulangan transversal (MPa)
- $A_{st}$  = luas penampang tulangan dengan
- $S$  = Jarak tulangan geser
- $n$  = kebutuhan kaki tulangan geser

Untuk struktur kolom SRPMK spasi tulangan transversal ditentukan berdasarkan pasal 18.7.5.3, dengan ketentuan nilai spasi tidak melebihi nilai terkecil dari

- a.  $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil penampang kolom
- b. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- c. So yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dots = \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (2.69)$$

dengan  $h_x$  adalah spasi tulangan longitudinal yang terpasang pada kolom sesuai sumbu yang ditinjau dari penampang kolom.

### 2.5.5 Hubungan Balok-Kolom

Kekuatan geser pada daerah joint atau hubungan antar balok dengan kolom harus dilakukan pengecekan dengan aturan SNI 2847:2019. Berikut rumus yang digunakan dalam pengecekan daerah joint :

$$V_j = \frac{M_c}{l_c} + T \tag{2.70}$$

$$V_j = \frac{M_c}{l_c} + T \tag{2.71}$$

$$V_j = \dots \times \frac{M_c}{l_c} \times \tag{2.72}$$

$$V_j = \dots \times \frac{M_c}{l_c} \times \tag{2.73}$$

$$V_j = \dots \times \frac{M_c}{l_c} \times \tag{2.74}$$

$$V_j = \frac{M_c}{l_c} + T - \frac{M_c}{l_c} \tag{2.75}$$

$$\phi V_j > V_n \tag{2.76}$$

Keterangan

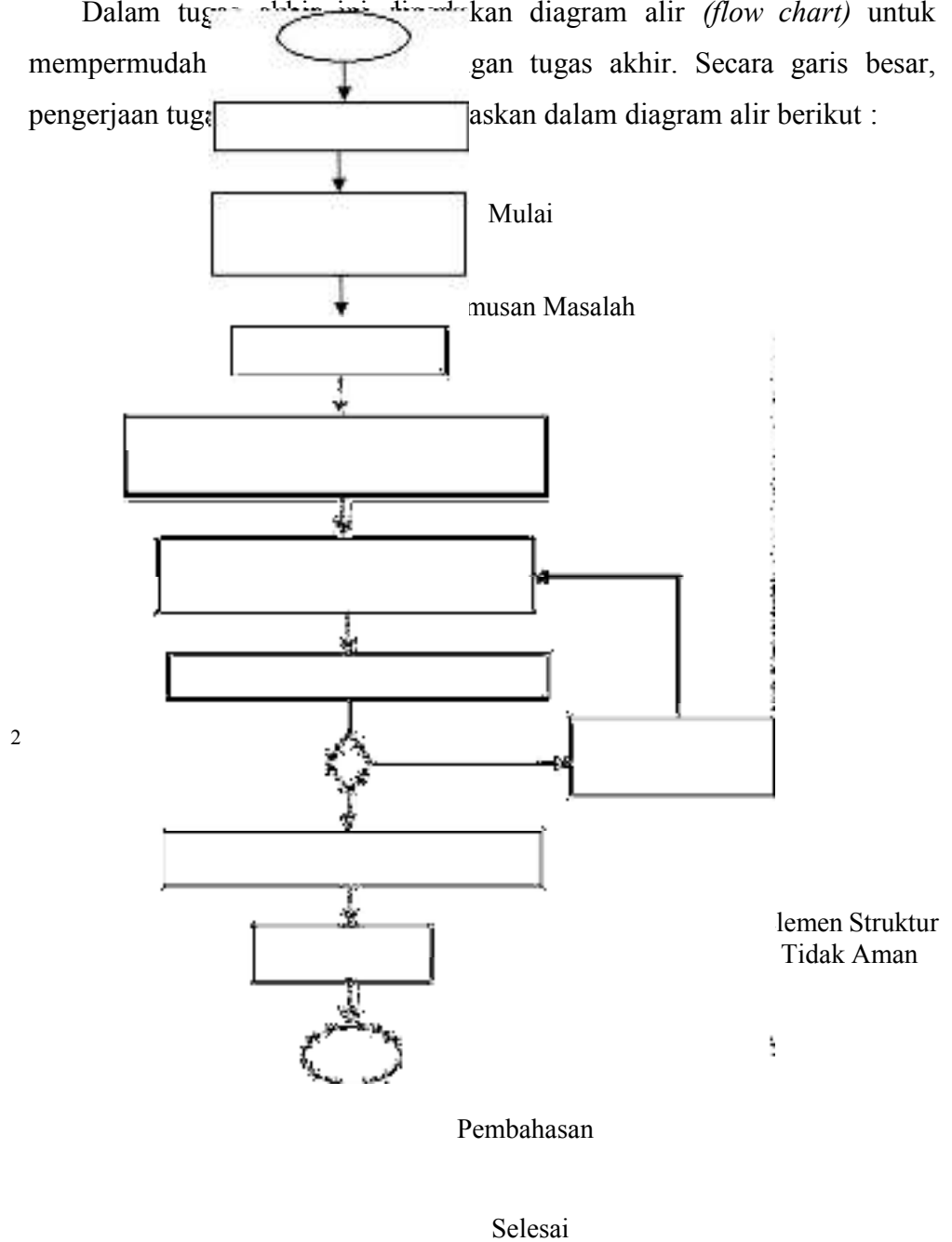
- Mc = momen maksimum yang terjadi pada kolom bagian atas dan bawah (kN.m)
- T = gaya yang bekerja pada tulangan atas (kN)
- C = gaya tekan yang bekerja pada beton (kN)
- V<sub>j</sub> = gaya geser pada joint (kN)
- V<sub>n</sub> = Kekuatan gaya geser HBK pada kondisi dikekang

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Dalam tugas akhir ini digunakan diagram alir (*flow chart*) untuk mempermudah pengerjaan tugas akhir. Secara garis besar, pengerjaan tugas akhir akan dalam diagram alir berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### **3.2 Pendahuluan**

Tugas akhir ini dibuat dengan tujuan merencanakan struktur gedung 2 lantai menggunakan struktur kombinasi kolom miring dan kolom tegak pada tepi kiri dan kanan bangunan. metode yang dipakai dalam perencanaan struktur ini yaitu dengan cara menghitung pembebanan manual dan di analisa dengan metode matriks kekakuan. Perhitungan dimensi struktur rangka digunakan peraturan yang berlaku yaitu SNI antara lain :

1. Peraturan untuk pembebanan bangunan gedung adalah SNI 1727 tahun 2020 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.
2. Persyaratan beton untuk bangunan gedung adalah SNI 2847 tahun 2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.
3. Persyaratan gempa untuk bangunan gedung adalah SNI 1726 tahun 2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

### **3.3 Pengumpulan Data**

Dimulai dengan proses pengumpulan informasi perancangan yang diperlukan meliputi :

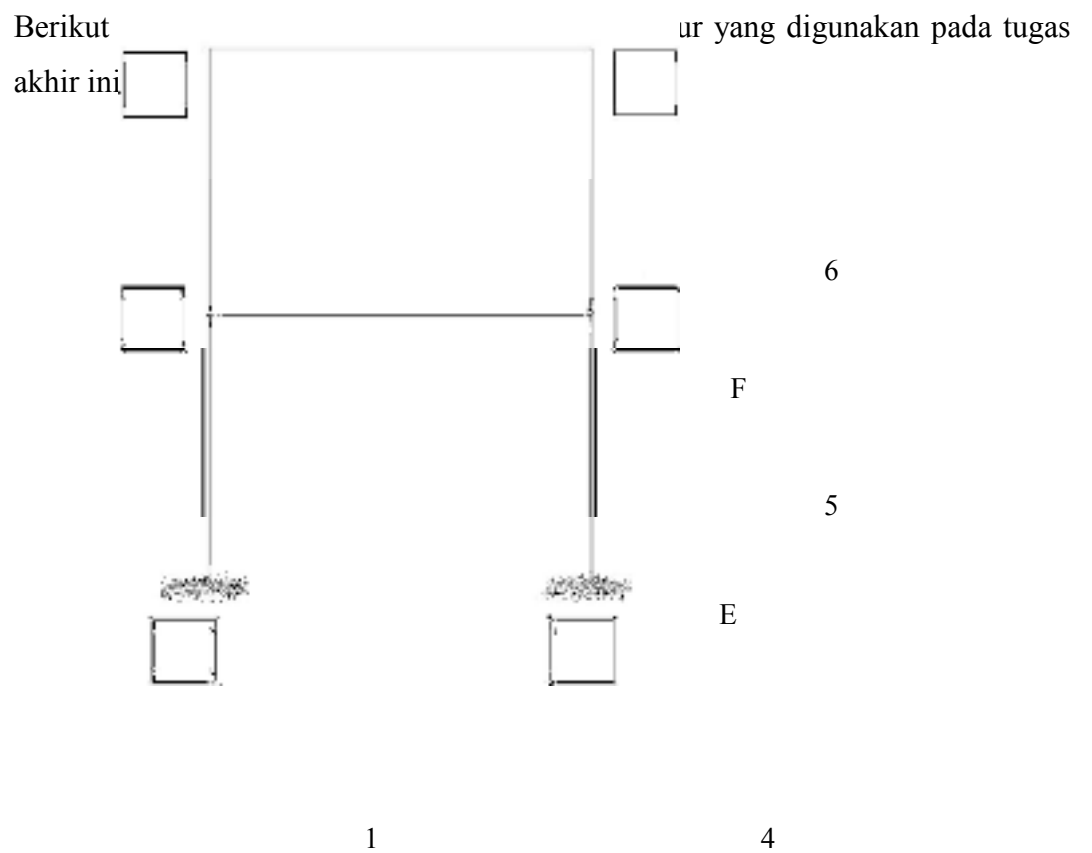
- a) Deskripsi umum bangunan
- b) Denah dan sistem struktur bangunan
- c) Wilayah gempa di mana bangunan berada
- d) Data pembebanan
- e) Mutu bahan yang digunakan
- f) Metode analisa dan desain struktur
- g) Standar dan referensi yang dipakai dalam perencanaan.

### 3.4 Prosedur Analisa Struktur.

Tahapan-tahapan perhitungan dalam analisis struktur dengan metode matriks kekakuan dapat diuraikan secara detail, sebagai berikut :

- (a). Tetapkan model dan tentukan arah tinjauan analisa struktur berdasarkan penomoran dari titik simpul dan elemen struktur pada model.
- (b). Bentuk dari matriks koordinat lokal sesuai dengan jumlah derajat kebebasan dari elemen batang.
- (c). Matriks transformasi dibentuk lalu ditranspose.
- (d). Matriks koordinat lokal dikali dengan matriks transformasi menghasilkan matriks kekakuan lokal
- (e). Matriks kekakuan lokal dikalikan dengan matriks transformasi yang telah di transpose terbentukla matriks koordinat global.
- (f). Matriks koordinat global pada tiap elemen dibagi 4 bagian untuk dimasukkan kedalam persamaan tiap joint.
- (g). Bentuk dari matriks kekakuan global sesuai dengan jumlah derajat kebebasan pada model struktur.
- (h). Persamaan tiap titik simpul dibentuk, lalu disusun kedalam tabel.
- (i). Tabel yang telah disusun dibentuk kedalam matriks sehingga menghasilkan matriks kekakuan global total.
- (j). Tentukan vektor gaya nodal berdasarkan beban dan gaya yang terjadi pada struktur.
- (k). Reduksi matriks kekakuan global total dimana bagian yang dihilangkan hanya pada tumpuan. Karena pada tumpuan tidak terjadi deformasi.
- (l). Matriks deformasi didapat dari invers reduksi matriks kekakuan global total dikalikan dengan gaya.
- (m). Nilai gaya pada tiap batang ditentukan dari matriks kekakuan global total dikalikan dengan deformasi yang terjadi pada struktur.
- (n). Kontrol keseimbangan dimana jumlah dari seluruh nilai baik itu vertikal
- (o). Tentukan matriks deformasi lokal dengan mengalikan matriks deformasi maupun horizontal harus sama dengan nol. dan matriks transformasi pada masing-masing elemen.

(p). Nilai momen, gaya lintang dan gaya normal didapat dengan mengalikan matriks deformasi lokal dan matriks kekakuan lokal pada masing-masing elemen.

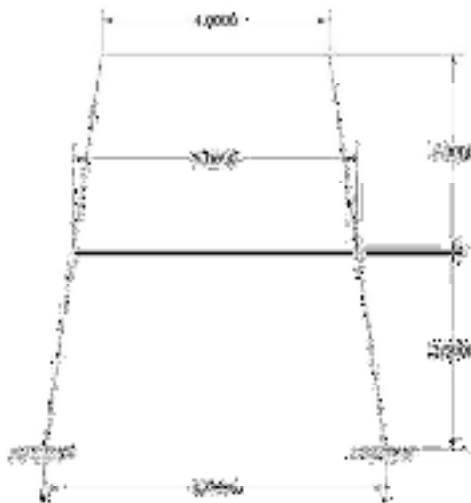
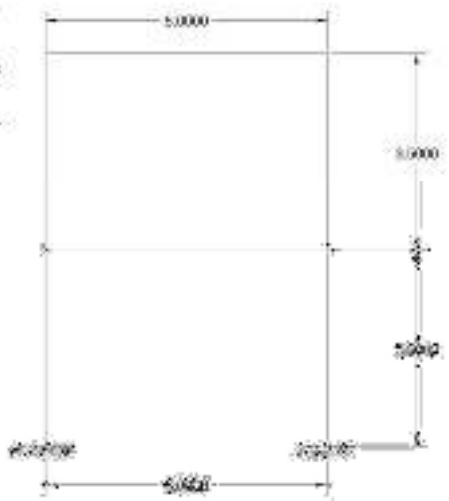


Gambar 3.2 Arah tinjauan analisa struktur berdasarkan penomoran pada join

### 3.5 Gambar Model Struktur

Pada tugas akhir ini ada 7 bangunan yang akan dianalisa struktur. Namun yang akan direncanakan tulangan hanyalah 3 model dari 7 model bangunan, yaitu model bangunan portal kolom miring dan portal kolom kombinasi 2 lantai y

berikut adalah 7 model struktur gedung ini, yaitu :



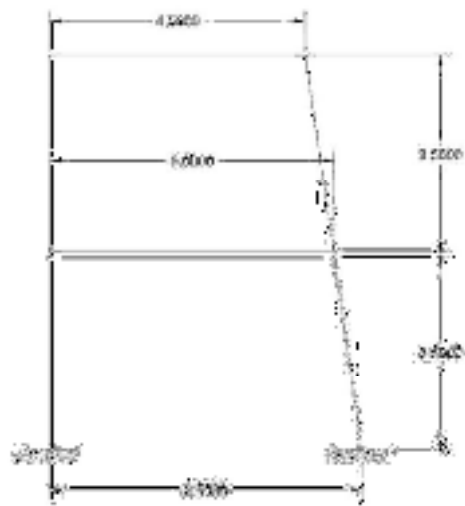
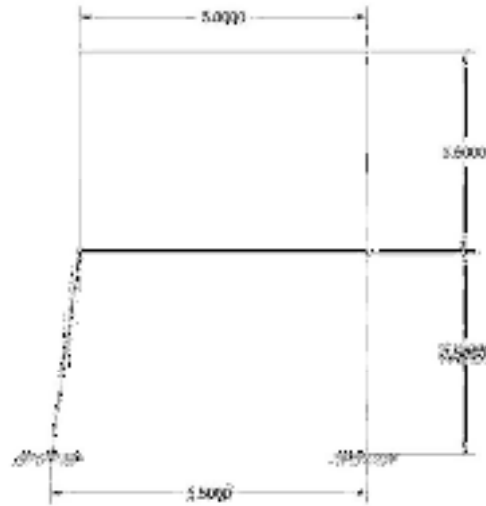
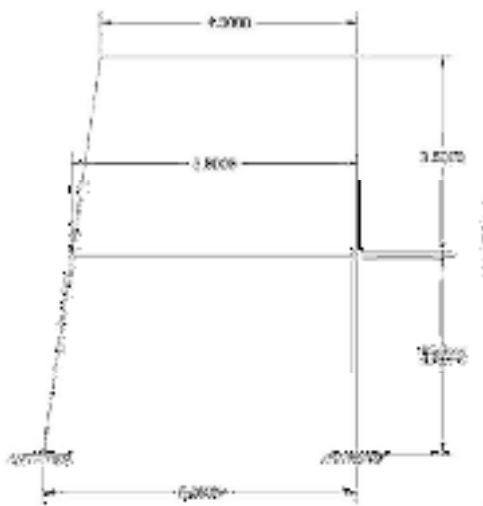
(2) PKM2S



(3) PKK2S

Gambar 3.3 Model struktur utama





(6) PKM1S-Ka

(7) PKK1S-Ka

Gambar 3.4 Model struktur dimana kolom miring di satu sisi

Keterangan

PKT : Portal Kolom Tegak

PKM2S : Portal Kolom Miring di Kedua Sisi

PKK2S : Portal Kolom Kombinasi di Kedua Sisi

PKM1S-Ki : Portal Kolom Miring di Satu Sisi Bagian Kiri

PKM1S-Ka : Portal Kolom Miring di Satu Sisi Bagian Kanan

PKK1S-Ki : Portal Kolom Kombinasi di Satu Sisi Bagian Kiri

PKK1S-Ka : Portal Kolom Kombinasi di Satu Sisi Bagian Kanan

