

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Konstruksi struktur bangunan terdiri dari 2 komponen utama yaitu bangunan atas (*upper structure*) dan bangunan bawah (*sub structure*). Bangunan atas terdiri dari *Balok, Kolom, Plat Lantai* dan *Atap*. Sedangkan bangunan bawah berupa *Pilecap*, dan Pondasi.

Pada bab ini menjelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari perhitungan pembebanan, perhitungan struktur atas yang meliputi pelat, balok, kolom dan tangga sampai dengan perhitungan struktur bawah pondasi tiang pancang.

Studi pustaka dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang optimal dan akurat dan diharapkan mampu menghasilkan suatu tahap pengerjaan struktur yang efektif dan efisien. Dalam bab ini akan dibahas mengenai konsep pemilihan sistem struktur dan konsep perencanaan/ desain struktur bangunannya, seperti konfigurasi denah dan pembebanan yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan suatu gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia sehingga diharapkan hasil yang akan diperoleh nantinya tidak akan menimbulkan kegagalan struktur.

2.2 ASPEK BEBAN

Aspek Beban berupa perhitungan pembebanan yang terjadi pada struktur Bangunan dan terdiri dari :

1) Beban Statis

Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 adalah sebagai berikut:

a. Beban Mati (*Dead Load/DL*)

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan.

Tabel 2.1 Beban Mati Pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg / m ²
Beton Bertulang	2400 kg / m ²
Dinding pasangan 1/2 Bata	250 kg / m ²
Kaca setebal 12 mm	30 kg / m ²
Langit-langit + penggantung	18 kg / m ²
Lantai ubin semen portland	24 kg / m ²
Spesi per cm tebal	21 kg / m ²
Pertisi	130 kg / m ²

b. Beban hidup (*Life Load/LL*)

Beban hidup adalah beban - beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia.

Tabel 2.2 Beban Hidup Pada Lantai Bangunan

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai Mall	250 kg / m ²
Tangga dan Bordes	300 kg / m ²
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg / m ²
Beban Pekerja	100 kg / m ²

2) **Beban Gempa (*Earthquake Load/EL*)**

Berdasarkan SKSNI 03-1726-2002, perencanaan struktur di daerah gempa menggunakan konsep desain kapasitas yang berarti bahwa ragam keruntuhan struktur akibat beban gempa yang besar ditentukan lebih dahulu dengan elemen-elemen kritisnya dipilih sedemikian rupa agar mekanisme keruntuhan struktur dapat memancarkan energi yang sebesar-besarnya.

Konsep desain kapasitas dipakai untuk merencanakan kolom-kolom pada struktur agar lebih kuat dibanding dengan elemen-elemen balok (*Strong Column Weak Beam*). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- a. Pada mekanisme sendi plastis pada balok pemencaran energi gempa terjadi di dalam banyak unsur, sedang pada mekanisme sendi plastis kolom pemencaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
- b. Pada mekanisme sendi plastis pada balok, bahaya ketidakstabilan akibat efek perpindahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan mekanisme sendi plastis pada kolom.
- c. Keruntuhan kolom dapat menyebabkan keruntuhan total dari keseluruhan bangunan.

3) **Beban Angin(*Wind Load/WL*)**

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 :

- Untuk struktur rangka ruang dengan penampang melintang berbentuk bujursangkar dengan arah angin 45° terhadap bidang-bidang rangka, koefisien angin untuk kedua bidang rangka di pihak angin masing-masing 0,65 (tekan) dan untuk kedua rangka di belakang angin masing-masing 0,5 (isap)
- Kecuali itu, masing-masing rangka harus diperhitungkan terhadap beban angin yang bekerja dengan arah tegak lurus pada salah satu bidang rangka, koefisien angin untuk rangka pertama di pihak angin

adalah 1,6 (tekan) dan untuk rangka kedua di belakang angin adalah 1,2 (isap)

- Untuk atap segitiga majemuk, untuk bidang-bidang atap di pihak angin dengan $\alpha < 65^\circ$ koefisien $(0,2\alpha - 0,4)$ (tekan), dan untuk semua bidang atap di belakang angin untuk semua α adalah 0,4 (isap)
- Tekanan tiup (beban angin) di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2

2.2.1. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur ada 2 (dua) yaitu Kombinasi Pembebanan Tetap dan Kombinasi Pembebanan Sementara. Disebut pembebanan tetap karena beban dianggap dapat bekerja terus menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*).

Kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus menerus pada struktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup dan beban gempa. Nilai - nilai beban tersebut di atas dikalikan dengan suatu faktor magnifikasi yang disebut faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

Faktor beban memberikan nilai kuat perlu bagi perencanaan pembebanan pada struktur. RSNI 2002 menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

- Untuk beban mati / tetap : $Q = 1.2$
- Untuk beban hidup sementara : $Q = 1.6$

Namun pada beberapa kasus yang meninjau berbagai kombinasi beban, nilai kombinasi kuat perlu yang diberikan:

$$U = 1.2D + 1.6L$$

$$U = 1.2D + 0.5L \pm 1E$$

$$U = 1.2D + 0.5L \pm 1.6 W + 0.5 (A \text{ atau } R)$$

$$U = 0.9D \pm 1.6 W$$

Bila beban angin W belum direduksi oleh faktor arah maka

$$W = 1.3$$

dimana: D = Beban Mati
 L = Beban Hidup
 E = Beban Gempa
 A = Beban Atap
 R = Beban Hujan
 W = Beban Angin

2.2.2. Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya. Nilai faktor reduksi (ϕ) untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dari perhitungan struktur.

Tabel 2.3. Tabel Reduksi Kekuatan

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi
Beban lentur tanpa gaya aksial	0,80
Beban aksial dan beban aksial dengan lentur	
- Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur	0,80
- Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur	
- Dengan tulangan Spiral	0,70
- Dengan tulangan biasa	0,65
Lintang dan Torsi	0,75
- Pada komponen struktur penahan gempa kuat	0,55
- Pada kolom dan balok yang diberi tulangan diagonal	0,80

Tumpuan pada Beton	0,65
Daerah pengangkuran pasca tarik	0,85
Penampang lentur tanpa beban aksial pada komponen struktur pratarik dimana panjang penanaman <i>strand</i> - nya kurang dari panjang penyaluran yang ditetapkan	0,75
Beban lentur, tekan, geser dan tumpu pada beton polos structural	0,55

2.3. KONSEP DESAIN / PERENCANAAN STRUKTUR

Konsep desain merupakan dasar teori perencanaan dan perhitungan struktur, yang meliputi desain terhadap beban lateral (gempa), denah dan konfigurasi bangunan, pemilihan material, konsep pembebanan, faktor reduksi terhadap kekuatan bahan, konsep perencanaan struktur atas dan struktur bawah, serta sistem pelaksanaan.

2.3.1. Desain Terhadap Beban Lateral (Gempa)

Dalam mendesain struktur, kestabilan lateral adalah hal terpenting karena gaya lateral mempengaruhi desain elemen - elemen vertikal dan horisontal struktur. Mekanisme dasar untuk menjamin kestabilan lateral diperoleh dengan menggunakan hubungan kaku untuk memperoleh bidang geser kaku yang dapat memikul beban lateral.

Beban lateral yang paling berpengaruh terhadap struktur adalah beban gempa dimana efek dinamisnya menjadikan analisisnya lebih kompleks. Tinjauan ini dilakukan untuk mengetahui metode analisis, pemilihan metode dan kriteria dasar perancangannya.

2.3.1.1. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut:

1. Metode Analisis Statis

Merupakan analisis sederhana untuk menentukan pengaruh gempa tetapi hanya digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, penyebaran kekakuan massa menerus, dan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter.

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya - gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasar hasil perkalian suatu konstanta / massa dan elemen struktur tersebut.

Besarnya beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar menurut *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002 pasal 6.1.2)* dapat dihitung menurut persamaan:

$$V = \frac{C.I.W_t}{R} \quad (2.1)$$

Dimana :

V = Beban gempa dasar nominal

W_t = Berat total struktur sebagai jumlah dari beban-beban berikut ini:

- a. Beban mati total dari struktur bangunan gedung;
- b. Bila digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0.5 kPa;
- c. Pada gudang-gudang dan tempat-tempat penyimpanan barang maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan;

d. Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan..

C = Faktor spektrum respon gempa yang didapat dari spektrum respon gempa rencana menurut grafik C-T (Gambar 2.1)

I = Faktor keutamaan struktur (Tabel 2.4)

R = Faktor reduksi gempa (Tabel 2.3)

Tabel 2.4. Faktor keutamaan struktur (I)

Jenis Struktur bangunan gedung	I
Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran	1
Monumen dan bangunan monumental	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5

Tabel 2.5. faktor daktilitas (μ) dan faktor reduksi (R)

Sistem dan subsistem struktur bangunan gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau system bresing memikul hampir semua beban	1. Dinding geser beton bertulang	2.7	4.5	2.8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1.8	2.8	2.2
	3. Rangka bresing dimana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2.8	4.4	2.2

gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	b. Beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	1.8	2.8	2.2
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Rangka bresding eksentrisitas baja (RBE)	4.3	7.0	2.8
	2. Dinding geser beton bertulang	3.3	5.5	2.8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3.6	5.6	2.2
	b. Beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	3.6	5.6	2.2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
a. Baja	4.1	6.4	2.2	
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4.0	6.5	2.8
	6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh	3.6	6.0	2.8
	7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3.3	5.5	2.8
3. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5.2	8.5	2.8
	b. Beton bertulang	5.2	8.5	2.8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM) (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	3.3	5.5	2.8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
a. Baja	2.7	4.5	2.8	
b. Beton bertulang	2.1	3.5	2.8	
	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4.0	6.5	2.8
4. Sistem ganda terdiri dari : 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi: 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRBPMK beton bertulang	5.2	8.5	2.8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB baja	2.6	4.2	2.8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4.0	6.5	2.8
	2. RBE baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5.2	8.5	2.8
b. Dengan SRPMB baja	2.6	4.2	2.8	

direnakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25 % dari seluruh beban lateral: 3)kedua system harus direnakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/system ganda)	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4.0	6.5	2.8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2.6	4.2	2.8
	c. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	4.0	6.5	2.8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	2.6	4.2	2.8
5. Sistem struktur bangunan gedung kolom kantilever: (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	Sistem struktur kolom kantilever	1.4	2.2	2
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang menengah (tidak untuk wilayah 3,4,5,dan 6)	3.4	5.5	2.8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk bangunan gedung secara keseluruhan)	1. Rangka terbuka baja	5.2	8.5	2.8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5.2	8.5	2.8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3.3	5.5	2.8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh	4.0	6.5	2.8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3.3	5.5	2.8

Untuk menentukan harga c harus diketahui terlebih dahulu jenis tanah tempat struktur tersebut berdiri. SNI 03-1726-2002 membagi jenis tanah ke dalam empat jenis tanah yaitu tanah keras, tanah sedang, tanah lunak,dan tanah khusus. Dalam tabel 2.6 jenis tanah ditentukan berdasarkan kecepatan rambat gelombang geser (v_s), nilai hasil tes penetrasi standar (N), dan kuat geser niralir (S_n). Untuk menentukan kuat geser niralir dapat digunakan rumus tegangan dasar tanah sebagai berikut :

$$S_i = c + \sum \sigma_i \cdot \tan \emptyset \quad (2.2)$$

$$\sigma_i = \gamma_i \cdot t_i$$

Dimana :

S_i = Tegangan geser tanah

c = Nilai kohesi tanah pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

σ_i = Tegangan normal masing-masing lapisan tanah

γ_i = Berat jenis masing-masing lapisan tanah

t_i = Tebal masing-masing lapisan tanah

\emptyset = Sudut geser pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

Dari persamaan diatas, untuk nilai γ , h , c yang berbeda (tergantung dari kedalaman tanah yang ditinjau) akan didapatkan kekuatan geser rerata (\bar{S}_n) dengan persamaan berikut:

$$\bar{S}_n = \frac{\sum_i^m t_i}{\sum_i^m (t_i / S_i)} \quad (2.3)$$

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_i^m t_i}{\sum_i^m (t_i / v_i)} \quad (2.4)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_i^m t_i}{\sum_i^m (t_i / N_i)} \quad (2.5)$$

dimana:

t_i = tebal lapisan tanah ke-i

v_{si} = kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i

N_i = nilai hasil tes penetrasi standar lapisan tanah ke-i

S_{ni} = kuat geser niralir lapisan tanah ke-I yang harus memenuhi ketentuan bahwa $S_{ni} \leq 250$ kPa

m = jumlah lapisan tanah yang ada di atas tanah dasar.

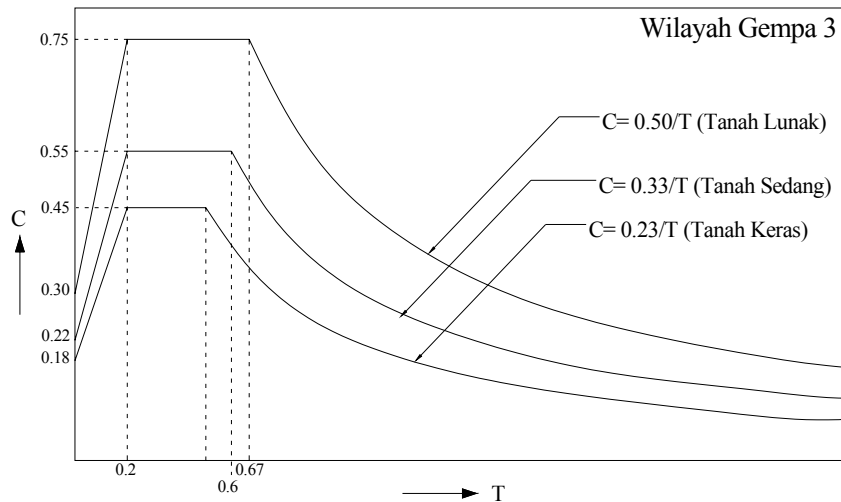
Tabel 2.6. Definisi jenis tanah

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rerata, v_s (m/det)	Nilai hasil test penetrasi standar rerata N	Kuat geser niralir rerata S_n (kPa)
Tanah Keras	$v_s \geq 350$	$N \geq 50$	$S_n \geq 100$
Tanah sedang	$175 \leq v_s < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq S_n < 100$
Tanah Lunak	$v_s < 175$	$N < 15$	$S_n < 50$
	Atau semua jenis tanah lempung lunak dengan tebal total lebih dari 3 meter dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

Tabel 2.7. Rata-rata kuat geser tanah

Jenis Tanah	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
Kedalaman Lap. Keras (Meter)	Nilai Rata-rata Kekuatan Geser Tanah		
5	$S > 55$	$45 \leq S \leq 55$	$S < 45$
10	$S > 110$	$90 \leq S \leq 110$	$S < 90$
15	$S > 220$	$180 \leq S \leq 220$	$S < 180$
≥ 20	$S > 330$	$270 \leq S \leq 330$	$S < 270$

Besarnya faktor respon gempa didapat dari diagram spektrum respon gempa diperlihatkan pada gambar dibawah ini:



Perencanaan struktur di daerah gempa menggunakan konsep desain kapasitas yang berarti bahwa ragam keruntuhan struktur akibat beban gempa yang besar ditentukan lebih dahulu dengan elemen-elemen kritisnya dipilih sedemikian rupa agar mekanisme keruntuhan struktur dapat memancarkan energi yang sebesar-besarnya.

Konsep desain kapasitas dipakai untuk merencanakan kolom-kolom pada struktur agar lebih kuat dibanding dengan elemen-elemen balok (*Strong Coloumn Weak Beam*). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- Pada mekanisme sendi plastis pada balok pemencaran energi gempa terjadi di dalam banyak unsur, sedang pada mekanisme sendi plastis kolom pemencaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
- Pada mekanisme sendi plastis pada balok, bahaya ketidakstabilan akibat efek perpindahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan mekanisme sendi plastis pada kolom. Keruntuhan kolom dapat menyebabkan keruntuhan total dari keseluruhan bangunan.

Beban geser dasar nominal V menurut persamaan 2.1 harus dibagikan sepanjang tinggi struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal

statik ekivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot z_i)} V \quad (2.6)$$

dimana:

W_i = berat lantai tingkat ke- i

z_i = ketinggian lantai tingkat ke- i

n = nomor lantai tingkat paling atas

Apabila rasio antara tinggi struktur bangunan gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka $0.1V$ harus dianggap beban horizontal terpusat yang bekerja pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan $0.9V$ sisanya harus dibagikan sepanjang tingkat struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekivalen menurut persamaan 2.6.

Waktu getar alami fundamental struktur bangunan gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut:

$$T_1 = 6.3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} \quad (2.7)$$

dimana:

d_i = simpangan horizontal lantai tingkat ke- i akibat beban F_i (mm)

g = percepatan gravitasi sebesar 9.81 mm/detik^2

Apabila waktu getar alami fundamental T_1 struktur bangunan gedung untuk penentuan faktor Respon Gempa C_1 ditentukan dengan rumus-rumus empiris atau

didapat dari analisis vibrasi bebas tiga dimensi, nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai yang dihitung menurut persamaan 2.7.

2. Metode Analisis Dinamis

Analisis Dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur bangunan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Gedung - gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan
- Gedung - gedung dengan loncatan - loncatan bidang muka yang besar
- Gedung - gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- Gedung - gedung dengan yang tingginya lebih dan 40 meter

Metode ini ada dua jenis yaitu Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectrum Modal Analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*).

Daktilitas struktur bangunan gedung tidak beraturan harus ditentukan yang representative mewakili daktilitas struktur 3D. Tingkat daktilitas tersebut dapat dinyatakan dalam faktor reduksi gempa R representative, yang nilainya dapat dihitung sebagai nilai rerata berbobot dari faktor reduksi gempa untuk 2 arah sumbu koordinat ortogonal dengan gaya geser dasar yang dipikul oleh struktur bangunan gedung dalam masing-masing arah tersebut sebagai besaran pembobotnya menurut persamaan:

$$R = \frac{V_x + V_y}{V_x / R_x + V_y / R_y} \quad (2.8)$$

dimana R_x dan V_x adalah faktor reduksi gempa dan gaya geser dasar untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-x, sedangkan R_y dan V_y faktor reduksi gempa dan gaya geser dasar untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-y. Metoda ini hanya dipakai apabila rasio antara nilai-nilai faktor reduksi gempa untuk reduksi dua arah pembebanan gempa tersebut tidak lebih dari 1,5.

Nilai akhir respon dinamik struktur bangunan gedung terhadap pembebanan gempa nominal dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon gempa yang pertama. Bila respon dinamik struktur bangunan gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V_l maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan:

$$V_l \geq 0.8V_l \quad (2.9)$$

dimana V_l adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama terhadap pengaruh Gempa Rencana menurut persamaan:

$$V_l = \frac{C_1 \cdot I \cdot W_l}{R} \quad (2.10)$$

dengan C_1 adalah nilai Faktor Respon Gempa yang di dapat dari spektrum Respons Gempa Rencana untuk waktu getar alami pertama T_l .

Perhitungan respon dinamik struktur bangunan gedung tidak beraturan terhadap pembebanan Gempa Nominal, dapat dilakukan dengan metoda analisis ragam spektrum respon dengan memakai diagram spektrum respon gempa rencana berdasar wilayah gempa dengan periode ulang 500 tahun. Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa ragam efektif dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

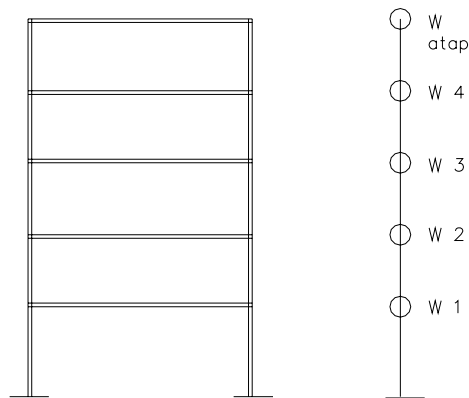
2.3.1.2 Pemilihan Cara Analisis

Pemilihan metode analisis dalam perencanaan struktur ditentukan berdasarkan konfigurasi struktur dan fungsi bangunan berkaitan dengan tanah dasar dan wilayah kegempaan. Untuk struktur bangunan kecil dan tidak bertingkat, elemen struktural dan non struktural tidak perlu didesain khusus terhadap gempa, tetapi diperlukan detail struktural yang baik. Sedangkan pada struktur bangunan sedang digunakan metode Analisis Beban Statik Ekuivalen, sebaiknya memeriksa gaya gempa yang bekerja dengan menggunakan Spektrum Respon Gempa Rencana sesuai kondisi struktur. Pada struktur bangunan yang cukup besar menggunakan analisis dinamik,

metode Analisis Ragam Spektrum Respon. Sedang untuk struktur bangunan tidak merata ke arah vertikal dengan menggunakan Analisis Modal.

Analisis dinamis biasanya struktur dimodelkan sebagai suatu sistem dengan massa - massa terpusat (*Lumped Mass Model*) untuk mengurangi jumlah derajat kebebasan pada struktur.

Semua analisis tersebut pada dasarnya untuk memperoleh respon maksimum yang terjadi akibat pengaruh percepatan gempa yang dinyatakan dengan besaran perpindahan (*Displacement*) sehingga besarnya gaya - gaya dalam yang terjadi pada struktur dapat ditentukan lebih lanjut untuk keperluan perencanaan.



Gambar 2.1 Pemodelan Struktur dan Model Lump Massa

2.4 PERENCANAAN STRUKTUR ATAS (*Upper Structure*)

2.4.1 Material Struktur

Penggunaan bahan – bahan secara tepat dan efisien membutuhkan pengetahuan yang luas akan sifat – sifat mekanisnya. Diantara sifat – sifat ini yang paling penting adalah kekuatan, kekakuan dan elastisitas. Secara umum ada 4 bahan struktur utama, yaitu : pasangan bata, kayu, baja, dan beton bertulang. Berikut ini akan dijelaskan kelebihan dan kekurangan masing – masing material struktur :

- Bata

Kelebihan :

1. Memiliki kekuatan tekan yang cukup
2. Dapat digunakan pada bangunan dalam dan luar bangunan
3. Mudah didapat dan harganya relatif murah

Kekurangan :

1. Biasanya sangat rapuh atau getas, berat dan tidak punya daktilitas.
2. Kekuatan tarik dan geser relatif rendah
3. Ketika momen lentur yang besar terjadi akibat tekanan angin pada dinding luar, maka tingkat tegangan lentur tarik harus dipertahankan supaya tetap rendah sehingga dibutuhkan ketebalan dinding yang besar.

- Kayu

Kelebihan :

1. Kemuluran terjadi sedikit pada suhu kamar
2. Bisa digunakan dalam bentuk alamiahnya, hanya perlu diolah menjadi bentuk yang sesuai untuk penggunaan praktis

Kekurangan :

1. Mudah rusak karena pembusukan, pengrusakan akibat jamur dan serangga
2. Mudah terbakar
3. Mengalami kembang susut akibat kelembaban relatif lingkungan yang berubah terus – menerus sehingga kadar kelembaban dan ukuran kayu juga berubah terus – menerus
4. Kekuatan kayu dipengaruhi oleh arah serat kayu dan arah beban yang bekerja. Kekuatan kayu dalam tarik dan tekan relatif sama jika beban bekerja sejajar serat kayu, tetapi jika beban tegak lurus terhadap serat kayu, mengakibatkan kekuatannya kecil karena serat dengan mudah dapat dihancurkan
5. Tidak cocok untuk struktur dengan bentang yang sangat panjang dan struktur yang sangat tinggi.

- Baja

Kelebihan :

1. Mempunyai kekuatan tarik dan tekan yang tinggi dan sangat kuat
2. Ulet, daktil dan elastik
3. Effisiensi struktur tinggi, yaitu perbandingan antara kekuatan terhadap beratnya
4. Memungkinkan diperolehnya hasil struktur yang ringan, ramping, rapi dan presisi yang tinggi
5. Cocok untuk struktur dengan bentang yang sangat panjang dan struktur yang sangat tinggi
6. Cocok untuk struktur yang bersifat statis tentu

Kekurangan :

1. Mahal
2. Perilaku yang buruk terhadap pembakaran
3. Mudah terkena korosi akibat ketidakstabilan kimianya yang tinggi
4. Bila digunakan untuk kerangka bangunan yang sifatnya kaku atau frame, potongan – potongan baja yang terpisah harus disambung secara efektif dan tidak mudah untuk mendapatkan hasil sambungan kaku yang benar – benar bagus
5. Sambungan baut kurang efektif untuk penyebaran beban karena lubang baut mengurangi ukuran efektif penampang elemen (perlemahan) dan mengakibatkan konsentrasi tegangan
6. Sambungan keling dapat rusak bila mengalami beban diluar kemampuan ketahanannya, baik kerusakan dalam arah geser, dukung (tekan) maupun tarik
7. Sambungan las lebih rapi dan menyebarkan tegangan lebih efektif tapi berbahaya jika dikerjakan secara tidak sempurna. Proses pengelasan menuntut ketrampilan dan keahlian yang tinggi. Untuk alasan – alasan tersebut pengelasan di tempat bangunan biasanya dihindari dan dilakukan di

pabrik tapi konsekuensinya kebutuhan pengangkutan elemen ke lokasi membatasi ukuran dan bentuk dari komponen itu sendiri.

- Beton

Kelebihan :

1. Murah
2. Kuat terhadap tekan
3. Tahan api
4. Mudah dicetak kedalam variasi bentuk yang luas sesuai yang diinginkan
5. Bahan – bahan lain dapat ditambahkan atau digabungkan kedalamnya dengan mudah untuk menambahkan sifat yang dimilikinya
6. Proses pencetakan memberikan sambungan antar elemen yang sangat efektif dan menghasilkan struktur yang menerus yang bisa menaikkan efisiensi struktur
7. Cocok untuk struktur dengan bentang yang sangat panjang dan sangat tinggi

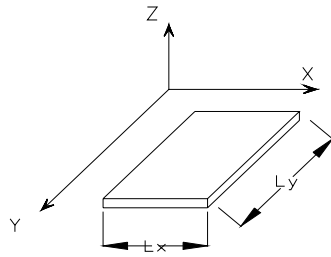
Kekurangan :

1. Kekuatan dalam arah tarik dan geser relatif rendah
2. Berat jenis tinggi

2.4.2 Perencanaan Pelat

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap lebar kurang dari 2, maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat akan melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya pula penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan bila panjang tidak sama dengan lebar, balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar dari balok yang pendek (penulangan satu arah).

Dimensi bidang pelat dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Dimensi bidang pelat

Langkah perencanaan penulangan pelat adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal pelat lantai (berdasarkan rumus SKSNI 03-xxxx-2002).
Memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada pelat lantai (q_u), yang terdiri dari beban mati (DL) dan beban hidup (LL).

$$h \geq \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad \text{dan tebal tidak boleh kurang dari 90 mm}$$

Dimana: $\beta = L_y / L_x$

L_n = panjang bersih plat

3. Mencari gaya-gaya dalam dengan Program SAP 2000.
4. Mencari tulangan pelat

Berdasarkan Buku CUR 1, langkah-langkah perhitungan tulangan pada pelat adalah sebagai berikut :

- a. Menetapkan tebal penutup beton menurut Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.
- b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
- c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.

- d. Membagi M_u dengan $b \times d^2 \left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right)$ (2.11)

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times fy \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{fy}{f'c} \right) \quad (2.12)$$

f. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} \quad (2.13)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + fy} \times \frac{0,85 \times f'c}{fy} \quad (2.14)$$

g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(As = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.15)$$

Dalam laporan ini perhitungan pelat menggunakan program *SAP 2000*, dengan memasukkan input beban mati dan hidup pada pelat maka akan didapatkan gaya-gaya dalam berupa momen ditumpuan dan dilapangan.

2.4.3. Perencanaan Struktur Portal Utama

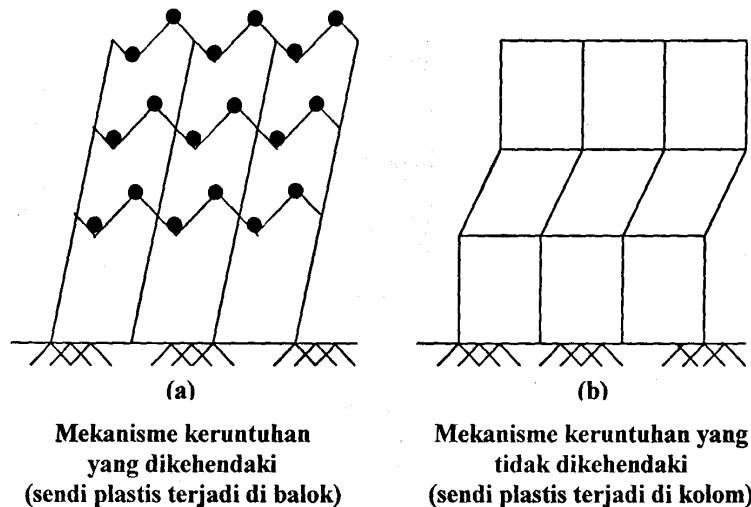
Perencanaan portal mengacu pada SKSNI 03-1726-2002 dimana struktur dirancang sebagai portal daktail penuh ($K = 1$) dimana penempatan sendi-sendi plastis pada balok (*strong column weak beam*). Pengendalian terbentuknya sendi-sendi plastis pada lokasi-lokasi yang telah ditentukan lebih dahulu dapat dilakukan secara pasti terlepas dan kekuatan dan karakteristik gempa. Filosofi perencanaan seperti itulah yang kita kenal sebagai *Konsep Desain Kapasitas*.

2.4.3.1 Prinsip Dasar Desain Kapasitas

Dalam Konsep Desain Kapasitas, untuk menghadapi gempa kuat yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu, maka mekanisme keruntuhan suatu portal dipilih sedemikian rupa, sehingga pemencaran energi gempa terjadi secara memuaskan dan keruntuhan yang terjadi secara katastropik dapat dihindarkan. Gambar 2.3. memperlihatkan dua mekanisme khas yang dapat terjadi pada portal-

portal rangka. Mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok-balok lebih dikehendaki daripada mekanisme dengan pembentukan sendi plastis yang terpusat hanya pada ujung-ujung kolom suatu lantai, karena:

1. Pada mekanisme pertama (Gambar 2.3 a) penyebaran energi gempa terjadi dalam banyak unsur, sedangkan pada mekanisme kedua (Gambar 2.3 b) penyebaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
2. Daktilitas kurvatur yang dituntut dari balok untuk menghasilkan daktilitas struktur tertentu, pada umumnya jauh lebih mudah dipenuhi daripada kolom yang seringkali tidak memiliki cukup daktilitas akibat gaya aksial tekan yang bekerja.



Gambar 2.3 Mekanisme Khas yang Dapat Terjadi pada Portal

Guna menjamin terjadinya mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok, *Konsep Desain Kapasitas* diterapkan untuk merencanakan agar kolom-kolom lebih kuat dari balok-balok portal (*Strong Column-Weak Beam*). Keruntuhan geser balok yang bersifat getas juga diusahakan agar tidak terjadi lebih dahulu dari kegagalan akibat beban lentur pada sendi-sendi plastis balok setelah mengalami rotasi-rotasi plastis yang cukup besar.

Pada prinsipnya, dengan *Konsep Desain Kapasitas* elemen-elemen utama penahan beban gempa dapat dipilih, direncanakan dan didetail sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan energi gempa dengan deformasi inelastisitas yang cukup besar tanpa runtuh, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup, sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

2.4.3.2 Perencanaan Struktur Balok

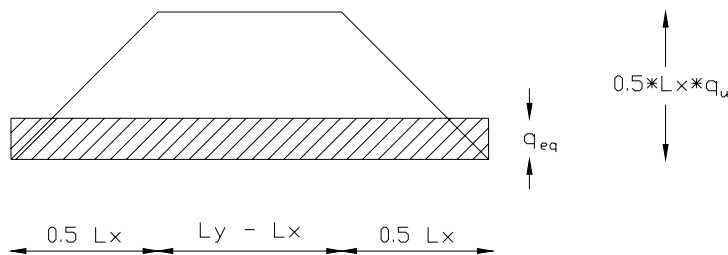
Dalam pradesain tinggi balok menurut RSNI 2002 merupakan fungsi dari bentang dan mutu baja yang digunakan. Secara umum pradesain tinggi balok direncanakan $L/10 - L/15$, dan lebar balok diambil $1/2H - 2/3H$ dimana H adalah tinggi balok.

Pada perencanaan balok maka pelat dihitung sebagai beban dimana pendistribusian gayanya menggunakan metode amplop. Dalam metode amplop terdapat 2 macam bentuk yaitu pelat sebagai beban segi tiga dan pelat sebagai beban trapesium.

Adapun persamaan bebannya adalah sebagai berikut:

Perataan beban pelat pada perhitungan balok

- Perataan Beban Trapesium



Gambar 2.4 Perataan Baban Trapesium

Momen Maximum beban trepesium berdasarkan grafik dan tabel penulangan beton bertulang adalah :

$$\begin{aligned}
M_{\max} &= \frac{w(3L^2 - 4a^2)}{24} \\
&= \frac{\frac{1}{2} * Lx * q_U \left\{ (3 * Ly^2) - \left(4 * \left(\frac{Lx}{2} \right)^2 \right) \right\}}{24} \\
&= \frac{\frac{1}{2} * Lx * q_U \left\{ (3 * Ly^2) - \left(4 * \frac{1}{4} * Lx^2 \right) \right\}}{24} \\
&= \frac{1}{48} * Lx * q_U * (3Ly^2 * Lx^2) \quad \dots\dots\dots(1)
\end{aligned}$$

Momen max beban segi empat berdasarkan grafik dan tabel penulangan beton bertulang adalah :

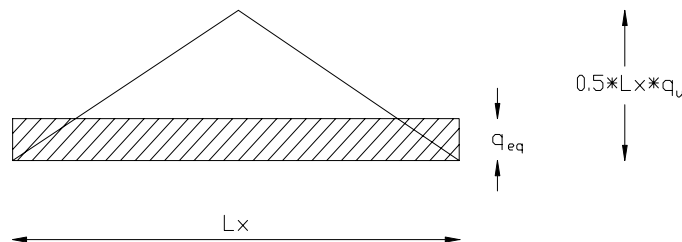
$$\begin{aligned}
M_{\max} &= \frac{1}{8} * w * L^2 \\
&= \frac{1}{8} * q_{ek} * Ly^2 \quad \dots\dots\dots (2)
\end{aligned}$$

Pers(1) = Pers(2)

$$\frac{1}{48} * Lx * q_U * (3Ly^2 * Lx^2) = \frac{1}{8} * q_{ek} * Ly^2$$

$$q_{ek} = \frac{Lx * q_U * (3Ly^2 - Lx^2)}{6Ly^2}$$

- Perataan beban segitiga



Gambar 2.5 Perataan Beban Segitiga

Momen Maximum beban trapesium berdasarkan grafik dan tabel penulangan beton bertulang adalah :

$$\begin{aligned}
 M_{Max} &= \frac{1}{12} * w * L^2 \\
 &= \frac{1}{12} * \frac{1}{2} * Lx * q_U * Lx^2 \\
 &= \frac{1}{24} * q_U * Lx^3 \quad \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

Momen Maximum beban trapesium berdasarkan grafik dan tabel penulangan beton bertulang adalah :

$$M_{Max} = \frac{1}{8} * q_{eq} * Lx^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Pers (1) = Pers (2)

$$\frac{1}{24} * q_U * Lx^3 = \frac{1}{8} * q_{eq} * Lx^2$$

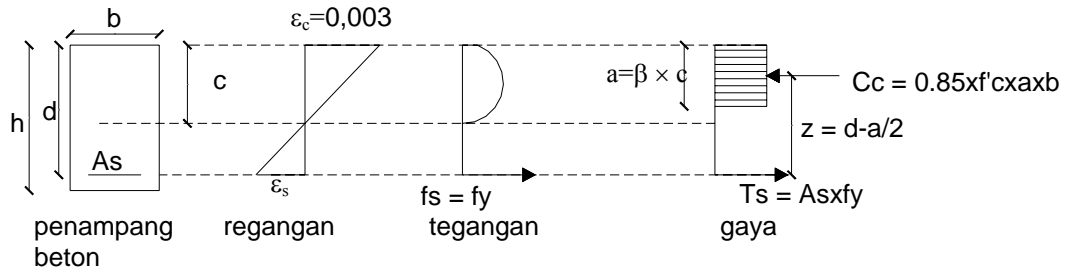
$ q_{eq} = \frac{1}{3} * q_U * Lx $

Perhitungan penulangan balok struktur beton menggunakan program *SAP* 2000. Prosedur desain elemen-elemen balok dari struktur dengan *SAP* 2000 terdiri tiga tahap sebagai berikut:

- Desain tulangan pokok untuk menahan momen lentur
- Desain tulangan geser (sengkang) untuk menahan gaya geser
- Desain tulangan untuk menahan torsi

Sedangkan perhitungan penulangan balok struktur beton bertulang secara manual adalah sebagai berikut :

Perencanaan Lentur Murni



Gambar 2.6 Tegangan, regangan dan gaya yang pada perencanaan lentur murni beton bertulang

Dari gambar didapat:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (2.16)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (2.17)$$

Sehingga:

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \quad (2.18)$$

dimana

$$a = \beta \cdot c \quad (2.19)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.20)$$

dan untuk:

$$f_c' \leq 30 \text{ Mpa}, \beta = 0,85$$

$$f_c' > 30 \text{ Mpa}, \beta = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \quad (2.21)$$

Pada Tugas Akhir ini digunakan $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, sehingga didapat:

$$0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot c \cdot b = A_s \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot 0,85c \cdot b = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

$$0,7225 \cdot b \cdot c \cdot f_c' = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

$$c = \frac{\rho \cdot b \cdot d \cdot f_y}{0,7225 \cdot b \cdot f_c'}$$

$$c = 1,384 \rho \cdot \frac{f_y}{f_c'} \cdot d \quad (2.22)$$

Besarnya momen yang mampu dipikul oleh penampang adalah:

$$M_u = C_c (d - 0,5a) \text{ atau } T_s (d - 0,5a)$$

$$= A_s \cdot f_y (d - 0,5 \cdot 0,85c)$$

$$= A_s \cdot f_y (d - 0.425c)$$

Berdasarkan Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI) Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung 2002 pasal 11.3, dalam suatu perencanaan diambil faktor reduksi kekuatan ϕ , dimana besarnya ϕ untuk lentur tanpa beban aksial adalah sebesar 0,8; sehingga didapat:

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \phi \cdot A_s \cdot f_y (d - 0.425c) \\ &= 0,8 \cdot \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y (d - 0.425c) \end{aligned} \quad (2.23)$$

Substitusi harga c,

$$\text{Mu} = 0,8 \cdot \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y \left(d - 0,425 \cdot 1,384 \rho \cdot \frac{f_y}{f_c'} \cdot d \right)$$

Bentuk di atas dapat pula dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Mu}}{b \cdot d^2} = 0,8 \cdot \rho \cdot f_y \left(1 - 0,588 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f_c'} \right) \quad (2.24)$$

dimana:

- Mu = momen yang dapat ditahan penampang (Nmm)
- b = lebar penampang beton (mm)
- d = tinggi efektif beton (mm)
- ρ = rasio luas tulangan terhadap luas efektif penampang beton
- f_y = mutu tulangan (Mpa)
- f_c' = mutu beton (Mpa)

Dari rumus di atas, apabila momen yang bekerja dan luas penampang beton telah diketahui, maka besarnya rasio tulangan ρ dapat diketahui untuk mencari besarnya kebutuhan luas tulangan.

Persentase Tulangan Minimum, Balance dan Maksimum

- a. Rasio tulangan minimum (ρ_{\min})

Rasio tulangan minimum ditetapkan sebesar $\frac{f_y}{1.4}$

- b. Rasio tulangan *balance* (ρ_b)

Dari gambar regangan penampang balok (Gambar 2.3) didapat:

$$\frac{c}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s} \quad (2.25)$$

Berdasarkan Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI) Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung 2002 pasal 10.5(2) ditetapkan E_s sebesar 2×10^5 Mpa, sehingga didapat

$$\frac{c}{d} = \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.26)$$

Keadaan *balance* :

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot c \cdot b = \rho_b \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot c \cdot b}{b \cdot d \cdot f_y}$$

$$\rho_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \quad (2.27)$$

Syarat memeriksa Kondisi penampang :

$$\rho < \rho_b = \text{Under Reinforced}$$

$$\rho = \rho_b = \text{Balanced}$$

$$\rho > \rho_b = \text{Over Reinforced}$$

- Kondisi *Under Reinforced* yaitu Kondisi tulangan tarik mencapai tegangan f_y lebih awal (penulangan cukup)
- Kondisi *Balanced* yaitu regangan batas beton $\varepsilon_c = 0,003$ tercapai bersamaan dengan tegangan batas tulangan $\varepsilon_s = \varepsilon_y = f_y/E_s$.
- Kondisi *Over Reinforced* yaitu Regangan beton sebesar $\varepsilon_c = 0,003$ tercapai lebih dahulu dari pada regangan tulangan yang masih sebesar $\varepsilon_s < \varepsilon_y$. (penulangan terlalu banyak).

c. Rasio tulangan minimum (ρ_{\max})

Berdasarkan SKSNI 03-XXXX-02 pasal 3.3.3-3 besarnya ρ_{\max} ditetapkan sebesar $0,75\rho_b$.

Perhitungan Tulangan Ganda

Apabila $\rho > \rho_{\max}$ maka terdapat dua alternatif:

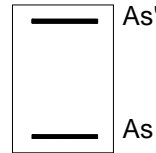
- Sesuaikanlah ukuran penampang balok
- Bila tidak memungkinkan, maka dipasang tulangan rangkap

Dalam menghitung tulangan rangkap, total momen lentur yang dilawan akan dipisahkan dalam dua bagian: $Mu_1 + Mu_2$

Dengan:

Mu_1 = momen lentur yang dapat dilawan oleh ρ_{\max} dan berkaitan dengan lengan momen dalam z . Jumlah tulangan tarik yang sesuai adalah $As_1 = \rho_{\max} \cdot b \cdot d$

Mu_2 = momen sisa yang pada dasarnya harus ditahan baik oleh tulangan tarik maupun tekan yang sama banyaknya. Lengan momen dalam yang berhubungan dengan ini sama dengan $(d - d')$.



Jumlah tulangan tarik tambahan As_2 sama dengan jumlah tulangan tekan As' , yaitu:

$$As_2 = As' = \frac{Mu - Mu_1}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d')} \quad (2.28)$$

Perhitungan Geser dan Torsi

Berdasarkan Rancangan Standar Nasional Indonesia Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung Tahun 2002 pasal 13.3 ditentukan besarnya kekuatan gaya nominal sumbu beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w \cdot d \quad (2.29)$$

atau besarnya tegangan yang dipikul beton adalah:

$$v_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \quad (2.30)$$

Untuk penampang yang menerima beban aksial, besarnya tegangan yang mampu dipikul beton dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \quad (2.31)$$

Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur :

$$V_c = \left(\sqrt{f'_c} + 120 \cdot \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w \cdot \frac{d}{7} \quad (2.32)$$

tetapi tidak boleh diambil lebih besar daripada $0,3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$

$\frac{V_u d}{M_u}$, tidak boleh diambil melebihi 1,0 dimana M_u adalah momen terfaktor

yang terjadi bersamaan dengan V_u pada penampang yang ditinjau.

Untuk komponen struktur yang dibebani gaya aksial tekan, maka pers. (2.32)

boleh digunakan untuk menghitung V_c dengan nilai M_m menggantikan nilai

M_u dan nilai $\frac{V_u d}{M_u}$ boleh diambil lebih besar daripada 0,1 dengan :

$$M_m = M_u - N_u \frac{(4h - d)}{8} \quad (2.33)$$

Tetapi dalam hal ini, V_c tidak boleh diambil lebih besar daripada :

$$V_c = 0,3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \sqrt{1 + \frac{0,3 N_u}{A_g}} \quad (2.34)$$

besaran N_u/A_g harus dalam Mpa. Bila M_m yang dihitung dengan pers.(2.33)

bernilai negatif, maka V_c harus dihitung dengan pers. (2.34).

Untuk komponen struktur yang mengalami gaya tarik aksial yang besar :

$$V_c = \left(1 + \frac{0,3 N_u}{A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w \cdot d \quad (2.35)$$

tetapi tidak kurang daripada nol, dengan N_u adalah negatif untuk tarik. Besaran N_u/A_g harus dinyatakan dalam Mpa.

Sedangkan besarnya tegangan geser yang harus dilawan sengkang adalah:

$$\phi v_s = v_u - \phi v_c \quad (2.36)$$

Besarnya tegangan geser yang harus dipikul sengkang dibatasi sebesar:

$$\phi v_s \max = \frac{2}{3} \sqrt{f'c} \quad (2.37)$$

Untuk besarnya gaya geser yang mampu dipikul oleh penampang ditentukan dengan syarat sebagai berikut:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.38)$$

dimana:

V_u = gaya lintang pada penampang yang ditinjau.

V_n = kekuatan geser nominal yang dihitung secara $V_n = V_c + V_s$

V_c = kekuatan geser nominal sumbangan beton

V_s = kekuatan geser nominal sumbangan tulangan geser

v_u = tegangan geser yang terjadi pada penampang

v_c = tegangan geser nominal sumbangan beton

v_s = tegangan geser nominal sumbangan tulangan geser

ϕ = faktor reduksi kekuatan = 0,75

b = lebar balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

$f'c$ = kuat mutu beton (Mpa)

Berdasarkan persamaan 2.32, tulangan geser dibutuhkan apabila $v_u > \phi v_c$.

Besarnya tulangan geser yang dibutuhkan ditentukan dengan rumus berikut:

$$A_v = \frac{(v_u - \phi v_c) b \cdot s}{\phi f_y} \quad (2.39)$$

dimana:

A_v = luas tulangan geser yang berpenampang ganda dalam mm^2

s = jarak sengkang dalam mm

Rumus di atas juga dapat ditulis sebagai berikut:

$$A_v = \frac{(v_u - \phi v_c) b \cdot 1000}{\phi f_y} \quad (2.40)$$

dimana A_v adalah luas tulangan geser yang berpenampang ganda untuk tiap meter panjang yang dinyatakan dalam mm^2 .

Namun apabila $v_u > \frac{1}{2} \phi v_c$ harus ditentukan besarnya tulangan geser minimum sebesar (RSNI Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung Tahun 2002):

$$A_v = \frac{b_w s}{3 f_y} \quad (2.41)$$

dimana:

A_v = luas tulangan geser yang berpenampang ganda dalam mm^2

s = jarak sengkang dalam mm

Rumus ini juga dapat ditulis sebagai berikut:

$$A_v = \frac{b_w 1000}{3 f_y} \quad (2.42)$$

dimana A_v adalah luas tulangan geser yang berpenampang ganda untuk tiap meter panjang yang dinyatakan dalam mm^2 .

Jarak sengkang dibatasi sebesar $d/2$, namun apabila $\phi v_s > \frac{1}{3} \sqrt{f_c'}$ jarak sengkang maksimum harus dikurangi setengahnya.

Perhitungan tulangan torsi dapat diabaikan apabila memenuhi syarat berikut:

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \quad (2.43)$$

Suatu penampang mampu menerima momen torsi apabila memenuhi syarat:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)} < \phi v_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \quad (2.44)$$

Besarnya tulangan sengkang untuk menahan puntir ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$A_t = \frac{T_n s}{2A_o f_{yv} \cot \theta} \quad (2.45)$$

dengan $T_n = \frac{T_u}{\phi}$.

Sedangkan besarnya tulangan longitudinal yang harus dipasang untuk menahan puntir dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot^2 \theta \quad (2.46)$$

dimana:

- A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm²
- A_o = luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm²
- A_{oh} = luas yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar, mm²
- A_t = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s, mm²
- A_l = luas tulangan longitudinal yang memikul puntir, mm²
- f_{yh} = kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan geser, MPa
- f_{yt} = kuat leleh tulangan torsi longitudinal, MPa
- f_{yv} = kuat leleh tulangan sengkang torsi, MPa
- p_{cp} = keliling luar penampang beton, mm
- p_h = keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar, mm
- s = spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm

2.4.3.3 Perencanaan Struktur Kolom

Kolom merupakan elemen tekan, karena disamping memikul gaya tekan juga memikul momen lentur dalam dua arah (*biaxial bending*). Dengan adanya gaya tekan ini maka timbul fenomena tekuk (*buckling*) yang harus ditinjau pada kolom, terutama terjadi pada kolom panjang. Apabila kolom tersebut telah menekuk maka kolom tersebut tidak mempunyai kemampuan lagi untuk menerima beban tambahan. Sedikit

saja penambahan beban akan terjadi keruntuhan. Dengan demikian kapasitas memikul beban untuk elemen kolom ini adalah besar beban yang menyebabkan elemen tersebut mengalami tekuk awal.

Elemen kolom menerima beban lentur dan beban aksial, menurut SKSNI 03-1726-2002 pasal 3.2.2 untuk perencanaan kolom yang menerima beban lentur dan beban aksial ditetapkan koefisien reduksi bahan 0,8 sedangkan pembagian tulangan pada kolom (berpenampang segi empat) dapat dilakukan dengan:

- Tulangan dipasang simetris pada dua sisi kolom (*two faces*)
- Tulangan dipasang pada empat sisi kolom (*four faces*)

Pada perencanaan gedung ini dipakai perencanaan kolom dengan menggunakan tulangan pada empat sisi penampang kolom (*four faces*). Perhitungan penulangan kolom dan struktur beton ini dapat langsung menggunakan program SAP2000 atau secara manual.

Secara manual adalah sebagai berikut :

Perencanaan Kolom Terhadap Beban Lentur dan aksial

Kuat lentur kolom portal dengan daktilitas penuh harus memenuhi :

$$\sum M_{U,k} \geq 0.7 * \omega d * \phi o * \sum M_{nak,b},$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih dari

$$\sum M_{U,k} = [1.05 \sum M_{D,K} + M_{L,K} + \frac{4.0}{K} M_{E,K}]$$

Dimana :

$M_{nak,b}$ = Kuat momen lentur nominal aktual balok yang dihitung terhadap luas tulangan yang sebenarnya ada pada penampang balok yang ditinjau.

$M_{U,K}$ = Jumlah momen rencana kolom

$M_{D,K}$ = momen kolom akibat beban mati

$M_{L,k}$ = momen kolom akibat beban hidup

$M_{E,k}$ = momen kolom akibat beban gempa

ωd = faktor pembesar dinamis

ϕ_o = faktor penambah kekuatan

K = faktor jenis struktur ($K \geq 1.0$)

Beban aksial rencana $N_{u,k}$, yang bekerja pada kolom portal dengan daktilitas penuh dihitung dari :

$$N_{u,k} = ((0.7 * R_v * \phi_d * \sum M_{nak, b}) / I_b) + 1.05 * N_{g,k}$$

dan tidak lebih dari :

$$N_{u,k} \geq \left(1.05 * N_{g,k} + \frac{4.0}{K} N_{E,k} \right)$$

Dimana :

$N_{g,k}$ = gaya aksial kolom akibat beban gravitasi.

$N_{E,k}$ = gaya aksial kolom akibat beban gempa.

ϕ_o = faktor penambahan kekuatan.

R_v = faktor reduksi

$$= 1 \quad \text{untuk } 1 < n \leq 4$$

$$= 1.1 - 0.025 * n \quad \text{untuk } 4 < n \leq 20$$

$$= 0.6 \quad \text{untuk } n > 20$$

I_b = bentang balok di ukur dari pusat join.

n = jumlah lantai tingkat di atas kolom yang ditinjau.

$M_{nak, b}$ = kuat momen lentur nominal aktual balok yang dihitung terhadap luas tulangan yang sebenarnya ada pada penampang balok yang ditinjau.

Dalam segala hal, kuat lentur dan aksial rancang kolom portal harus memperhitungkan kombinasi beban gravitasi dan beban gempa dalam dua arah peninjauan yang saling tegak lurus.

**Dasar Perhitungan Tulangan Lentur Kolom (Analisa Penampang
Yang Mengalami Tekanan Aksial dan Pelenturan Dua Arah)**

Prosedur perhitungan kolom apabila diketahui P_u , M_{ux} , M_{uy} , f'_c , f_y , adalah :

- $$P_n = \frac{P_u}{\phi}$$
- $$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\phi}, \quad M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\phi}$$
- $$EI_k = \frac{\left[\frac{E_c \times I_g}{2,5} \right]}{1 + \beta_d}$$
- $$EI_b = \frac{\left[\frac{E_c \times I_g}{5} \right]}{1 + \beta_d}$$

dimana :

I_g = momen inersia penampang beton utuh diandaikan tak bertulang

β_d = faktor yang menunjukkan hubungan beban mati dan beban

keseluruhan

$$\beta_d = \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{Momen total rencana}} \leq 1$$

- $$\psi = \frac{\sum (E \times I_k) / L_k}{\sum (E \times I_b) / L_b}$$

dimana:

ψ = faktor penahan pada kedua ujung batang

E = modulus elastisitas beton ($4700 \sqrt{f'_c}$)

I_k = momen inersia kolom

I_b = momen inersia balok

L_k = panjang elemen kolom

L_b = panjang elemen balok

$\psi_A = \psi_B$ (faktor penahan ujung atas dan bawah sama besar)

hasil diatas digunakan untuk mencari K (dari nomogram CUR 4 hal.12 untuk portal dengan penahan dan CUR 4 hal. 106 untuk portal tanpa pengaku)

Apabila tidak dipakai nomogram, besarnya k dapat dihitung dengan menggunakan persamaan – persamaan sebagai berikut :

1. *Batang tekan berpengaku* : Batas atas faktor panjang efektif dapat diambil sama dengan yang terkecil dari dua persamaan tersebut :

$$k = 0,7 + 0,05 (\psi_A + \psi_B) \leq 1,0$$

$$k = 0,85 + 0,05 \psi_{\min} \geq 1,0$$

2. *Batang tekan tanpa pengaku yang tertahan pada kedua ujungnya* :

$$\text{Untuk } \psi_m < 2 : k = \frac{20 - \psi_m}{20} \sqrt{1 + \psi_m}$$

$$\text{Untuk } \psi_m > 2 : k = 0,9 \sqrt{1 + \psi_m}$$

ψ_m = harga ψ_m rata – rata untuk kedua batang tertekan

3. *Batang tekan tanpa pengaku yang kedua ujungnya sendi* : Faktor panjang efektif dapat diambil sebagai berikut :

$$k = 2 + 0,3\psi$$

ψ = harga pada ujung yang tertahan.

Mencari jari – jari girasi (r) = $0,3.h$, untuk penampang persegi dan $0,25.h$ untuk penampang lingkaran.

- Kelangsingan (k)

$$k = \frac{K.L_u}{r}$$

syarat : apabila angka kelangsingan lebih kecil dari batas ini analisis stabilitas boleh diabaikan, berdasarkan peraturan ACI :

Rangka dengan pengaku (*braced frames*) :

$$\frac{k.L_u}{r} < 34 - 12 \cdot \frac{M_1}{M_2}$$

Rangka tanpa pengaku (*unbraced frames*) :

$$\frac{k.L_u}{r} < 22$$

- Momen desain $M_c = \delta_b \times M_{2b} + \delta_s \times M_{2s}$

δ_b = Faktor pembesar untuk momen yang didominasi oleh beban gravitasi

M_{2b}

M_{2b} = Momen ujung rencana yang terbesar pada kolom akibat beban yang tidak menyebabkan goyangan besar, yaitu hanya momen akibat gaya gravitasi.

δ_s = Faktor pembesar terhadap momen ujung terbesar M_{2s} akibat beban yang menyebabkan goyangan besar

M_{2s} = Momen ujung rencana yang terbesar pada kolom akibat beban yang menyebabkan goyangan besar, misal angin, gempa.

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\phi \cdot P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \cdot \sum P_c}} \geq 1$$

C_m = faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan diagram momen seragam ekuivalen, hanya untuk kolom berpengaku yang mengalami beban ujung.

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \geq 0,4, \text{ dimana } M_1 \leq M_2 \text{ dan } M_1 / M_2 > 0 \text{ apabila}$$

tidak ada titik belok diantara kedua ujung, untuk kondisi lainnya

$$C_m = 1$$

P_c = Beban tekuk Euler

$\sum P_u, \sum P_c$ = Jumlah untuk semua kolom pada satu tingkat

$$P_c = \frac{\pi \times E \times I}{(k \times L_u)^2}$$

$$\text{Arah - x} \quad M_{c_{x1}} = \delta_{b_{x1}} \times M_{2b_{x1}} + \delta_{s_{x1}} \times M_{2s_{x1}}$$

$$M_{c_{x2}} = \delta_{b_{x2}} \times M_{2b_{x2}} + \delta_{s_{x2}} \times M_{2s_{x2}}$$

$$\text{Arah - y} \quad M_{c_{y1}} = \delta_{b_{y1}} \times M_{2b_{y1}} + \delta_{s_{y1}} \times M_{2s_{y1}}$$

$$M_{c_{y2}} = \delta_{b_{y2}} \times M_{2b_{y2}} + \delta_{s_{y2}} \times M_{2s_{y2}}$$

- $M_c = \delta_b \times M_{2b} + \delta_s \times M_{2s}$

$$M_n = \frac{M_c}{0,65}$$

- Eksentrisitas ($e_{\text{tmin}} = 15 + 0,03.h$)

$$e_{tx} = \frac{M_{ux}}{P_{ux}}; \quad e_{ty} = \frac{M_{uy}}{P_{uy}}$$

dimana : M_{ux} = Momen akibat portal searah sumbu - x

M_{uy} = Momen akibat portal searah sumbu - y

E_{tx} = Eksentrisitas terhadap sumbu - x

E_{ty} = Eksentrisitas terhadap sumbu - y

- Untuk menghitung tulangan empat sisi (*four faces*) dan dua sisi (*two faces*) dapat menggunakan gambar dari CUR 4 hal 83 – 100.

Dengan menggunakan :

Pada sumbu vertikal dinyatakan dengan nilai : $\frac{Pu}{(\phi \times Agr \times 0,85 \times f'c)}$

Pada sumbu horizontal dinyatakan dengan nilai : $\frac{Pu}{(\phi \times Agr \times 0,85 \times f'c)} \left(\frac{e}{h} \right)$

dan perbandingan d^2/h , dari kolom yang ditinjau.

Sehingga akan didapat nilai r dan β , yang akan menghasilkan nilai ρ .

$$\rho = r \times \beta$$

$$A_{s_{\text{tot}}} = \rho \times Ag \times r$$

As per sisi : $A_{s_{\text{tot}}}/4 \rightarrow$ untuk tulangan empat sisi (*four faces*)

$A_{s_{\text{tot}}}/2 \rightarrow$ untuk tulangan dua sisi (*two faces*)

A. Mendesain Tulangan Axial Eksentris Kolom Persegi (Uniaxial Bending)

Dalam perencanaan awal biasa digunakan keadaan balance dan tulangan simetris ($A_s' = A_s$)

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} < P_{n_{\max}} = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

Perhitungan apabila diketahui b, h, M, dan P adalah :

1. Penampang tulangan tidak simetris

$$ea = M/P$$

$$e = ea + \frac{h}{2} - d''$$

$$ab = F_b \times d$$

$$= \frac{\beta_1 \times 600}{600 + f_y} \times d$$

- Jika $e > (0,3 \cdot d + \frac{1}{2}h - d'')$

Digunakan $a = ab$

$$P \cdot e = R_1 \cdot b \cdot ab \cdot (d - \frac{1}{2}ab) + f_y \cdot A_s' \cdot (d - d')$$

$$A_s' = [P \cdot e - R_1 \cdot b \cdot ab \cdot (d - \frac{1}{2}ab)] / [f_y \cdot (d - d')]$$

$$= [P \cdot e - K_b \cdot R_1 \cdot b \cdot d^2] / [f_y \cdot (d - d')]$$

$$A_s = [(R_1 \cdot b \cdot ab - P) / f_y] + A_s'$$

Periksa letak tulangan tekan :

$$\frac{d'}{c} = \frac{d'}{a / \beta_1} \leq 1 - \frac{f_y}{600}, \text{ dalam SI}$$

- Jika $e = (0,3 \cdot d + \frac{1}{2}h - d'')$

Maka $a = 0,8 \cdot d$

$$A_s' = [P \cdot e - 0,8 \cdot R_1 \cdot b \cdot d] / f_y$$

A_s tidak usah dihitung

- Jika $e < (0,3.d + \frac{1}{2}h - d')$

Maka $a \geq d$ dan $E_s.e_s = -f_y$

$$P = R_l.b.a + f_y.A_s' + f_y.A_s$$

$$a = d$$

$$A_s = [(P - R_l.b.d) / f_y] - A_s'$$

$$P.e = R_l.b.d.(d-d/2) + f_y.A_s'.(d-d')$$

$$A_s' = [(P.e - 0,5.R_l.b.d^2) / [f_y.(d-d')]]$$

2. Penampang Tulangan Simetris

$$a = \frac{P}{R_l.b}$$

bandingkan a dengan ab dan d atau h

- Jika $a < ab$

Dari persamaan $P.e = R_l.b.a.(d-a/2) + f_y.A_s'.(d-d')$

$$A_s = A_s' = P. [e-d+P/(2.R_l.b)] / [f_y.(d-d')]$$

- Jika $a \geq ab$, ataupun didapat $A_s = A_s' = \text{negatif}$, maka :

$$A_s = A_s' = [P.e - F_b.b.d^2.R_l.(1-F_b/2)] / [f_y.(d-d')]$$

$$= [P.e - K_b.b.d^2.R_l.] / [f_y.(d-d')]$$

Jika $A_s = A_s' = \text{masih negatif}$, maka $A_s \text{ total} = (P - R_l.A_g) / f_y$, untuk $a \geq h$

Batasan luasan penampang tulangan : $8\% \geq (A_s / A_g) \geq 1\%$

B. Analisis Penampang yang Mengalami Gaya Aksial & Pelenturan 2 arah (Biaxial Bending)

Perhitungan kolom apabila diketahui P_u , M_{ux} , M_{uy} , f'_c , f_y adalah :

$$P_n = \frac{P_u}{\phi}; \quad M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\phi}; \quad M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\phi}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{M_{nx}}{M_{ny}}$$

$$M_n = M_{nx} + M_{ny} \cdot \frac{h}{b} \cdot \frac{(1-B)}{B}$$

Perhitungan uniaxial bending dengan P_n dan M_n :

$$e_a = \frac{M_n}{P_n}$$

$$\text{untuk keadaan balance : } c_b = \frac{\epsilon_c}{(\epsilon_c + \epsilon_y)}$$

untuk tulangan simetris : $P_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c_b$

jika $P_b = P_n$, maka diperoleh harga $b \cdot d = A_g$

dari perbandingan h/b , maka diperoleh harga b , dan h

$$e = e_a + \frac{1}{2}h - d'$$

$$a = \frac{P}{(0,85 \cdot f'_c \cdot b)}; \quad ab = 0,85 \cdot c_b = 0,85 \cdot 0,587 \cdot d$$

cek harga a dan ab seperti analisa penampang tulangan simetris di atas untuk menentukan rumus A_s dan A_s' untuk harga $a < ab$ maka :

$$A_s = A_s' = P \left[\frac{e - d + \frac{P}{(2Rl \cdot b)}}{f_y \cdot (d - d')} \right]$$

batasan luas penampang tulangan : $8\% \geq (A_s/A_g) \geq 1\%$

1. Tinjauan Lentur Arah X dan Y

Perhitungan apabila diketahui b, h, M_{nx}, M_{ny} dan P_n adalah :

$$b_x = h \quad \text{dan} \quad h_x = b \quad d_x = b - p$$

$$b_y = b \quad \text{dan} \quad h_y = h \quad d_y = h - p$$

Arah-Y

$$e_{ay} = M_{nx} / P_n$$

$$c_{by} = (600 * d_y) / (600 + f_y)$$

$$a_{by} = \beta_1 * c_{by}$$

$$F_{by} = a_{by} / d_y$$

$$K_{by} = F_{by} (1 - F_{by} / 2)$$

$$M_{nby} = \beta_1 * f_c' * K_{by} * b_y * d_y^2 + A_s' * f_y (d_y - d')$$

$$P_{nby} = \beta_1 * f_c' * b_y * a_{by}$$

$$e_{by} = M_{nby} / P_{nby}$$

$$e_y = e_{ay} + h_y / 2 - d''$$

Jika $0.3 * d + h/2 - d'' < e_b$, maka :

$$P_o = \beta_1 * f_c' * (A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}$$

$$P_y = P_o - (e_y / e_{by})^2 (P_o - P_{nby})$$

Arah-X

$$e_{ax} = M_{ny} / P_n$$

$$c_{bx} = (600 * d_x) / (600 + f_y)$$

$$a_{bx} = \beta_1 * c_{bx}$$

$$F_{bx} = a_{bx} / d_x$$

$$K_{bx} = F_{bx} (1 - F_{bx} / 2)$$

$$M_{nbx} = \beta_1 * f_c' * K_{bx} * b_x * d_x^2 + A_s' * f_y (d_x - d')$$

$$P_{nbx} = \beta_1 * f_c' * b_x * a_{bx}$$

$$e_{bx} = M_{nbx} / P_{nbx}$$

$$e_x = e_{ax} + h_x / 2 - d''$$

Jika $0.3 * d + h/2 - d'' < e_b$, maka :

$$P_o = \beta_1 * f_c' * (A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}$$

$$P_x = P_o - (e_x / e_{bx})^2 (P_o - P_{nbx})$$

2. Tinjauan Biaxial Bending

$$\frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o}$$

Syarat $P_i > P_n$, maka penampang cukup kuat menahan P

Dimana :

- b = lebar penampang.
- h = tinggi penampang.
- d = tinggi efektif penampang.
- d' = jarak dari serat tekan terluar beton ke pusat tulangan tekan
- d'' = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar beton ke pusat tulangan tarik terdekat
- ea = eksentrisitas awal
- ex = eksentrisitas pada sumbu-x
- ey = eksentrisitas pada sumbu-y
- Ag = luas penampang bruto beton
- As = luas penampang tulangan tarik
- As' = luas penampang tulangan tekan
- Ast = jumlah luas penampang tulangan (total) dalam penampang beton
- p = tebal selimut beton + 0,5.Ø tulangan beton
- cb = tinggi blok tegangan tekan penampang beton dalam keadaan *balance*.
- ab = tinggi blok tegangan tekan ekuivalen penampang beton dalam keadaan *balance*.
- Pn = beban kuat nominal aksial
- Pi = kekuatan tekan nominal pendekatan dalam lengkung dua arah dan tekan.
- Po = kuat nominal Pn untuk kolom beban aksial (e = 0)
- Px = kekuatan tekan nominal dalam gabungan tekan dan lengkung aksial terhadap sumbu x.
- Py = kekuatan tekan nominal dalam gabungan tekan dan lengkung aksial terhadap sumbu y
- Mn = kekuatan momen nominal

- **Perencanaan Kolom Terhadap Beban Geser**

Kuat geser portal dengan daktailitas penuh, $V_{u,k}$ harus dihitung dari :

$V_{u,k} = (M_{u,k \text{ atas}} + M_{u,k \text{ bawah}}) / l_n$, tetapi tidak lebih besar dari :

$V_{u,k} = 1.05 (V_{D,k} + V_{L,k} + (4,0 / K) V_{E,k})$

Dimana:

- $M_{u,k}$ = momen rencana kolom
- $V_{u,k}$ = gaya geser rencana kolom
- $V_{D,k}$ = gaya geser kolom akibat beban mati
- $V_{L,k}$ = gaya geser kolom akibat beban hidup
- $V_{E,k}$ = gaya geser kolom akibat beban gempa
- l_n = tinggi bersih kolom
- K = faktor jenis struktur ($K \geq 1,0$)

- **Dasar Perhitungan Tulangan Geser Kolom**

Data masukan : $f_c', f_y, b_w, h, d, V_u, M_u, N_u$

Perhitungan :

$V_n = V_u / \phi$

$V_c = 0,17 (1 + 0,073 * N_u / A_g) \sqrt{f_c'} * b_w * d > 0,3 * \sqrt{f_c'} * b_w * d$

$[1 + 0,3 * (N_u / A_g)]^{1/2}$

$(V_n - V_c) \geq 2/3 * \sqrt{f_c'} * b_w * d$, maka ukuran penampang harus diperbesar

$(V_n - V_c) < 2/3 * \sqrt{f_c'} * b_w * d$, maka ukuran penampang mencukupi

Syarat perlu tulangan geser : $V_u > \phi * V_c$

Jika $V_u < \phi * V_c$, maka digunakan tulangan geser minimum dengan cara :

$A_v = b_w * s / 3 * f_y$

$S = A_v * 3 * f_y / b_w \longrightarrow S < d/2$

A_v = jumlah luas penampang kedua kaki sengkang.

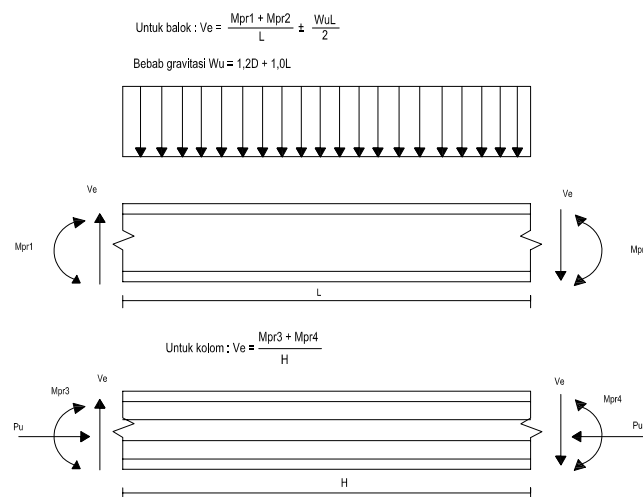
- **Persyaratan Kuat Geser Akibat Gempa**

Gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur dua muka tumpuan. Momen – momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, M_{pr} , harus dianggap bekerja pada muka – muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya.

- Arah gaya geser V_e tergantung pada besar relatif beban gravitasi dan geser yang dihasilkan oleh momen – momen ujung.
- Momen – momen ujung M_{pr} didasarkan pada tegangan tarik $1,25.f_y$ dimana f_y adalah kuat leleh yang disyaratkan. (Kedua ujung harus diperhitungkan untuk kedua arah, yaitu searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam)
- Momen – momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar daripada momen yang dihasilkan oleh M_{pr} balok yang merangka pada hubungan balok – kolom. V_e tidak boleh lebih kecil daripada nilai yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisis struktur.

$$\text{Untuk balok } V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} \pm \frac{W_u L}{2}$$

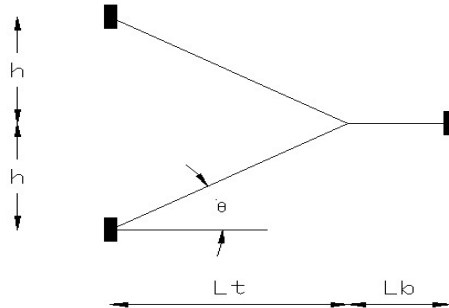
$$\text{Beban gravitasi } W_u = 1,2D + 1,0L$$



Gambar 2.7 Perencanaan geser untuk balok - kolom

2.4.4 Perencanaan Tangga

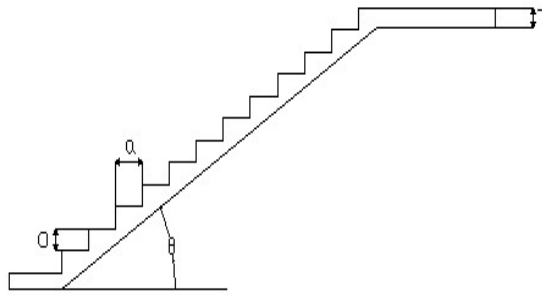
Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dari satu. Pada bangunan berlantai banyak tangga merupakan komponen yang harus ada karena selain sebagai akses vertikal juga difungsikan untuk tangga darurat jika peralatan transportasi vertikal lainnya tidak berfungsi atau bila terjadi kebakaran.



Gambar 2.8. Sketsa tangga

Adapun parameter yang perlu diperhatikan pada perencanaan struktur tangga adalah sebagai berikut:

- Tinggi antar lantai
- Tinggi Antrede
- Jumlah anak tangga
- Kemiringan tangga
- Tebal pelat beton
- Tinggi Optrede
- Lebar bordes
- Lebar anak tangga
- Tebal selimut beton
- Tebal pelat tangga



gambar 2.9. Pendimensian Tangga

Perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur tangga dilakukan dengan menggunakan program *SAP 2000*. Untuk perhitungan penulangan pelat tangga dapat mengikuti prosedur yang sama dengan penulangan pelat lantai setelah didapat gaya - gaya dalam yang ada dalam *output SAP 2000*.

Menurut *Buku Diktat Konstruksi Bangunan Sipil yang disusun Ir. Supriyono*

$$o = \tan \alpha \times a \quad (2.47)$$

$$2 \times o + a = 61 \sim 65 \quad (2.48)$$

dimana : $o = \text{optrade}$ (langkah naik)
 $a = \text{antrede}$ (langkah datar)

Langkah-langkah perencanaan penulangan tangga :

1. Menghitung kombinasi beban W_u dari beban mati dan beban hidup.
2. Menentukan tebal selimut beton, diameter tulangan rencana, dan tinggi efektif arah x (d_x) dan arah y (d_y).
3. Dari perhitungan *SAP 2000*, didapatkan momen pada tumpuan dan lapangan baik pada pelat tangga maupun pada bordes.
4. Menghitung penulangan pelat tangga dan bordes.

Langkah-langkah perhitungan tulangan pelat tangga adalah sebagai berikut :

- a. Menetapkan tebal penutup beton menurut Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.

- b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
- c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.
- d. Membagi Mu dengan $b \times d^2 \left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right)$ (2.49)

dimana b = lebar pelat per meter panjang
 d = tinggi efektif

- e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times fy \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{fy}{f'c} \right) \quad (2.50)$$

- f. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} \quad (2.51)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + fy} \times \frac{0,85 \times f'c}{fy} \quad (2.52)$$

- g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(As = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.53)$$

2.4.5. Perencanaan Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dan satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus.

2.4.5.1. Spesifikasi Umum

- Type : Service Elevator
- Model Name : MMR-SA-1600-CO60-6/6
- Quantity : 1 (satu) unit
- Capacity : 1600 Kg (20 persons)
- Speed : 60 mpm
- Traction motor : 11.1 Kw
- Pit Depth : 1500 mm
- Overhead : 5000 mm
- Travel Height : 25500 mm
- Total Height : 32000 mm
- Machine Room Height : 2400 mm
- Hoistway Size : 2600 (width)*2350 (depth) mm (Existing)
- No.Of.Floors : 6 floors
- No.oF.Stops : 6 stops
- Control System : ACVVVF With Distributed Inverter Control (Di-Model)
- Operation : Simplex Selective Collective
- Machine Room : At The Top of The Lift Shaft
- Power Supply : For Power : Ac-380 V,3Ph 50Hz
For Lighting : Ac-220 V, 1Ph 50Hz

2.5 PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH (*Sub Structure*)

Dalam perencanaan struktur bawah sebuah bangunan, beberapa analisa tanah seperti *boring* dan *sondir* sangat dibutuhkan untuk menentukan desain sebuah pondasi yang akan dipakai. Analisa tanah *boring* dapat mengetahui struktur tanah, muka air tanah, nilai SPT dan jenis tanah (lunak atau keras). Analisa tanah *sondir* dapat menentukan kedalaman tanah keras.

2.5.1 Daya Dukung Tanah

Daya dukung (*Bearing Capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunana diatasnya tanpa terjadi keruntuhan geser.

Daya dukung batas (*Ultimate Bearing Capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah dan biasanya dibersimbol q_{ult} . Daya dukung ini merupakan tanah mendukung beban dan diasumsikan tanah mulai mendukung beban dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan.

Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan dengan rumus sebagai berikut:

$$q_a = \frac{q_{ult}}{FK}$$

2.5.2 Type Pondasi

Dalam sebuah gedung arti pondasi sangatlah penting. Pondasi adalah tempat pijakan gedung dimana beban-beban gedung baik beban mati dan beban hidup akan masuk sepenuhnya kedalam pondasi. Sehingga kekuatan pondasi mutlak harus diperhatikan.

Dalam perencanaan pondasi ada beberapa pemilihan tipe pondasi yang digunakan berdasarkan analisa tanahnya, yaitu :

a) Pondasi Dangkal

Digunakan apabila letak tanah baik (kapasitas dukung ijin tanah $>2,0$ kg/cm²) relatif dangkal (0,60 – 2,00 m). Contoh : pondasi telapak

b) Pondasi Sumuran

Digunakan apabila beban yang bekerja pada struktur pondasi cukup berat dan letak tanah keras (kapasitas dukung ijin tanah $>3,0$ kg/cm²) relatif dalam.

c) Pondasi Dalam

Apabila lapisan atas berupa tanah lunak dan terdapat lapisan tanah keras yang dalam (> 3 m). Contoh : pondasi tiang pancang, *bore pile*, kaison dan lain-lain.

2.5.3 Pemilihan Type Pondasi dan Perencanaan Pondasi

Dalam menentukan jenis pondasi apa yang akan dipakai, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu data tanah (*sondir* dan *boring*), lingkungan tempat dimana bangunan akan didirikan dan yang terakhir adalah efisiensi.

Analisa pemilihan pondasi:

1. Lingkungan

Lingkungan tempat dimana gedung akan didirikan merupakan salah satu parameter yang menentukan jenis pondasi yang akan digunakan. Jika lokasi terletak ditengah kota maka perencanaan gedung dengan menggunakan pondasi tiang pancang sangatlah tidak dianjurkan, karena pemancangan tiang akan menimbulkan polusi udara dan suara. Getaran yang dihasilkan dari pemancangan itu sendiri bisa merusak gedung-gedung disekitarnya.

2. Analisa Tanah

Analisa tanah juga merupakan parameter yang penting dalam menentukan jenis dari pondasi yang akan digunakan. Jika tanah keras didapatkan pada kedalaman yang dangkal maka pondasi yang bisa digunakan adalah pondasi sumuran atau pondasi dangkal. Tetapi jika tanah keras ditemukan dikedalaman yang dalam, maka perencanaan pondasi akan dilakukan dengan pondasi dalam yaitu tiang pancang, *bore pile* atau kaison.

3. Efisiensi

Apabila setelah analisa tanah dan lingkungan ada beberapa jenis pondasi yang bisa digunakan maka parameter selanjutnya yang dipakai untuk menentukan jenis pondasi adalah efisiensi. Efisiensi yang dimaksud adalah efisiensi baik dari segi biaya maupun dari segi waktu.

Berdasarkan data hasil penyelidikan tanah di lapangan dan percobaan di laboratorium mekanika tanah pada lokasi proyek Metro Trade Centre yang terletak di jalan Soekarno – Hatta, Bandung dapat diketahui kondisi lapisan tanahnya bahwa ketika mendekati dicapainya kedalaman lapisan tanah keras pertama dijumpai lapisan tanah yang pada umumnya terdiri dari lapisan lanau lempung anorganis dalam keadaan yang relatif homogen ditinjau dari susunan lapisan tanahnya tapi sedikit bervariasi mengenai tingkat kepadatan serta kedalaman tanah kerasnya. Lokasi proyek terletak pada titik B dan titik C, dimana berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lapangan pada titik bor B tanah keras ada pada kedalaman 18 - 20 m, sedangkan pada titik C ada pada kedalaman 26 m. Dari analisa di atas maka dipilih tipe pondasi tiang pancang.

Penggunaan pondasi tiang pancang dipakai bila tanah padat agak dalam ($> 3\text{m}$), sehingga jika menggunakan pondasi dangkal/lembaran memakan biaya yang besar, karena:

1. Penggalan tanah terlalu besar
2. Pengeringan air tanah membutuhkan biaya yang besar

Umumnya bentuk pondasi tiang pancang adalah persegi atau berbentuk bulat. Pembuatannya bisa dengan cor ditempat atau dengan beton pracetak. Tempat yang akan dipasang pondasi sumuran terlebih dahulu digali.

Pada waktu pelaksanaan penurunan sumuran (pracetak) atau pengecoran ditempat (*cast in place*) tidak dianjurkan dengan penggalian terbuka (seperti pada pelaksanaan pondasi langsung), karena akan merusak struktur tanah disekitar sumuran dan gaya geser menjadi hilang.

2.5.3.1. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

Analisis- analisis kapasitas daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan perhitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat dikaitkan dengan sifat - sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan.

1. Berdasarkan kekuatan bahan

Menurut Peraturan Beton Indonesia SNI 2002, tegangan tekan beton yang diijinkan yaitu:

$$\sigma_b = 0.33 \times f'c \quad : f'c = \text{kekuatan karakteristik beton}$$

$$\sigma_b = 0.33 \times 300 = 99 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{tiang} = \sigma_b \times A_{tiang}$$

dimana: P_{tiang} = Kekuatan pikul tiang yang diijinkan

σ_b = Tegangan tekan tiang terhadap penumbukan

A_{tiang} = Luas penampang tiang pancang

2. Berdasarkan hasil SPT

Pengujian Penetrasi Standar atau *Standart Penetration Test* (SPT) pada dasarnya adalah metode yang paling berguna untuk menentukan kondisi tanah yang mendasari suatu tempat. Pengujian penetrasi standar merupakan cara yang paling populer dewasa ini dan cara yang ekonomis untuk mendapatkan informasi di bawah permukaan tanah. Berdasarkan faktor pendukungnya, daya dukung tiang pancang dapat digolongkan sebagai berikut:

- **Perhitungan Meyerhof**

Meyerhof (1956) mengusulkan formula untuk menentukan daya dukung pondasi tiang pancang pada lapisan pasir sebagai berikut :

$$Q_{ult} = 40 \times N_b \times A_b + 0.2 \times \tilde{N} \times A_s$$

Dimana :

Q_{ult} = daya dukung batas pondasi tiang pancang (ton)

N_b = nilai N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_b = Luas penampang dasar tiang (m^2)

\tilde{N} = nilai N-SPT rata-rata

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

Harga batas untuk N_b adalah 40 dan harga batas untuk $0.2 \times \tilde{N}$ adalah 10 t/m^2 .

- **Perhitungan Schmertmann**

Schmertmann (1967) mengusulkan korelasi antara tahanan ujung batas dan tahanan friksi batas dengan nilai N-SPT, yang didasarkan pada data Standast Penetration Test. Pengalaman menunjukkan bahwa metode ini memberikan hasil yang konservatif. Berikut adalah tabel yang menyajikan harga-harga batas untuk tahanan friksi dan tahanan ujung.

Tabel 2.8 Tabel Perhitungan *Schmertmann*

<i>Type of Soil</i>	<i>Unified scs Description</i>	$\frac{q_c}{N}$	R_f	<i>Side Friction (tsf)</i>	<i>End bearing (tsf)</i>
<i>Clean sand above and below all dencities</i>	CW, GP, GM SW, SP, SM	3.5	0.6	$0.019 \tilde{N}$	3.2 N
<i>Clay-silt-sand mixes ; very silty sand, silts and mares</i>	GC SC ML CL	2.0	2.0	$0.04 \tilde{N}^{**}$	1.6 N
<i>Plastics Clays</i>	CH, OH	1.0 ***	5.0	$0.05 N^{**}$	0.7 N
<i>Soft Limestones Limerock very shelly sand</i>		4.0	0.25	0.01 N	3.6 N

* Untuk \tilde{N} kurang dari 5, digunakan nol

Untuk N lebih dari 60, digunakan 60

** Reduksi disarankan untuk lempung kaku dan pasir kelempungan

*** Diasumsikan bahwa *unconfined strength* = q_u dalam $tsf = \frac{q_c}{16}$

bila q_u , atau bila data uji kekuatan lain tersedia, gunakan nilai N lapangannya.

Dimana :

q_c = *bearing capacity* dari 10 cm² *static cone* dalam tsf

R_f = rasio dari *side friction* terhadap *bearing capacity*

\tilde{N} = N rata -rata – nilai dlm tiap lapis tanah

2.5.3.2. Daya Dukung Ijin Tiang Group (P_{all} Group)

Dalam pelaksanaan jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dan satu tiang saja, tetapi terdiri dan kelompok tiang.

Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi.

$$Eff = 1 - \frac{\varphi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \times n} \right]$$

dimana : m : jumlah baris
 n : jumlah tiang
 φ : arc tan (d / s), dalam derajat
 d : diameter tiang
 s : jarak antar tiang

$$P_{all\ group} = Eff \times P_{all\ tiang} \text{ (daya dukung tiang tunggal)}$$

Jarak antar tiang (s) biasanya diambil :

- ujung tiang tidak mencapai tanah keras maka jarak tiang minimum $\geq 2d$ atau $2x$ diagonal tampang tiang
- ujung tiang mencapai tanah keras, maka jarak tiang min $\geq d$ tiang + 30 cm atau panjang diagonal tiang + 30 cm

Semakin besar jarak tiang, maka tahanan momen akan bertambah, namun luas poer juga akan bertambah. Sehingga harus dicari jarak tiang yang seefisien mungkin.

2.5.3.3. P_{max} Yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P_{max} = \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{max}}{n_y \Sigma y^2} \pm \frac{M_y * X_{max}}{n_x \Sigma x^2}$$

Dimana:

P_{max} : beban max yang diterima 1 tiang pancang

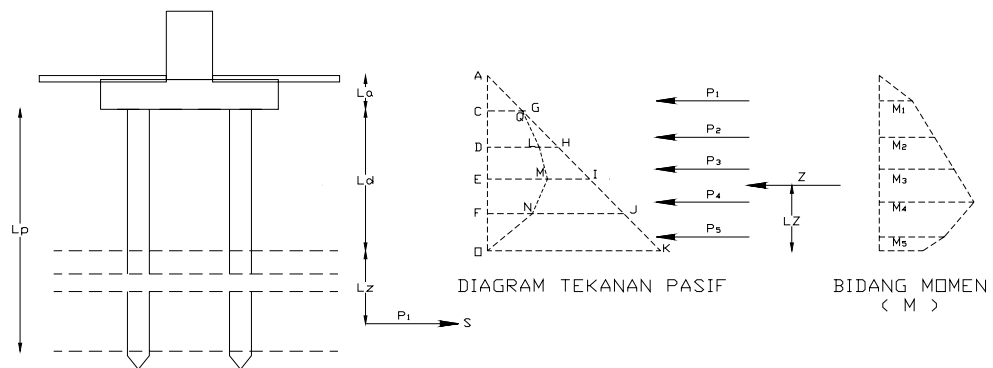
ΣP_v : jumlah beban vertikal

- n : banyaknya tiang pancang
 - M_x : momen arah X
 - M_y : momen arah Y
 - X_{max} : absis max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang
 - Y_{max} : ordinat max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang
 - N_x : banyak tiang dalam satu baris arah x
 - N_y : banyak tiang dalam satu baris arah y
 - Σy^2 : jumlah kuadrat jarak arah Y (absis – absis) tiang
 - Σx^2 : jumlah kuadrat jarak arah X (ordinat – ordinat) tiang
- P_{max} di dapat dari hasil output SAP 2000, dibandingkan P_{eff}

2.5.3.4. Kontrol Gaya Horizontal

Beban horisontal yang mungkin bekerja pada tiang adalah beban sementara, terutama diakibatkan oleh beban gempa.

Reaksi tiang terhadap suatu beban horisontal ditentukan sekali oleh panjang tiang. Pada tiang pendek ($D/B < 20$) kegagalan disebabkan oleh runtuhnya tanah di sekeliling tiang, sedangkan pada tiang panjang ($D/B > 20$) kegagalan disebabkan oleh kerusakan struktural pada tiang.



Gambar 2.10 Diagram Tekanan Tanah

Untuk kelompok tiang (*pile group*) maka tekanan tanah adalah selebar poer yang menerima gaya horisontal.

Cara menghitung gaya horisontal sementara yang diijinkan pada tiang pancang adalah sebagai berikut:

- Jepitan diperhitungkan 1/4 sampai 1/3 panjang tiang yang masuk ke dalam tanah.

$$L_d = \frac{3}{4} - \frac{1}{3} L_p$$

L_p = panjang tiang yang masuk ke dalam tanah

- Gambarkan diagram tekanan tanah pasif yang menahan gaya horisontal H sebagai berikut:

Panjang ujung atas tiang di bawah poer tekanan tanah pasif diperhitungkan penuh. Jadi $CG = (\chi_p * \gamma * L_a)B$

dimana:

$$\chi_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

ϕ = sudut geser dalam

B = lebar poer yang melawan gaya pasif

Kemudian L_d dibagi menjadi 4 bagian sama besar yaitu:

$$CD = DE = EF = FO$$

$$OK = (\chi_p * \gamma * L_a)B$$

Tekanan efektif pada D:

$$DL = \frac{3}{4} H$$

Tekanan efektif path E:

$$EM = \frac{1}{2} EI$$

Tekanan efektif path F:

$$FN = \frac{1}{4} FJ$$

- Hitung besarnya Z
 Z adalah resultan tekanan tanah pasif yang titik tangkapnya L_z dan titik O
- Diambil M terhadap titik S dimana $OS L_z H(L_h + L_z) - Z * IZ = 0$

Gaya horisontal yang diijinkan:

$$H (L_h + L_z) - Z * I_z = 0$$

$$L_h = L_a + L_d$$

- Faktor keamanan bila beban horisontal yang bekerja path pondasi H.

$$\text{Faktor keamanan: } H = \frac{H_{ijin}}{H} = 1.5 - 2$$

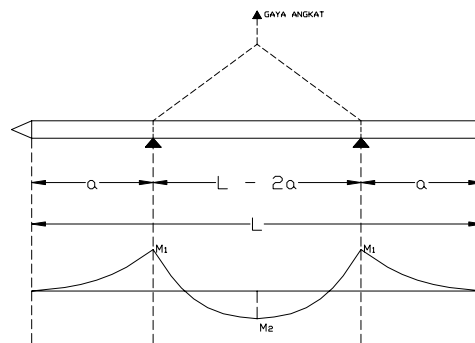
Apabila tekanan tanah pasif tidak kuat menahan beban horisontal sementara, maka beban ini harus diterima oleh tiang pancang miring (*batter pile*).

Peninjauan kekuatan tiang pancang akibat momen yang ditimbulkan oleh tekanan tanah pasif

Pada tiang pancang yang menerima tekanan tanah pasif akibat adanya gaya horisontal harus ditinjau kekuatan tiang pancang tersebut terhadap tekanan tanah pasif.

2.5.3.5. Penulangan Tiang Pancang

Kondisi I : Untuk pemindahan tiang pancang



Gambar 2.11 Pengangkatan Tiang Pancang dengan 2 Titik

$$M_1 = \frac{1}{2} q * a^2$$

$$M_2 = \frac{1}{8} * \left(q(1 - 2a)^2 - \frac{1}{2} q * a^2 \right)$$

$$\frac{1}{2}q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \left(q(l-2a)^2 - \frac{1}{2}q \cdot a^2 \right)$$

$$4a^2 + 4aL - L^2 = 0$$

$$a_{1,2} = \frac{-4L \pm \sqrt{16L^2 - 4 \cdot 4 \cdot (-L^2)}}{2 \cdot 4}$$

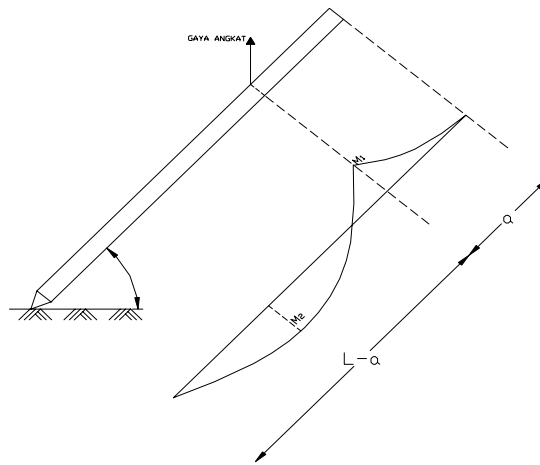
$$a_{1,2} = \frac{-4L \pm \sqrt{16L^2 + 16L^2}}{8}$$

$$a_{1,2} = \frac{-4L \pm 4L\sqrt{2}}{8}$$

$$a_1 = \frac{-4L + 4L\sqrt{2}}{8}$$

$$a_2 = \frac{-4L - 4L\sqrt{2}}{8} \quad (\text{imajiner})$$

Kondisi II : Untuk penentuan posisi tiang pancang



Gambar 2.12 Pengangkatan Tiang Pancang dengan 1 Titik

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a$$

$$R_1 = \frac{1}{2}q(L-a) - \left(\frac{\frac{1}{2}L^2 - 2aL}{(L-a)} \right)^2 = \left(\frac{qL^2 - 2q \cdot a \cdot L}{2(L-a)} \right)$$

$$M_x = R_1 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2$$

$$M \text{ max} \rightarrow \frac{dM_x}{dx} = 0$$

$$R_1 - qx = 0$$

$$x = \frac{R_1}{q} = \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)}$$

$$\begin{aligned} M \text{ max} &= M_2 = R \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right) - \frac{1}{2}q \cdot \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot q \frac{(L^2 - 2aL)^2}{2(L-a)} \end{aligned}$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot qa^2 = \frac{1}{2} \cdot q \frac{(L^2 - 2aL)^2}{2(L-a)}$$

$$2a^2 - 4aL + L^2 = 0$$

$$a_{1,2} = \frac{-(-4L) \pm \sqrt{(-4L)^2 - 4 \cdot 2 \cdot L^2}}{2 \cdot 2}$$

$$a_{1,2} = \frac{4L \pm 2L\sqrt{2}}{4}$$

$$a_{1,2} = L \pm 0,5L\sqrt{2}$$

$$a_1 = L + 0,5L\sqrt{2}$$

$$a_2 = L - 0,5L\sqrt{2}$$