

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1. TINJAUAN UMUM

Pada tahap perencanaan struktur menara ini, perlu dilakukan studi literatur untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan digunakan, disamping juga untuk mengetahui dasar-dasar teorinya. Pola-pola yang dibentuk oleh konfigurasi fungsional akan berpengaruh secara implisit pada desain struktur yang digunakan. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menentukan, misalnya pada situasi yang mengharuskan bentang ruang yang besar serta harus bebas kolom, sehingga akan menghasilkan beban yang harus dipikul oleh balok akan lebih besar pula.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan dasar-dasar perhitungan struktur mulai dari struktur atas yang meliputi pelat, balok, kolom, tangga dan lift sampai dengan perhitungan struktur bawah yang terdiri dari pondasi tiang pancang dan *pile cap*. Studi literatur dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang optimal dan akurat. Oleh karena itu, dalam bab ini pula 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. KONSEP PEMILIHAN JENIS STRUKTUR

Pemilihan jenis struktur atas (*upper structure*) mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional struktur. Dalam proses desain struktur perlu dicari kedekatan antara jenis struktur dengan masalah-masalah seperti arsitektural, efisiensi, *service ability*, kemudahan pelaksanaan dan juga biaya yang diperlukan. Adapun faktor yang menentukan dalam pemilihan jenis struktur sebagai berikut ⁽⁹⁾ :

1. Aspek arsitektural

Aspek arsitektural dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan jiwa manusia akan sesuatu yang indah. Jenis struktur dipilih karena ciri visualnya dan bukan karena pertimbangan teknis saja. Contoh kasus dimana klien siap membayar lebih mahal, oleh karena itu mengerahkan sumber daya yang berlebihan, baik dalam hal bahan maupun tenaga kerja, hanya untuk mendapatkan struktur spektakuler.

2. Efisiensi struktur

Efisiensi struktur yang dipertimbangkan disini berkenaan dengan berat bahan yang harus disediakan untuk memikul sejumlah beban yang diberikan. Efisiensi struktur dianggap tinggi jika rasio kekuatan struktur terhadap berat struktur juga tinggi. Pemilihan struktur tidak hanya ditentukan oleh penggunaan bahan dan sumber daya lain yang paling efisien atau minimum tetapi juga harus memperhatikan faktor teknis lain seperti tingkat kerumitan proses pembangunan dan keawetan jangka panjang struktur.

3. Biaya

Biaya merupakan sebuah ukuran mengenai ekonomi sarana yang telah dicapai dan seringkali sangat penting dalam menentukan keseimbangan antara efisiensi dan kerumitan yang tepat dalam suatu kasus. Permasalahan yang mempengaruhi biaya merupakan hal yang rumit. Jenis struktur dipilih dengan pertimbangan biaya bahan dan biaya tenaga kerja. Dalam suatu kasus jenis struktur dipilih walaupun lebih mahal dari pilihan lainnya dengan pertimbangan pelaksanaan bangunan yang lebih cepat.

4. Keawetan struktur

Keawetan bahan – bahan yang dipilih harus dipertimbangkan ketika struktur harus menghadapi lingkungan yang tidak bersahabat, permasalahan keawetan menjadi prioritas tertinggi dalam pemilihan bahan yang akan digunakan.

5. Pengaruh lingkungan

Pengaruh lingkungan memberikan pengaruh yang besar dalam pemilihan struktur, terutama kaitannya dengan keawetan struktur. Dalam perencanaan perlu dipertimbangkan apakah pengaruh lingkungan memberikan efek yang merugikan atau tidak terhadap jenis struktur yang dipilih. Beberapa kondisi lingkungan yang perlu diperhatikan antara lain : kelembaban udara, pengaruh lingkungan air, lingkungan air yang mengandung garam (air laut), sulfat dan pengaruh lain yang merugikan.

6. Aspek fungsional

.Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi dari bangunan tersebut. Struktur harus mampu untuk menjalankan fungsinya sesuai dengan yang direncanakan hingga jangka waktu yang direncanakan tanpa membutuhkan terlalu banyak perawatan yang berlebihan.

7. Aspek pelaksanaan

Semakin tinggi efisiensi maka semakin rumit bentuknya. Geometri rumit yang harus digunakan untuk memperoleh efisiensi yang tinggi mempengaruhi kemudahan struktur untuk dapat dibangun. Tingkat kerumitan dalam perencanaan dan pelaksanaan bisa dipecahkan dengan teknologi tinggi tapi permasalahannya adalah tersedia atau tidaknya fasilitas tersebut. Struktur yang sudah direncanakan dengan matang harus dapat dilaksanakan di lapangan dengan mudah sehingga penurunan atau pengurangan terhadap kualitas struktur dapat dikurangi karena ketidaksempurnaan pelaksanaan.

8. Ketinggian dan beban

Pada bangunan – bangunan tinggi ada dua permasalahan yang penting yaitu: menentukan kemampuan dukung vertikal dan kesulitan penahanan beban lateral yang besar, termasuk efek dinamis beban angin. Beban – beban yang bekerja pada struktur menentukan jenis material yang digunakan. Material yang digunakan tentunya yang mempunyai pengaruh bagus terhadap beban – beban yang bekerja.

9. Kekuatan dan kestabilan struktur

Kekuatan dan kestabilan struktur mempunyai kaitan yang erat dengan kemampuan struktur untuk menerima beban-beban yang bekerja, baik beban vertikal maupun beban lateral, dan kestabilan struktur baik arah vertikal maupun lateral.

10. Faktor kemampuan struktur mengakomodasi sistem layan gedung

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi yang dalam batas yang diijinkan. Keselamatan adalah hal penting dalam perencanaan struktur gedung terutama dalam penanggulangan bahaya kebakaran, maka dilakukan usaha-usaha sebagai berikut :

- Penggunaan material tahan api terutama untuk instalasi-instalasi penting
- Fasilitas penanggulangan api disetiap lantai
- Pengaturan ventilasi yang memadai

Sedangkan pemilihan jenis pondasi (*sub structure*) yang digunakan didasarkan kepada beberapa pertimbangan, yaitu ⁽¹⁴⁾ :

1. Keadaan tanah pondasi

Jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah erat kaitannya dengan jenis pondasi yang dipilih.

2. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya
Keadaan struktur atas sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tertentu, kekakuan dan sebagainya).
3. Batasan-batasan dilingkungan sekelilingnya
Hal ini menyangkut lokasi proyek, pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada disekitarnya.
4. Waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan
Suatu proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi ekonomis dalam pembangunan.

2.2.1. Elemen-elemen Struktur Utama

Pada perencanaan struktur menara ini digunakan balok dan kolom sebagai elemen-elemen utama struktur. Balok dan kolom merupakan struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal di atas elemen kaku vertikal. Balok memikul beban secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh balok dan mentransfer beban itu ke tanah / pondasi.

2.2.2. Jenis – jenis Struktur Berdasarkan Material Penyusun Struktur

Secara umum jenis-jenis material struktur yang biasa digunakan untuk bangunan gedung adalah sebagai berikut ⁽⁹⁾:

1. Struktur Baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat tepat digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi, karena material baja mempunyai kekuatan serta daktilitas yang tinggi apabila dibandingkan dengan material-material struktur lainnya. Di beberapa negara, struktur baja tidak banyak dipergunakan untuk struktur bangunan rendah dan menengah, karena ditinjau dari segi biaya, penggunaan material baja untuk bangunan ini dianggap tidak ekonomis.

Baja cocok untuk struktur statis tentu karena kemudahannya dan terbentuknya titik kumpul sendi pada bahan – bahan ini. Penggunaan baja untuk struktur statis tak tentu dapat menimbulkan permasalahan karena kekurangsesuaian dan relatif tingginya koefisien muai panas baja.

2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)

Struktur komposit merupakan struktur gabungan yang terdiri dari dua jenis material atau lebih. Umumnya struktur komposit yang sering dipergunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Struktur komposit ini memiliki perilaku diantara struktur baja dan struktur beton bertulang, digunakan untuk struktur bangunan menengah sampai tinggi .

3. Struktur Kayu (*Wooden Structure*)

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan cukup baik terhadap pengaruh gempa, dan mempunyai harga yang ekonomis. Kelemahan daripada struktur kayu ini adalah tidak tahan terhadap kebakaran dan digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah.

4. Struktur Beton Bertulang Cor Di Tempat (*Cast In Situ Reinforced Concrete Structure*)

Struktur beton bertulang ini banyak digunakan untuk struktur bangunan tingkat menengah sampai tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan struktur lainnya.

5. Struktur Beton Pracetak (*Precast Concrete Structure*)

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen pracetak. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

6. Struktur Beton Prategang (*Prestress Concrete Structure*)

Penggunaan sistem prategang pada elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi struktur dan akan mempengaruhi karakteristik respon terhadap gempa. Tendon sensitif terhadap arah momen padahal gempa sifatnya bolak – balik. Struktur ini digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai menengah. Sistem prategang yang digunakan ada dua cara, yaitu :

- *Sistem Post-Tensioning*

Pada sistem ini beton dicor ditempat, kemudian setelah mencapai kekuatan 80% $f'c$ diberi gaya prategang. Biasanya untuk lantai dan balok.

- *Sistem Pre-Tensioning*

Pada sistem ini beton telah dicetak dan sebelumnya diberi gaya prategang di pabrik dan kemudian dipasang di lokasi. Sistem ini biasa digunakan untuk komponen balok, pelat dan tangga.

2.3. KONSEP DESAIN / PERENCANAAN STRUKTUR

Konsep tersebut 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 menyederhankan 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:

- 1) Beban mati total dari struktur bangunan gedung;
- 2) Bila digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0.5 kPa;
- 3) Pada gudang-gudang dan tempat-tempat penyimpanan barang maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan;
- 4) 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 2.1)

R = Faktor reduksi gempa (Tabel 2.2)

Tabel 2.1 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 2.2 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 gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	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
	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 bresing 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 direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25 % dari seluruh beban lateral: 3) kedua system harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	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
	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 2.3 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 :

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

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

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

ϕ = 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.

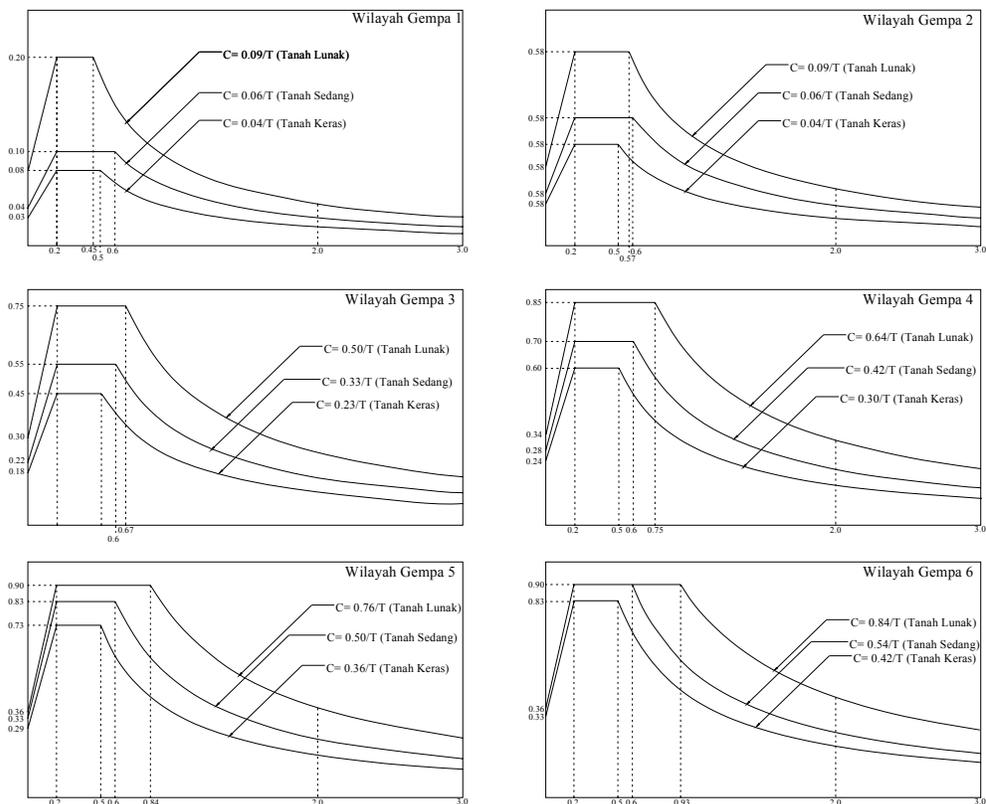
Tabel 2.3 Definisi jenis tanah

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 2.4 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	$S > 330$	$270 \leq S \leq 330$	$S < 270$

Spektrum respon nominal gempa rencana untuk struktur dengan daktilitas penuh pada beberapa jenis tanah dasar, diperlihatkan pada gambar di bawah ini



Gambar 2.1 Spektrum Respon Gempa SNI 03-1726-2002

Beban geser dasar nominal V menurut persamaan 2.1 harus dibagikan sepanjang tinggi struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan:

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

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 ekuivalen 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_I maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan:

$$V_t \geq 0.8V_I \quad (2.9)$$

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

$$V_I = \frac{C_1 \cdot I \cdot W_t}{R} \quad (2.10)$$

dengan C_1 adalah nilai Faktor Respon Gempa yang di dapat dari spektrum Respons Gempa Rencana (gambar 2.1) untuk waktu getar alami pertama T_I .

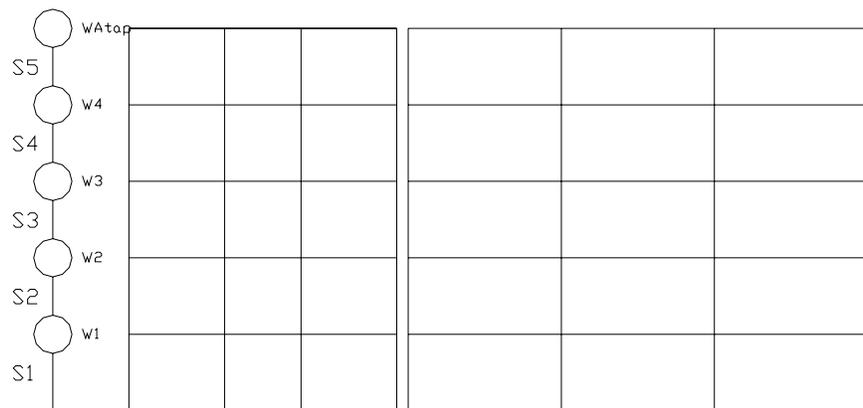
Perhitungan respon dinamik struktur bangunan gedung tidak beraturan terhadap pembebanan Gempa Nominal, dapat dilakukan dengan metoda analisis ragam spektrum respon dengan memakai diagram spektrum respon gempa rencana berdasar wilayah gempa dengan periode ulang 500 tahun pada Gambar 2.1. Dalam hal ini, 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 untuk 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. Untuk struktur bangunan sedang digunakan metode Analisis Beban Statik Ekuivalen, sebaiknya memeriksa gaya gempa yang bekerja dengan menggunakan Spektrum Respon Gempa Rencana sesuai kondisi struktur. Untuk 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.

Untuk 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 ⁽⁶⁾.



Gambar 2.2 Pemodelan Struktur dan Lump Mass

2.3.2. Denah dan Konfigurasi Bangunan

Dalam mendesain struktur perlu direncanakan terlebih dulu denah struktur setiap lantai bangunan, sehingga penempatan balok dan kolom sesuai dengan perencanaan ruang.

2.3.3. 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 ⁽⁷⁾⁽⁹⁾ :

► 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. Efisiensi 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

2.3.4. Konsep Pembebanan

2.3.4.1. Beban - Beban Pada Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis.

Gaya statik adalah gaya yang bekerja secara terus menerus pada struktur dan yang diasosiasikan dengan gaya-gaya ini juga secara perlahan-lahan timbul, dan juga mempunyai karakter *steady state*.

Gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya tidak bersifat *steady state* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah-ubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat. Gaya dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi pada struktur.

1. Beban Statis

Jenis-jenis beban statis menurut *Peraturan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1983* adalah sebagai berikut:

- ❖ Beban Mati (*Dead Load*/DL)

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

Tabel 2.5 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

❖ **Beban hidup (*Life Load/LL*)**

Beban hidup adalah beban - beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah - pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan - lahan pada struktur. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban - beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati

Tabel 2.6 Beban Hidup Pada Lantai Bangunan

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai Perkantoran / Restoran	250 kg / m ²
Lantai Ruang-ruang Balkon	400 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*)

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu faktor yang utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Lokasi gesekan ini terjadi disebut *fault zone*. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dan gerakan. Gaya yang timbul disebut gaya inersia. Besar gaya tersebut bergantung pada banyak faktor yaitu ⁽⁶⁾:

- ❖ Massa bangunan
- ❖ Pendistribusian massa bangunan
- ❖ Kekakuan struktur
- ❖ Jenis tanah
- ❖ Mekanisme redaman dan struktur
- ❖ Perilaku dan besar alami getaran itu sendiri
- ❖ Wilayah kegempaan
- ❖ Periode getar alami

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:

- 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.

Pada prinsipnya dengan konsep desain kapasitas elemen-elemen utama penahan gempa dapat dipilih, direncanakan dengan detail sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan energi gempa yang cukup besar tanpa mengalami keruntuhan struktur secara total, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

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

Berdasarkan **Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983 pasal 4.1 dan 4.3** menyebutkan bahwa :

- 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

2.3.4.2. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Untuk keperluan desain, analisis dan sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap kemungkinan terjadinya kombinasi pembebanan (*Load Combination*) dan beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut *Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1983*, ada 2 kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur 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, beban angin 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.

SKSNI Beton 03-xxxx-2002 menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

$$\diamond \text{ Untuk beban mati / tetap} \quad : Q = 1.2$$

$$\diamond \text{ Untuk beban hidup sementara} \quad : Q = 1.6$$

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

2.3.5. 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. SKSNI Beton 2002 pasal 11-3 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dan perhitungan struktur.

Tabel 2.7 Reduksi Kekuatan

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi
Beban lentur tanpa gaya aksial	0.80
Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur	0.80
Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur <ul style="list-style-type: none"> • Dengan tulangan Spiral • Dengan tulangan biasa 	0.70 0.65
Geser dan Torsi	0.75
Tumpuan Pada Beton	0.65

2.4. PERENCANAAN STRUKTUR ATAS (*UPPER STRUCTURE*)

Struktur atas adalah struktur bangunan dalam hal ini adalah bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dari struktur sekunder seperti pelat, tangga, lift, balok anak dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok, kolom dan shear wall.

Perencanaan struktur portal utama direncanakan dengan menggunakan prinsip *strong column weak beam*, dimana sendi-sendi plastis diusahakan terletak pada balok-balok.

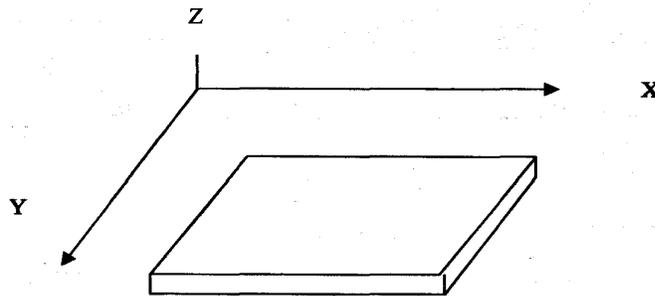
2.4.1. Perencanaan Pelat

Pelat adalah struktur planar kaku yang secara khas terbuat dari material monolit dengan tinggi yang kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Untuk merencanakan pelat beton bertulang yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan, tetapi harus juga ukuran dan syarat-syarat dan peraturan yang ada. Pada perencanaan ini digunakan tumpuan terjepit penuh untuk mencegah pelat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir dan juga di dalam pelaksanaan pelat akan dicor bersamaan dengan balok.

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 empat balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat menjadi suatu pelat yang 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 apabila panjang tidak sama dengan lebar, balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar dari balok yang pendek (penulangan satu arah).

Dimensi bidang pelat L_x dan L_y dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.3 Sumbu Global pada 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 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.

$$d. \text{ Membagi } Mu \text{ dengan } b \times d^2 \left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) \quad (2.65)$$

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times fy \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{fy}{f'c} \right) \quad (2.66)$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} \quad (2.67)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + fy} \times \frac{0,85 \times f'c}{fy} \quad (2.68)$$

g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(As = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.69)$$

2.4.2. 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*.

2.4.2.1 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 2.4. 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:

2.4.2.2 Perencanaan Struktur Balok

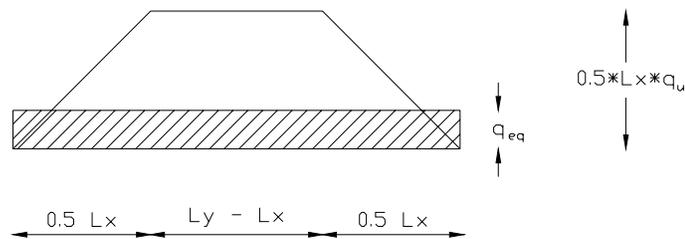
Dalam pra desain tinggi balok menurut SKSNI 03-1726-2002 merupakan fungsi dan bentang dan mutu beton yang digunakan. Secara umum pra desain tinggi balok direncanakan $L/10 - L/15$, dan lebar balok diambil $1/2H - 2/3H$ dimana H adalah tinggi balok.

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 2.5 Perataan Baban Trapesium

Momen Maximum beban trapesium 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 :

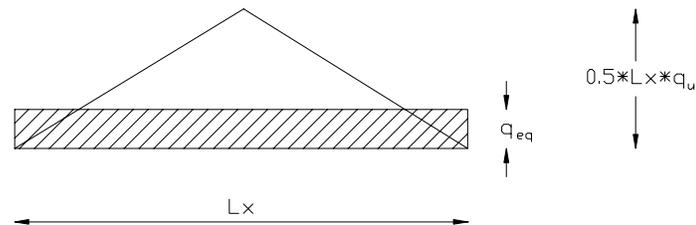
$$\begin{aligned} M_{\max} &= \frac{1}{8} * w * L^2 \\ &= \frac{1}{8} * q_{ek} * Ly^2 \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

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 2.6 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 :

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

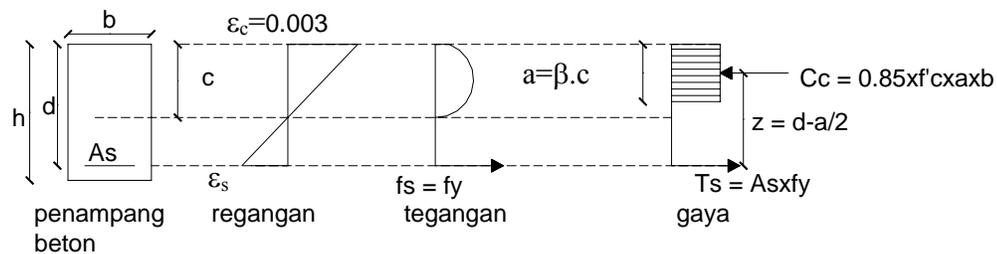
Pers (1) = Pers (2)

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

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

Perhitungan penulangan balok struktur beton menggunakan program SAP 2000 ataupun manual sebagai berikut :

Perencanaan Lentur Murni



Gambar 2.7 Tegangan, regangan dan gaya yang terjadi pada perencanaan lentur murni beton bertulang

Dari gambar didapat⁽¹⁹⁾ :

$$C_c = 0,85 . f_c' . a . b \quad (2.70)$$

$$T_s = A_s . f_y \quad (2.71)$$

Sehingga:

$$0,85 . f_c' . a . b = A_s . f_y \quad (2.72)$$

Dimana⁽¹⁹⁾ :

$$a = \beta . c \quad (2.73)$$

$$A_s = \rho . b . d \quad (2.74)$$

dan besarnya nilai β ⁽¹⁸⁾ untuk mutu beton :

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

$$f_c' > 30 \text{ Mpa} , \beta = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \quad (2.75)$$

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

$$\begin{aligned} 0,85.f_c'. \beta.c.b &= A_s.f_y \\ 0,85.f_c'. 0,85c.b &= \rho.b.d.f_y \\ 0,7225.b.c.f_c' &= \rho.b.d.f_y \\ c &= \frac{\rho.b.d.f_y}{0,7225.b.f_c'} \\ c &= 1,384\rho.\frac{f_y}{f_c'.d} \end{aligned} \quad (2.76)$$

Besarnya momen yang mampu dipikul oleh penampang adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= C_c (d - 0,5a) \text{ atau } T_s (d - 0,5a) \\ &= A_s.f_y (d - 0,5.0,85c) \\ &= A_s.f_y (d - 0,425c) \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} M_u &= \phi.A_s.f_y (d - 0,425c) \\ &= 0,8.\rho.b.d.f_y (d - 0,425c) \end{aligned} \quad (2.77)$$

Substitusi harga c ,

$$M_u = 0,8.\rho.b.d.f_y \left(d - 0,425.1,384\rho.\frac{f_y}{f_c'.d} \right)$$

Bentuk di atas dapat pula dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{M_u}{b.d^2} = 0,8.\rho.f_y \left(1 - 0,588.\rho.\frac{f_y}{f_c'} \right) \quad (2.78)$$

dimana:

- M_u = 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 ⁽¹⁹⁾ ditetapkan sebesar $\frac{f_y}{1.4}$

- b. Rasio tulangan balance (ρ_b)

Dari gambar regangan penampang balok (Gambar 2.4) didapat:

$$\frac{c}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s} \quad (2.79)$$

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

$$\frac{c}{d} = \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.80)$$

Keadaan balance:

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

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

$$\rho = \frac{600}{600 + f_y} \beta \frac{0,85 . f_c'}{f_y} \quad (2.81)$$

- 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 ⁽¹⁹⁾ :

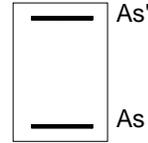
- Sesuaikanlah ukuran penampang balok
- Bila tidak memungkinkan, maka dipasang tulangan rangkap

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 $As_1 = \rho_{\max} . b . d$

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:

$$As_2 = As' = \frac{Mu - Mu_1}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d')} \quad (2.82)$$

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 sumbangan beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w \cdot d \quad (2.83)$$

atau besarnya tegangan yang dipikul beton adalah:

$$v_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \quad (2.84)$$

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

$$v_c = \left(1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \quad (2.85)$$

Sedangkan besarnya tegangan geser yang harus dilawan sengkang adalah:

$$\phi v_s = v_u - \phi v_c \quad (2.86)$$

Besarnya tegangan geser yang harus dipikul sengkang dibatasi sebesar:

$$\phi v_s \max = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \quad (2.87)$$

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

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.88)$$

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 2.86, tulangan geser dibutuhkan apabila $v_u > \phi v_c$.
 Besarnya tulangan geser yang dibutuhkan ditentukan dengan rumus berikut ⁽¹⁹⁾:

$$A_v = \frac{(v_u - \phi v_c) b \cdot s}{\phi f_y} \quad (2.89)$$

dimana:

- A_v = luas tulangan geser yang berpenampang ganda dalam mm²
 s = jarak sengkang dalam mm

Rumus di atas juga dapat ditulis sebagai berikut ⁽¹⁹⁾:

$$A_v = \frac{(v_u - \phi v_c) b \cdot 1000}{\phi f_y} \quad (2.90)$$

dimana A_v adalah luas tulangan geser yang berpenampang ganda untuk tiap meter panjang yang dinyatakan dalam mm².

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):

$$A_v = \frac{b_w s}{3 f_y} \quad (2.91)$$

dimana:

- A_v = luas tulangan geser yang berpenampang ganda dalam mm²
 s = jarak sengkang dalam mm

Rumus ini juga dapat ditulis sebagai berikut⁽¹⁹⁾:

$$A_v = \frac{b_w 1000}{3f_y} \quad (2.92)$$

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:

$$T_u < \frac{\phi\sqrt{f_c'}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2.93)$$

Suatu penampang mampu menerima momen torsi apabila memenuhi syarat:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)} < \phi v_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \quad (2.94)$$

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

$$A_t = \frac{T_n s}{2 A_o f_{yv} \cot \theta} \quad (2.95)$$

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

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

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot^2 \theta \quad (2.96)$$

dimana:

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2

A_o = luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm^2

A_{oh} = luas yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar, mm^2

A_t = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm^2

A_l = luas tulangan longitudinal yang memikul puntir, mm^2

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

2.4.2.3 Perencanaan Struktur Kolom

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 menara ini dipakai perencanaan kolom dengan menggunakan tulangan pada empat sisi penampang kolom (four faces). Perhitungan penulangan kolom dan struktur beton im 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 daktalitas penuh harus memenuhi ⁽²⁵⁾ :

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

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 actual balok yang dihitung terhadap luas tulangan yang sebenarnya ada pada penampang balok yang ditinjau.

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

Perhitungan :

$$1. P_u = P_{u_x} + P_{u_y} - W_{kolom}$$

P_u = P total yang diterima kolom

P_{u_x} = P akibat portal searah sumbu x

P_{u_y} = P akibat portal searah sumbu y

2. Eksentrisitas awal ($e_o > 15 + 0,03 h$)

$$e_{ox} = M_x / P_{u_x} ; \quad e_{oy} = M_y / P_{u_y}$$

M_x = Momen akibat portal searah sumbu x

M_y = Momen akibat portal searah sumbu y

e_{ox} = Eksentrisitas awal terhadap sumbu x

e_{oy} = Eksentrisitas awal terhadap sumbu y

$$3. G_A = [\sum E * I_k * L_k] / [\sum E * I_b * L_b]$$

G_A = faktor penahanan di dua ujung batang

E = modulus elastisitas

I_k = momen inersia kolom

I_b = momen inersia balok

L_k = panjang elemen kolom

L_b = panjang elemen balok

4. $G_A = G_B$ (faktor penahanan ujung atas dan bawah sama besar)

Hasil di atas digunakan untuk mencari K (dari nomogram)

5. Mencari jari-jari girase (r) = $0,3 h$, untuk penampang persegi

6. Kelangsingan (K) = $k * L_u / r$, dengan syarat :

Jika $K < 22$, faktor kelangsingan diabaikan

Jika $K > 22$, faktor kelangsingan diperhitungkan

$$7. P_c = \pi * E * I / (k * L_u)^2$$

P_c = P kritis

C_m = 1 (portal bergoyang)

$$C_{ss_x} = C_m / [1 - P_{u_x} / (\phi * P_c)]$$

$$C_{ss_y} = C_m / [1 - P_{u_y} / (\phi * P_c)]$$

$$M_{u_x} = M_x * C_{ss_x}$$

$$C_{ss_x} = \text{faktor pembesaran momen searah sumbu x}$$

$$M_{u_y} = M_y * C_{ss_y}$$

$$C_{ss_y} = \text{faktor pembesaran momen searah sumbu y}$$

$$8. e_{a_x} = M_{u_x} / P_{u_x}$$

$$e_{a_y} = M_{u_y} / P_{u_y}$$

$$e = e_a + h/2 - d''$$

$$e_x = e_{a_x} + h/2 - d''$$

$$e_y = e_{a_y} + h/2 - d''$$

$$9. ab = (\beta_1 * 600 * d) / (600 + f_y)$$

dimana:

$$\beta_1 = \text{perbandingan blok tegangan terhadap tinggi garis netral}$$

$$ab = \text{tinggi balok tegangan tekan ekivalen penampang beton dalam keadaan balanced.}$$

$$10. a = P / (R_1 * b) \text{ dan } P = P_u / \phi$$

$$a = \text{tinggi blok tegangan tekan ekivalen penampang beton}$$

- Jika $a < ab$; A_s digunakan rumus :

$$A_s = A_s'' = P * \left(\frac{[(e - d) + P/2 * R_1 * B]}{f_y * (d - d')} \right)$$

- Jika $A_s = A_s'$ didapatkan hasil negatif digunakan rumus :

$$A_s = A_s'' = \frac{(P * e - F_b * b * d^2 * R_1 (1 - F_b/2))}{f_y * (d - d')}$$

$$A_s = A_s'' = \frac{P * e - K_b * b * d^2 * R_1}{f_y * (d - d')}$$

- Jika hasil $A_s = A_s'$ masih negatif digunakan rumus :

$$A_{s \text{ total}} = \frac{P - R * A_g}{f_y}$$

- Jika hasil masih negatif digunakan (syarat tulangan 1% - 6%)

$$A_s = 3\% * A_g$$

- Jika A_s hasil perhitungan $< A_s$ minimum, maka gunakan A_s minimum

Pemeriksaan gaya aksial

$$C_b = (600 * d) / (600 + f_y)$$

$$a_b = 0,85 * C_b$$

$$F_b = a_b / d$$

$$K_b = F_b (1 - F_b / 2)$$

$$M_{nb} = 0,85 * f_c' * K_b * b * d^2 + A_s' * f_y (d - d')$$

$$P_{nb} = 0,85 * f_c' * b * a_b$$

$$e_b = M_{nb} / P_{nb}$$

$$e = e_a + h/2 - d''$$

- Jika $0,3 * d + h/2 - d'' < e_b$, maka :

$$P_o = 0,85 * f_c' * (A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}$$

$$P_x = P_o - (e_x/e_b)^2 (P_o - P_{nb})$$

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

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

Dimana :

b = lebar penampang.

h = tinggi penampang.

d = tinggi efektif penampang.

C_b = tinggi blok tegangan tekan penampang beton dalam keadaan balance.

A_b = tinggi blok tegangan tekan ekuivalen penampang beton dalam keadaan balance.

Pi	=	P total yang diterima kolom.
Px	=	P akibat portal searah sumbu x.
Py	=	P akibat portal searah sumbu y.
Mn	=	momen total akibat portal.
Ex	=	eksentrisitas awal.
Ey	=	eksentrisitas akhir.

e. Perencanaan Kolom Terhadap Beban Geser

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

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

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

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 :

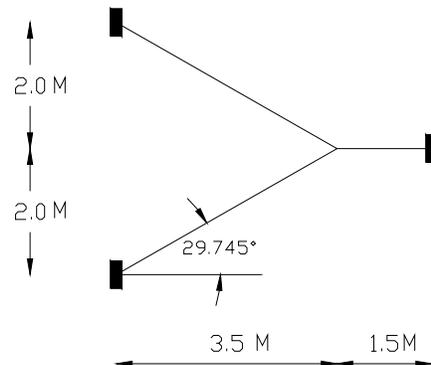
$$A_v = b_w * s / 3 * f_y$$

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

A_v = jumlah luas penampang kedua kaki sengkang.

2.4.3. Perencanaan Tangga

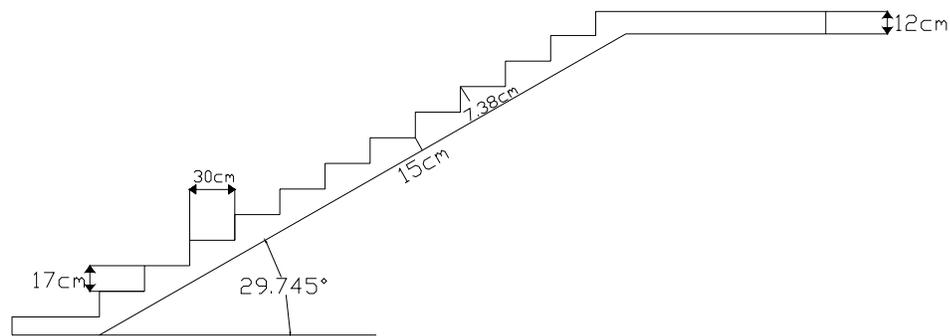
Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dan satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin.



Gambar 2.8 Sketsa tangga

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

- ❖ Tinggi antar lantai
- ❖ Lebar 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

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

$$o = \tan \alpha \times a \quad (2.97)$$

$$2 \times o + a = 61 \sim 65 \quad (2.98)$$

dimana : o = oprade (langkah naik)
 a = 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 pada pelat tangga adalah sebagai berikut ⁽¹⁹⁾ :

- 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 $b \times d^2 \left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right)$ (2.99)

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

e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'c} \right) \quad (2.100)$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.101)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \quad (2.102)$$

g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(As = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.103)$$

2.4.4. 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 (*lift pit*) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus.

Langkah-langkah perencanaan balok perletakkan mesin dan balok pengontrol mesin :

1. Menghitung beban yang bekerja pada balok, berupa beban mati dan beban hidup.
 2. Menghitung momen dan gaya lintang yang bekerja pada balok tersebut..
 3. Menghitung penulangan balok.
- Tulangan utama

Langkah-langkah perhitungan tulangan pada pelat tangga adalah sbb⁽¹⁹⁾ :

- 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 $b \times d^2 \left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right)$ (2.104)

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

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

$$\left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right) \quad (2.105)$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.106)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \quad (2.107)$$

- g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(A_s = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.108)$$

- Tulangan geser

Berdasarkan Rancangan Standar Nasional Indonesia Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung 2002, langkah-langkah perhitungan tulangan geser pada balok adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung nilai kuat geser penampang atau gaya lintang yang bekerja (V_u).

$$(2.109)$$

- b. Menghitung nilai kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

$$(V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d) \quad (2.110)$$

- c. Memeriksa apakah diperlukan tulangan geser minimum

$$\phi \times \frac{V_c}{2} < V_u < \phi \times V_c \quad (2.111)$$

dimana ϕ = faktor reduksi geser = 0,75 (RSNI 2002)

- d. Memeriksa apakah diperlukan tulangan geser

$$V_u > \phi \times V_c \quad (2.112)$$

Bila kondisi (2.135) terjadi, maka :

- e. Mencari jarak tulangan geser (sengkang)

$$\text{Syarat : } s < d/2 \quad (2.113)$$

- f. Mencari luas tulangan geser minimum yang diperlukan ($A_{V_{\min}}$)

$$A_{V_{\min}} = \frac{b \times s}{3 \times f_y}$$

dimana b = lebar balok (mm)

s = jarak tulangan geser (mm)

f_y = tegangan leleh tulangan geser (Mpa)

Bila kondisi (2.136) terjadi, maka :

g. Mencari jarak tulangan geser (sengkang)

$$\text{Syarat : } s < d/2 \quad (2.114)$$

h. Mencari kuat geser nominal tulangan geser (V_s)

$$V_u - V_c = V_s \quad (2.115)$$

i. Mencari luas tulangan geser yang diperlukan (A_v)

$$A_v = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \quad (2.116)$$

dimana : V_s = kuat geser tulangan geser (N)

s = jarak tulangan geser (mm)

f_y = tegangan leleh tulangan geser (Mpa)

d = jarak tulangan geser (mm)

2.5. PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH (SUB STRUCTURE)

Berdasarkan data tanah hasil penyelidikan, beban-beban yang bekerja dan kondisi sekitar proyek, telah dipilih penggunaan pondasi tiang pancang.

Pemilihan sistem pondasi ini didasarkan atas pertimbangan:

1. Beban yang bekerja cukup besar.
2. Pondasi tiang pancang dibuat dengan sistem sentrifugal, menyebabkan beton lebih rapat sehingga dapat menghindari bahaya korosi akibat rembesan air.
3. Pondasi yang digunakan cukup banyak, sehingga penggunaan tiang pancang prategang merupakan pilihan terbaik.

2.5.1. Penentuan Parameter Tanah

Kondisi tanah selalu mempunyai peranan penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah landasan pendukung suatu bangunan. Untuk dapat mengetahui susunan lapisan tanah yang ada, serta sifat - sifatnya secara mendetail, untuk perencanaan suatu bangunan yang akan dibangun maka dilakukan penyelidikan dan penelitian. Pekerjaan penyelidikan dan penelitian tanah ini merupakan penyelidikan yang dilakukan di laboratorium dan lapangan.

Maksud dan penyelidikan dan penelitian tanah adalah melakukan investigasi pondasi rencana bangunan untuk dapat mempelajari susunan lapisan tanah yang ada, serta sifat-sifatnya yang berkaitan dengan jenis bangunan yang akan dibangun di atasnya.

2.5.2. Analisis Daya Dukung Tanah

Analisis Daya dukung mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung tanah (*Bearing Capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dan segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah dan biasanya diberi simbol q_{ult} . Daya dukung ini merupakan kemampuan tanah mendukung beban, dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan. Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, rumusnya adalah:

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

Perancangan pondasi harus dipertimbangkan terhadap keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk terjaminnya stabilitas jangka panjang, perhatian harus diberikan pada perletakan dasar pondasi. Pondasi harus diletakkan pada kedalaman yang cukup untuk menanggulangi resiko adanya erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah dan gangguan tanah di sekitar pondasi⁽¹⁰⁾

2.5.3. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

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:

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

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

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

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 (CPT) 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 :

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

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 $0.2 * \tilde{N}$ 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 Standart Penetration Test. Pengalaman menunjukkan bahwa metode ini memberikan

hasil yang konservatif. Berikut adalah table 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.

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 ⁽¹⁰⁾.

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

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

$$P_{\text{all group}} = Eff * P_{\text{all 1 tiang}} \text{ (daya dukung tiang tunggal)}$$

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 ⁽¹³⁾.

2.5.3.3. Pmax Yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

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

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 Settlement

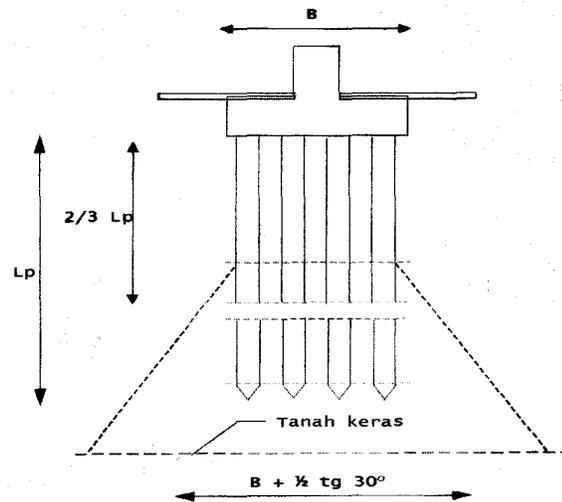
Dalam kelompok tiang pancang (*pile group*) ujung atas tiang-tiang tersebut dihubungkan satu dengan yang lainnya dengan poer yang kaku sehingga merupakan satu kesatuan yang kokoh. Dengan poer ini diharapkan bila kelompok tiang pancang tersebut dibebani secara merata akan terjadi penurunan yang merata pula.

Penurunan kelompok tiang pancang yang dipancang sampai lapisan tanah keras akan kecil sehingga tidak mempengaruhi bangunan di atasnya. Kecuali bila di bawah lapisan keras tersebut terdapat lapisan lempung, maka penurunan kelompok tiang pancang tersebut perlu diperhitungkan.

Pada perhitungan penurunan kelompok tiang pancang dengan tahanan ujung diperhitungkan merata pada bidang yang melalui ujung bawah tiang. Kemudian tegangan ini disebarakan merata ke lapisan tanah sebelah bawah dengan sudut penyebaran 300.

Untuk kelompok tiang pancang yang daya dukungnya didasarkan atas geseran antara tiang dengan tanah (*friction pile*) perlu diadakan perhitungan settlement. Tegangan pada tanah akibat berat bangunan dan muatannya dapat diperhitungkan merata pada kedalaman $2/3 L_p$ (panjang tiang pancang) dan disebarakan dengan sudut penyebaran 300.

Gambar dibawah ini menunjukkan mekanisme penurunan pada tiang pancang.



Gambar 2.10 Penurunan Tiang Pancang

Keterangan:

L_p = kedalaman tiang pancang

B = lebar poer

- Kemudian dihitung settlement untuk tiap - tiap dengan cara sebagai berikut:

Dihitung P_o dan P potongan masing - masing lapisan, dimana:

P_o = tegangan tanah semula sebelum ada bangunan

ΔP = penambahan tegangan setelah ada bangunan

Misalnya untuk lapisan 1 di titik I adalah:

$$P_o = \gamma_1 * h + \gamma_2 * (h - \frac{1}{2} h) \text{ kg/cm}^2$$

$$q = \frac{W}{BL}$$

Dimana :

B = lebar kelompok tiang

L = panjang kelompok tiang

$$\Delta P = \frac{(B * L)q}{\left(B + \frac{1}{2} h * \tan 30^\circ\right) \left(L + \frac{1}{2} h * \tan 30^\circ\right)}$$

Tegangan tanah setelah bangunan selesai $P_1 = P_o + \Delta P$

Dengan menggunakan P_0 dan P_1 dihitung penurunan Δh untuk masing-masing lapisan. Untuk dapat menghitung Δh harus ada grafik penurunan terhadap beban dan percobaan konsolidasi untuk tiap-tiap lapisan tanah di bawah pondasi tersebut. Jadi settlement untuk lapisan 1 dapat dihitung dengan rumus ⁽¹³⁾:

$$S = \frac{\Delta h}{h} * H$$

dimana :

S = settlement

Δh = penurunan

h = tebal contoh tanah untuk percobaan konsolidasi

H = tebal lapisan yang ditinjau

Menurut Buisman “*index compressibility*” dan pasir dapat ditentukan dengan rumus:

$$C = \frac{1.5P}{P_0}$$

dimana

P = nilai conus dan percobaan sondir (kg/cm^2)

P_0 = tekanan vertikal path dalam yang bersangkutan

Settlement:

$$S = \frac{H}{C} * \log \frac{P_1}{P_0}$$

dimana :

S = settlement

H = tebal lapisan yang ditinjau

P_1 = tekanan vertikal efektif setelah bangunan selesai

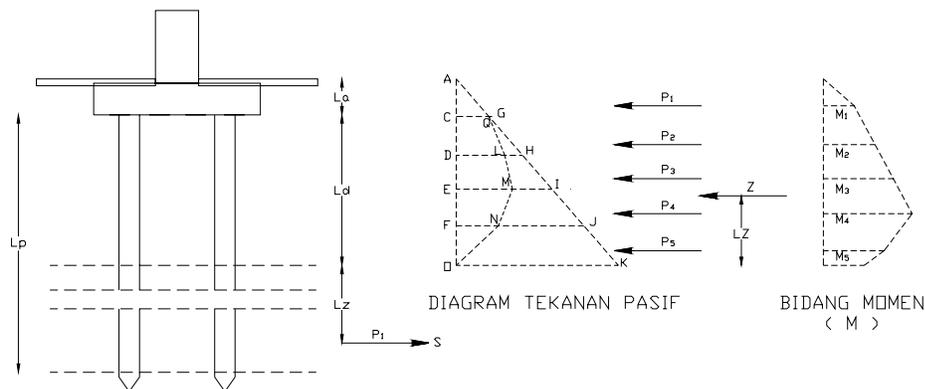
P_0 = tekanan vertikal efektif sebelum ada bangunan

C = *index of compressibility*

2.5.3.5. Kontrol Gaya Horisontal

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 2.11 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:

$$CD = DE = EF = FO$$

$$OK = (\chi_p \cdot y \cdot L_a) B$$

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 $OS = L_z$ $H(L_h + L_z) - Z \cdot I_z = 0$

Gaya horisontal yang diijinkan:

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

$$L_h = L_a + L_d$$

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

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

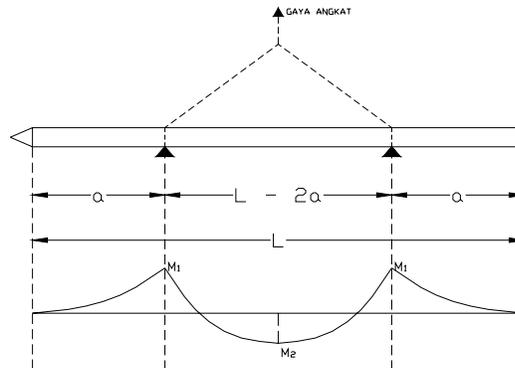
Apabila tekanan tanah pasif tidak kuat menahan beban horisontal sementara, maka beban ini harus diterima oleh tiang pancang miring (*batter pile*).

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.

2.5.3.6. Penulangan Tiang Pancang

Kondisi I : Untuk pengangkatan tiang pancang⁽¹⁰⁾



Gambar 2.12 Pengangkatan Tiang Pancang dengan 2 Titik

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

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

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

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

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

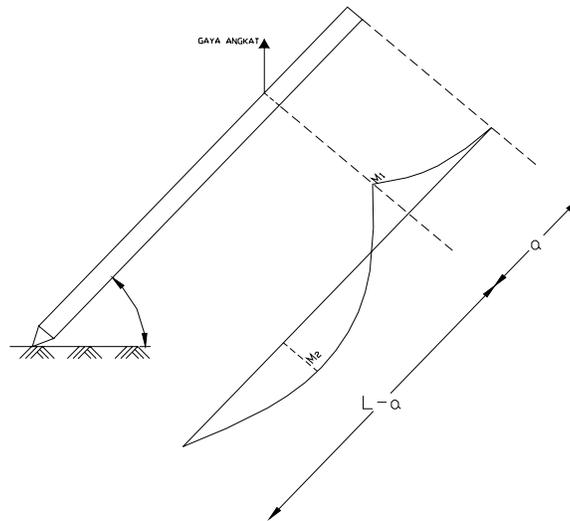
$$a_{1,2} = \frac{-4L \pm \sqrt{16L^2 + 16L^2}}{8}$$

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

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

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

Kondisi II : Untuk pemancangan tiang pancang ⁽¹⁰⁾



Gambar 2.13 Pengangkatan Tiang Pancang dengan 1 Titik

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

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

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

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

$$R_1 - qx = 0$$

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

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

$$M_1 = M_2$$

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

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

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

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

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

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

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

Konsolidasi

Konsolidasi adalah ⁽²⁶⁾ pemampatan tanah jenuh air yang berakibat pengurangan kadar air, tanpa penggantian air tersebut dengan udara. Proses konsolidasi akan berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah lenyap. Akibat proses konsolidasi dapat terjadi penurunan lapisan tanah dan bangunan di atasnya. Penurunan yang terjadi pada tanah lempung cukup besar dan waktunya lama, karena daya rembesan/permeabilitasnya rendah. Sebaliknya penurunan tanah pasir relatif kecil dan berjalan cepat sehingga pada waktu pembangunan di atas pasir sudah selesai dapat dianggap penurunannya telah selesai pula.

Jika lapisan tanah dibebani maka akan terjadi regangan atau penurunan. Regangan yang terjadi disebabkan oleh perubahan struktur tanah maupun akibat pengurangan rongga pori. Jumlah regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanah. Penurunan akibat beban merupakan jumlah total dari penurunan segera (*settlement*) dan penurunan konsolidasi

Perlu dicari waktu proses berlangsungnya konsolidasi. Akan terjadi penurunan maksimum apabila konsolidasi telah mencapai 100 persen. Derajat konsolidasi diperhitungkan sbb :

$$U = (St / Sf) \times 100 \%$$

$$U = \frac{e_0 - e_t}{e_0 - e_1} \times 100 \%$$

$$e_0 - e_1$$

- dimana U = derajat / persentase konsolidasi (%)
 St = penurunan pada saat t
 Sf = penurunan akhir
 e₀ = angka pori sebelum konsolidasi
 e₁ = angka pori pada akhir konsolidasi
 e = angka pori pada saat t

Dengan rumus bila : U < 60 % ----- $T_v = (\pi / 4) U^2$

U > 60 % ----- $T_v = -0.9332 \log (1 - U) - 0.0851$

Maka $t_n = \frac{T_{v_n} \times d^2}{C_v}$

- Dimana t_n = waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi n
 d = 0.5 tebal lapisan tanah
 C_v = koefisien konsolidasi