

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Struktur bangunan merupakan sarana untuk menyalurkan beban yang diakibatkan penggunaan dan atau kehadiran bangunan di atas tanah. Struktur terdiri dari unsur-unsur atau elemen-elemen yang terintegrasi dan berfungsi sebagai satu kesatuan utuh untuk menyalurkan semua jenis beban yang diantisipasi ke tanah.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari struktur atas yang meliputi atap kubah, pelat, balok, kolom, *shear wall*, tangga, *ramp* dan lift sampai dengan perhitungan struktur bawah yang terdiri dari pondasi tiang pancang. Tinjauan pustaka dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang lebih 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 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 mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional gedung. 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 :

1. Aspek arsitektural

Aspek arsitektural dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan jiwa manusia akan sesuatu yang indah. Bentuk-bentuk struktur yang

direncanakan sudah semestinya mengacu pada pemenuhan kebutuhan yang dimaksud.

2. Aspek fungsional

Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi daripada bangunan tersebut. Dalam kaitannya dengan penggunaan ruang, aspek fungsional sangat mempengaruhi besarnya dimensi bangunan yang direncanakan.

3. 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.

4. Faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Biasanya dari suatu gedung dapat digunakan beberapa sistem struktur yang bisa digunakan, maka faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang dipilih.

5. Faktor kemampuan struktur pada 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 :

- Perencanaan *outlet* yang memenuhi persyaratan
- Penggunaan material tahan api terutama untuk instalasi-instalasi penting
- Fasilitas penanggulangan api di setiap lantai
- *Warning system* terhadap api dan asap
- Pengaturan ventilasi yang memadai

6. Aspek lingkungan

Aspek lain yang ikut menentukan dalam perancangan dan pelaksanaan suatu proyek adalah aspek lingkungan. Dengan adanya suatu proyek yang diharapkan akan memperbaiki kondisi lingkungan dan kemasyarakatan. Sebagai contoh dalam perencanaan lokasi dan

denah haruslah mempertimbangkan kondisi lingkungan apakah rencana kita nantinya akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar, baik secara fisik maupun kemasyarakatan, atau bahkan sebaliknya akan dapat menimbulkan dampak yang positif.

2.2.1. Pemilihan Struktur Atas (*Upper Structure*)

Dalam perencanaan struktur atas (*upper structure*) gedung apartemen ini menggunakan struktur beton. Struktur ini paling banyak digunakan bila dibandingkan dengan struktur lainnya karena struktur ini lebih monolit dan mempunyai umur rencana yang cukup panjang. Struktur beton ada beberapa macam, yaitu :

- **Struktur Beton Bertulang Cor Di Tempat** (*Cast in Place Reinforced Concrete Structure*)

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

- **Struktur Beton Pracetak** (*Precast Concrete Structure*)

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen pracetak. Struktur beton tersebut dapat dibuat di pabrik atau di lokasi proyek dengan disediakan area khusus untuk pembuatan beton pracetak. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

- **Struktur Beton Prategang** (*Prestressed Concrete Structure*)

Penggunaan sistem prategang pada elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi daripada struktur dan akan mempengaruhi karakteristik respon terhadap gempa. Struktur ini digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai tingkat menengah.

Untuk perencanaan struktur gedung apartemen ini tidak menggunakan struktur beton pracetak dan prategang, tetapi dengan menggunakan struktur beton bertulang cor di tempat (*cast in place*). Hal ini

dikarenakan kemonolitan struktur tersebut dan ketahanan struktur terhadap bahaya gempa.

2.2.2. Pemilihan Struktur Bawah (*Sub Structure*)

Pemilihan jenis struktur bawah (*sub structure*) yang digunakan menurut Suyono (1984) didasarkan kepada beberapa pertimbangan, yaitu :

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 penyebaran 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.

Secara umum jenis-jenis struktur bawah dibagi dua bagian, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Dalam perencanaan struktur bawah gedung apartemen ini menggunakan pondasi dalam Pondasi ini terdiri antara lain : pondasi tiang PC, pondasi tiang mini, pondasi tiang bor, pondasi tiang mikro. Kesemuanya itu merupakan tiang beton pracetak. Diantara pondasi tersebut yang akan digunakan adalah pondasi tiang pancang beton. Hal ini dikarenakan pertimbangan keadaan tanah di lokasi bangunan yang cukup dalam keberadaan tanah kerasnya.

2.3. Konsep Pembebanan

2.3.1 Beban-Beban Pada Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur bangunan, perlu adanya 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.

1. Beban Statis

Beban statis merupakan beban yang relatif konstan atau beban yang memiliki perubahan intensitas beban terhadap waktu berjalan lambat. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut :

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

Beban mati adalah beban yang dipikul oleh struktur sebagai akibat dari berat sendiri struktur dan akibat berat elemen-elemen struktur dan merupakan satu kesatuan.

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
Partisi	130 kg / m ²

Sumber : Peraturan Pembebanan untuk Rumah Dan Gedung 1983

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

Beban hidup adalah beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) merupakan beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, barang yang disimpan, dan sebagainya. Beban yang diakibatkan oleh salju atau air hujan, juga termasuk ke dalam beban hidup. Semua beban hidup

mempunyai karakteristik dapat berpindah atau, bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat juga berarah horisontal. Beban hidup mempunyai fluktuasi beban yang bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban-beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati.

Tabel 2.2. Beban Hidup pada Struktur

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai hotel, kantor	250 kg / m ²
Tangga dan bordes	300 kg / m ²
Plat atap	100 kg / m ²
Lantai ruang alat dan mesin	400 kg / m ²
<p>Beban hidup pada atap/bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang paling menentukan di antara dua macam beban berikut :</p> <p>a. Beban terbagi rata/m² bidang datar berasal dari beban hujan sebesar $(40-0,8\alpha)$ kg/m², α= sudut kemiringan atap(°). Beban tersebut tidak perlu diambil ≥ 20 kg/m² dan tidak perlu ditinjau bila $\alpha \geq 50^\circ$</p> <p>b. Beban terpusat dari seorang pekerja/pemadam kebakaran dengan peralatannya minimum 100 kg</p>	

Sumber : Peraturan Pembebanan untuk Rumah Dan Gedung 1983

2. Beban Dinamik

Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (*unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat.

a) Beban Gempa (*Earthquake Load/EQ*)

Gempa merupakan fenomena getaran yang diakibatkan oleh benturan atau gesekan lempeng tektonik (*plate tectonic*) bumi yang terjadi di daerah patahan (*fault zone*). Pada saat terjadi benturan antara lempeng-lempeng aktif tektonik bumi, akan terjadi pelepasan energi gempa yang

berupa gelombang-gelombang energi yang merambat di dalam atau di permukaan bumi. 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 yang disebut gaya inersia. Besar gaya tersebut bergantung pada banyak faktor yaitu :

- 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

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, besarnya beban gempa nominal yang diperhitungkan ditentukan oleh 3 hal, yaitu: oleh besarnya gempa rencana, oleh tingkat daktilitas yang dimiliki struktur, dan oleh nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur. Gempa Rencana adalah gempa yang peluang atau risiko terjadinya dalam periode umur rencana bangunan 50 tahun adalah 10% ($R_N = 10\%$), atau gempa yang periode ulangnya adalah 500 tahun ($T_R = 500$ tahun).

Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia, yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03 – 1726 – 2003), besarnya beban gempa horisontal (V) yang bekerja pada struktur bangunan, ditentukan menurut persamaan :

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

Dimana :

C : Koefisien gempa, yang besarnya tergantung wilayah gempa dan waktu getar struktur. Harga C ditentukan dari Diagram Respon Spektrum, setelah terlebih dahulu dihitung waktu getar struktur.

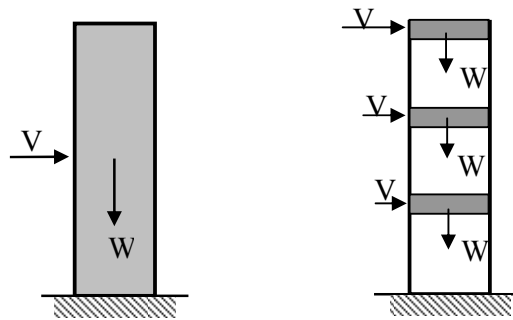
I : Faktor keutamaan struktur

R : Faktor reduksi gempa

W_t : ditetapkan sebagai jumlah dari beban-beban berikut :

- Beban mati total dari struktur bangunan gedung
- Jika digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai, maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0,5 kPa
- Pada gudang-gudang dan tempat penyimpanan barang, maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan
- Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan

Faktor-faktor tersebut harus sudah diperhitungkan dengan tepat untuk menghasilkan perencanaan struktur gedung tahan gempa yang benar-benar baik.



Gambar 2.1. Beban Gempa pada Struktur Bangunan

- **Faktor Keutamaan Struktur (I)**

Faktor keutamaan struktur adalah suatu koefisien yang diadakan untuk memperpanjang waktu ulang dari kerusakan struktur – struktur gedung yang relatif lebih utama, untuk menanamkan modal yang relatif besar pada gedung itu. Gedung tersebut diharapkan dapat berdiri jauh lebih lama dari gedung – gedung pada umumnya. Waktu ulang dari kerusakan struktur gedung akibat gempa akan diperpanjang dengan pemakaian suatu faktor keutamaan. Besarnya faktor keutamaan struktur untuk beberapa jenis struktur bangunan, diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Faktor Keutamaan Struktur (I)

Kategori gedung / bangunan	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	$I (=I_1 \cdot I_2)$
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan Monumental	1,0	1,6	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	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Sumber :SNI 03 - 1726 – 2003

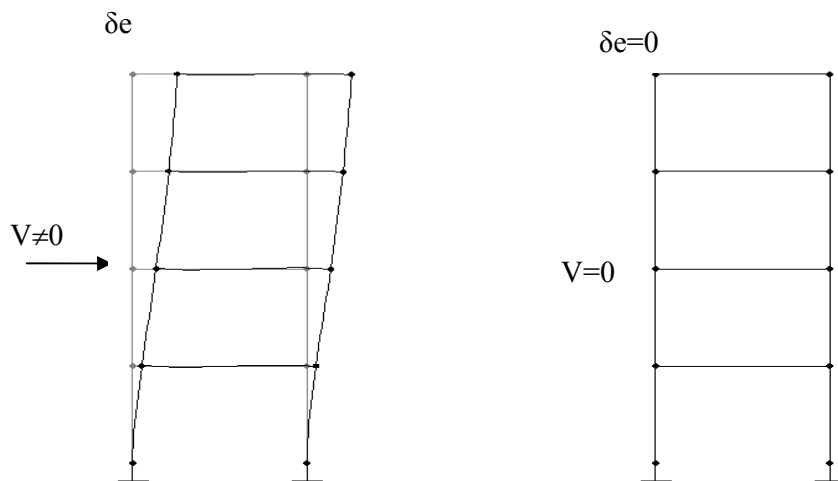
• **Daktlitas Struktur**

Pada umumnya struktur teknik sipil dianggap bersifat elastis sempurna, artinya bila struktur mengalami perubahan bentuk atau berdeformasi sebesar 1 mm oleh beban sebesar 1 ton, maka struktur akan berdeformasi sebesar 2 mm jika dibebani oleh beban sebesar 2 ton. Hubungan antara beban dan deformasi yang terjadi pada struktur, dianggap elastis sempurna berupa hubungan linier. Jika beban tersebut dikurangi besarnya sampai dengan nol, maka deformasi pada struktur akan hilang pula (deformasi menjadi nol). Jika beban diberikan pada arah yang berlawanan dengan arah beban semula, maka deformasi struktur akan negatif pula, dan besarnya akan sebanding dengan besarnya beban. Pada kondisi seperti ini struktur mengalami deformasi elastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang apabila bebannya dihilangkan, maka deformasi tersebut akan hilang, dan struktur akan kembali kepada bentuknya yang semula.

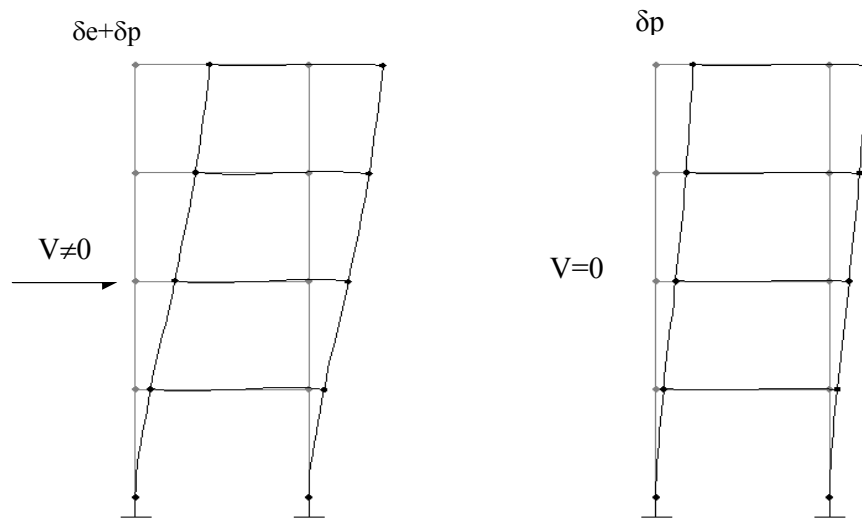
Pada struktur yang bersifat getas (*brittle*), maka jika beban yang bekerja pada struktur sedikit melampaui batas maksimum kekuatan elastisnya, maka struktur tersebut akan patah atau runtuh.

Pada struktur yang daktail (*ductile*) atau liat, jika beban yang ada melampaui batas maksimum kekuatan elastisnya, maka struktur tidak akan runtuh, tetapi struktur akan mengalami deformasi plastis (*inelastis*). Deformasi plastis adalah deformasi yang apabila bebannya dihilangkan, maka deformasi tersebut tidak akan hilang. Pada kondisi plastis ini struktur akan mengalami deformasi yang bersifat permanen, atau struktur tidak dapat kembali kepada bentuknya yang semula. Pada struktur yang daktail, meskipun terjadi deformasi yang permanen, tetapi struktur tidak mengalami keruntuhan.

Pada kenyataannya, jika suatu beban bekerja pada struktur, maka pada tahap awal, struktur akan berdeformasi secara elastis. Jika beban yang bekerja terus bertambah besar, maka setelah batas elastis dari bahan struktur dilampaui, struktur kemudian akan berdeformasi secara plastis (*inelastis*). Dengan demikian pada struktur akan terjadi deformasi elastis dan deformasi plastis, sehingga jika beban yang bekerja dihilangkan, maka hanya sebagian saja dari deformasi yang hilang (deformasi elastis = δe), sedangkan sebagian deformasi akan bersifat permanen (deformasi plastis = δp). Perilaku deformasi elastis dan plastis dari struktur diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2.a. Deformasi elastis pada struktur



Gambar 2.2.b. Deformasi plastis (inelastis) pada struktur

Dari uraian di atas tampak bahwa, pada struktur yang daktail, beban yang besar akibat gempa tidak akan menyebabkan keruntuhan dari struktur, lebih-lebih karena beban gempa merupakan beban dinamis yang arahnya bolak-balik. Beban gempa yang besar akan menyebabkan deformasi yang permanen dari struktur akibat rusaknya elemen-elemen dari struktur seperti balok dan kolom. Pada kondisi seperti ini, walaupun elemen-elemen struktur bangunan mengalami kerusakan, namun secara keseluruhan struktur tidak mengalami keruntuhan.

Energi gempa yang bekerja pada struktur bangunan, akan dirubah menjadi energi kinetik akibat getaran dari massa struktur, energi yang dihamburkan akibat adanya pengaruh redaman dari struktur, dan energi yang dipancarkan oleh bagian-bagian struktur yang mengalami deformasi plastis. Dengan demikian sistem struktur yang bersifat daktail dapat membatasi besarnya energi gempa yang masuk pada struktur, sehingga pengaruh gempa dapat berkurang.

Faktor daktilitas struktur (μ) adalah rasio antara simpangan maksimum (δ_m) struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan, dengan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama (δ_y), yaitu:

$$1,0 \leq \mu = \frac{\delta\mu}{\delta y} \leq \mu_m \quad (2.2)$$

Pada persamaan ini, $\mu = 1,0$ adalah nilai faktor daktilitas untuk struktur bangunan gedung yang berperilaku elastik penuh, sedangkan μ_m adalah nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur bangunan gedung yang bersangkutan.

Nilai faktor daktilitas struktur gedung μ tidak boleh diambil lebih besar dari nilai faktor daktilitas maksimum μ_m . Dalam tabel 2.4 ditetapkan nilai μ_m berikut faktor reduksi maksimum R_m yang bersangkutan.

Tabel 2.4. Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f_1
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem 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 di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2,8	4,4	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 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 eksentris baja (RBE)	4,3	7,0
	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 & 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)	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 sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB saja	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 & 6)	4,0	6,5	2,8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	2,6	4,2	2,8
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8
b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8	
5. Sistem struktur 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 biasa (tidak untuk Wilayah 3, 4, 5 & 6)	3,4	5,5	2,8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur 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

Sumber : SNI 1726 - 2002

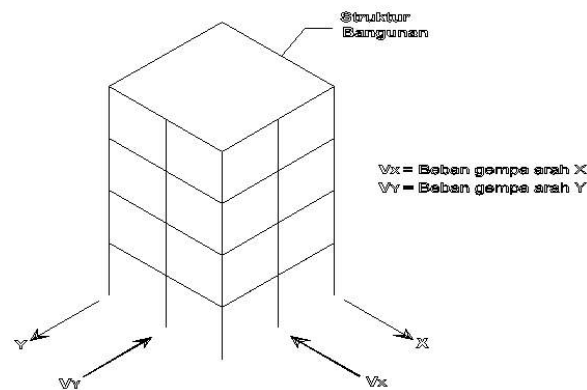
• Arah Pembebanan Gempa

Pengaruh Beban Gempa Horisontal

Pengaruh beban gempa horisontal dapat bekerja pada masing-masing arah dari sumbu utama bangunan, atau pada kedua arah sumbu utama dari struktur bangunan secara bersamaan. Pengaruh bekerjanya beban gempa secara bersamaan pada kedua arah sumbu utama, dapat sangat membahayakan kekuatan struktur. Oleh karena itu, agar sistem struktur tetap mampu untuk menahan beban gempa yang bekerja, maka unsur-unsur vertikal utama (kolom) dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan gaya horisontal, perlu direncanakan kekuatannya terhadap

pengaruh 100% dari beban gempa dalam satu arah sumbu utama bangunan, dikombinasikan dengan pengaruh 30% dari beban gempa dalam arah tegak lurus padanya. Kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau untuk merencanakan kekuatan dari kolom-kolom struktur adalah :

Beban gravitasi \pm 100% beban gempa arah X \pm 30% beban gempa arah Y
Beban gravitasi \pm 30% beban gempa arah X \pm 100% beban gempa arah Y



Gambar 2.3. Permodelan Arah Beban Gempa pada Struktur

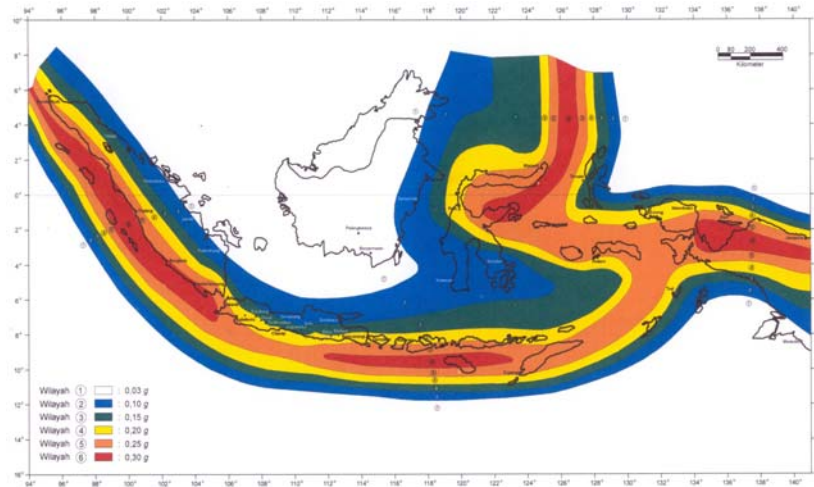
Pengaruh Beban Gempa Vertikal.

Gerakan tanah kearah vertikal ini dapat mengakibatkan pengaruh beban gempa berarah vertikal yang bekerja pada struktur bangunan. Meskipun dari beberapa pengalaman gempa menunjukkan mekanisme ini, tapi sampai saat ini respon dari struktur bangunan terhadap gerakan tersebut belum banyak diketahui. Pada umumnya, tinjauan perencanaan struktur terhadap pengaruh beban gempa arah vertikal ini dapat diabaikan, dengan anggapan bahwa elemen-elemen dari struktur telah direncanakan berdasarkan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) yang arahnya vertikal ke bawah.

• Koefisien Gempa Dasar (C)

Salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan adalah faktor wilayah gempa. Dengan demikian, besar kecilnya beban gempa, tergantung juga pada lokasi dimana struktur bangunan tersebut akan didirikan. Indonesia

ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3, dimana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kondisi kegempaan paling rendah, dan wilayah gempa 6 adalah wilayah dengan kegempaan paling tinggi.



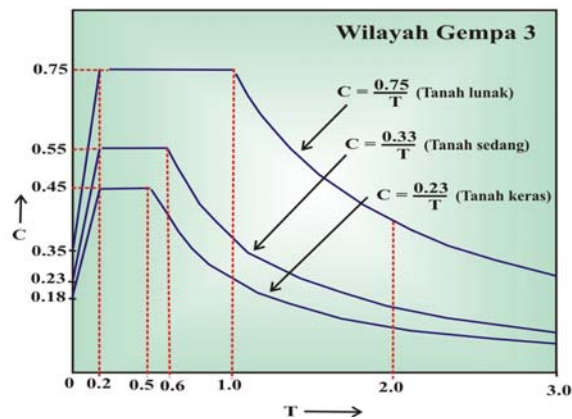
Gambar 2.4. Pembagian Daerah Gempa di Indonesia

Seperti pada Gambar 2.4. Jakarta termasuk daerah gempa III. Secara umum dapat dikatakan bahwa koefisien gempa dasar C utamanya dipengaruhi oleh daerah gempa, periode getar T dan jenis tanah. Untuk menentukan pengaruh gempa rencana pada struktur gedung, yaitu berupa beban geser dasar nominal statik ekuivalen pada struktur bangunan gedung beraturan, dan gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam pertama pada struktur bangunan gedung tidak beraturan, untuk masing-masing wilayah gempa ditetapkan Spektrum Respons Gempa Rencana C - T seperti ditunjukkan dalam gambar 2.5. Dalam gambar tersebut C adalah Faktor Respons Gempa yang dinyatakan dalam percepatan gravitasi, dan T adalah waktu getar alami struktur gedung yang dinyatakan dalam detik.

Tabel 2.5. Spektrum Respons Gempa Rencana

Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0,5 \text{ det}$		Tanah Sedang $T_c = 0,6 \text{ det.}$		Tanah Lunak $T_c = 1,0 \text{ det.}$	
	A_m	A_r	A_m	A_r	A_m	A_r
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95

Sumber : SNI 1726 -2002



Gambar 2.5. Spektrum Respon Wilayah Gempa III

Secara umum spektrum respons adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem satu derajat kebebasan (SDK) akibat suatu gempa masukan tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami sistem SDK tersebut. Spektrum respons C-T yang ditetapkan untuk masing-masing Wilayah Gempa, adalah suatu diagram yang memberikan hubungan antara percepatan respons maksimum (Faktor Respons Gempa) C dan waktu getar alami T sistem SDK akibat gempa rencana, dimana sistem SDK tersebut dianggap memiliki rasio redaman kritis sebesar 5%.

• **Jenis Tanah**

Selanjutnya tiap-tiap daerah gempa akan mempunyai spektrum respon sendiri-sendiri. Menurut SNI 03 - 1726 - 2003, ada empat jenis tanah dasar harus dibedakan dalam memilih harga C, yaitu tanah keras, tanah sedang, tanah lunak, dan tanah khusus. Definisi dari jenis tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak dapat ditentukan berdasarkan 3 kriteria, yaitu :

- *Standard Penetration Test* (N)
- Kecepatan rambat gelombang geser (Vs)
- Kekuatan geser tanah (Su)

Definisi dari jenis-jenis tanah tersebut ditentukan atas tiga (3) kriteria, yaitu Vs, N dan kekuatan geser tanah (Su). Untuk menetapkan jenis tanah minimal tersedia 2 dari 3 kriteria, dimana kriteria yang menghasilkan jenis tanah yang lebih lunak adalah yang menentukan.

Tabel 2.6. Jenis tanah berdasarkan SNI 03 - 1726 - 2003

Jenis tanah	Vs (m/dt)	N	Su (Kpa)
Keras	$Vs \geq 350$	$N \geq 50$	$Su \geq 100$
Sedang	$175 \leq Vs < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq Su < 100$
Lunak	$Vs < 175$	$N < 15$	$Su < 50$
Khusus	Diperlukan evaluasi khusus ditiap lokasi		

Sumber : SNI 03 - 1726 - 2003

Jenis tanah ditetapkan sebagai tanah keras, tanah sedang, atau tanah lunak apabila untuk tanah setebal maksimum 30 meter paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam tabel di atas.

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / V_s} \quad (2.3) \quad \bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / N_i} \quad (2.4) \quad \bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / S_u} \quad (2.5)$$

Dimana : N = hasil *Standard penetration test*

Vs = kecepatan rambat gelombang geser

Su = kekuatan geser tanah

t_i = tebal lapisan tanah ke – i

- **Periode Getar (T)**

Periode getar yang mempunyai respons struktur terhadap getaran gempa besarnya dipengaruhi oleh masa dan kekakuan struktur. Struktur yang kaku akan mempunyai periode getar yang lebih pendek dibandingkan struktur yang fleksibel.

Untuk mencegah struktur yang terlalu fleksibel, nilai periode waktu getar struktur harus dibatasi. Dalam SNI 03 – 1726 – 2003 diberikan batasan sebagai berikut :

2.3.2. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Untuk perencanaan beton bertulang, kombinasi pembebanan ditentukan berdasarkan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 2847 – 2002) sebagai berikut :

Kombinasi Pembebanan Tetap

Pada kombinasi pembebanan tetap ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah

$$U = 1.4 D \quad (2.7)$$

$$U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (A \text{ atau } R) \quad (2.8)$$

Kombinasi Pembebanan Sementara

Pada kombinasi pembebanan sementara ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah

$$U = 1.2 D + 1.0 L \pm 1.6 W + 0.5 (A \text{ atau } R) \quad (2.9)$$

$$U = 0.9 D \pm 1.6 W \quad (2.10)$$

$$U = 1.2 D + 1.0 L \pm 1.0 E \quad (2.11)$$

$$U = 0.9 D \pm 1.0 W \quad (2.12)$$

Dimana : D = beban mati

L = beban hidup

A = beban atap

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

Koefisien 1.2 dan 1.6 merupakan faktor pengali dari beban-beban tersebut, yang disebut faktor beban (*load factor*), sedangkan koefisien 0.5 dan 0.9 merupakan faktor reduksi.

Dalam perencanaan struktur gedung ini digunakan 3 macam kombinasi pembebanan, yaitu :

$$\text{Kombinasi 1} = 1,2 DL + 1,6 LL \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi 2} &= 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 (I/R) Ex + 0,3 (I/R) Ey \\ &= 1,2 DL + 1,0 LL + 0,118 Ex + 0,039 Ey \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi 3} &= 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 (I/R) Ex + 1,0 (I/R) Ey \\ &= 1,2 DL + 1,0 LL + 0,039 Ex + 0,118 Ey \end{aligned} \quad (2.15)$$

2.3.3. Faktor Reduksi Kekuatan

Untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu, maka digunakan Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan. Dalam SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 11.3 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dan perhitungan struktur.

Tabel 2.8. Reduksi Kekuatan

Kondisi Pembebanan	Faktor Redusi
Beban lentur tanpa gaya aksial	0.80
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
Geser dan Torsi	0.75
Tumpuan Pada Beton	0.65

Sumber : SNI 03 – 2847 – 2002

2.4. Konsep Desain/Perencanaan Struktur

Konsep tersebut merupakan dasar teori perencanaan serta 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.

2.4.1. 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.

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.

2.4.1.1. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

pengaruh beban gempa terhadap struktur dapat diperhitungkan dengan Metode analisis yaitu sebagai berikut :

1) Metode Analisis Statis

Metode Analisis Statis dapat menyederhanakan dalam penentuan pengaruh gempa yang 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 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.

2) Metode Analisis Dinamis

Analisis Dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Karakteristik struktur bangunan yang perlu dilakukan analisis dinamik adalah sebagai berikut :

- Gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan.
- Gedung dengan loncatan – loncatan bidang muka yang besar.
- Gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.
- 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*).

2.4.1.2. Pemilihan Cara Analisis

Pemilihan metoda analisis untuk perencanaan struktur gedung tahan gempa, ditentukan berdasarkan konfigurasi struktur dan fungsi bangunan yang berkaitan dengan tanah dasar dan wilayah kegempaan.

1. Perancangan struktur bangunan yang kecil dan tidak bertingkat serta elemen – elemen non struktural, tidak diperlukan adanya analisa terhadap pengaruh beban gempa.
2. Perancangan beban gempa untuk bangunan yang berukuran sedang dapat menggunakan analisa beban statik ekuivalen. Hal ini disarankan untuk memeriksa gaya – gaya gempa yang bekerja pada struktur dengan menggunakan desain yang sesuai dengan kondisi struktur.
3. Perancangan struktur bangunan yang besar dan penting dengan distribusi kekakuan dan massa yang tidak merata ke arah vertikal dengan menggunakan analisa dinamik.
4. Perancangan struktur bangunan yang besar dan penting, konfigurasi struktur sangat tidak beraturan dengan tinggi lebih dari 40 meter, analisa dinamik dan inelastik diperlukan untuk memastikan bahwa struktur tersebut aman terhadap gaya gempa.

Berdasarkan ketentuan di atas, maka perencanaan struktur gedung dalam tugas akhir ini menggunakan Analisis Ragam Spektrum Respon (metode analisa dinamis).

2.4.2. 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.

2.4.3. Pemilihan Material

Spesifikasi bahan/material yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung ini adalah sebagai berikut :

Beton	:		
$f_c = 35$ Mpa			$E_c = 25742,96$ Mpa
Baja	:		
Tul. Utama	:	$f_y = 400$ Mpa	$E_s = 210000$ Mpa
Tul.Geser	:	$f_y = 240$ Mpa	$E_s = 210000$ Mpa

2.5. Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

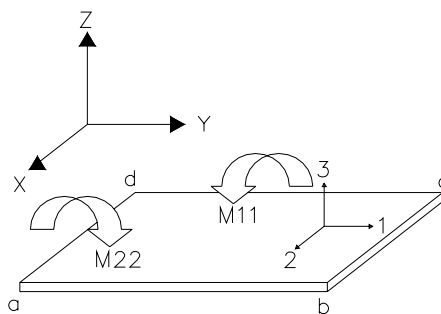
Struktur atas adalah struktur bangunan dalam hal ini adalah bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dari struktur sekunder seperti pelat, tangga, lift, balok anak dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok, kolom, pelat dan *shear wall*.

2.5.1. 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 3, maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel pelat. 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 dan balok yang pendek (penulangan satu arah).

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



Gambar 2.7. Arah sumbu lokal dan sumbu global pada elemen 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 SNI 03 - 2847 - 2002).

Memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada pelat lantai (q_u), yang terdiri dari beban mati (DL) dan beban hidup (LL).

$$h_{\min} \geq \frac{\text{Ln} \left(0.8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2.16)$$

$$h_{\max} \geq \frac{\text{Ln} * \left(0.8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36} \quad (2.17)$$

dan tebal tidak boleh kurang dari 90 mm

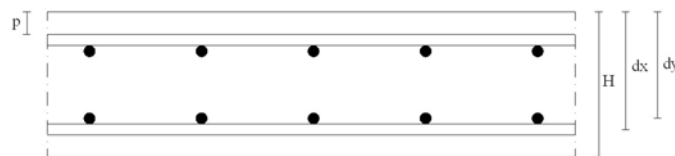
$$\text{Dimana: } \beta = L_y / L_x, \quad (2.18)$$

$\beta > 3$: one way slab

$\beta \leq 3$: two way slab

Ln = panjang sisi terpanjang

3. Memperhitungkan beban - beban yang bekerja pada pelat dengan kombinasi pembebanan : 1,2 DL + 1,6 LL
4. Tentukan momen yang menentukan (M_u) dengan bantuan program SAP 2000
5. Hitung penulangan (arah-x dan arah-y)
Data-data yang diperlukan : h, tebal selimut beton (p), M_u , diameter tulangan, tinggi efektif (dx dan dy).
6. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.



Gambar 2.8. Tinggi Efektif Pelat

$$dx = h - p - \frac{1}{2} \emptyset \quad (2.19)$$

$$dy = h - p - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \quad (2.20)$$

$$7. \text{ Tentukan momen yang menentukan } \frac{Mu}{b * d^2} \quad (2.21)$$

Dimana : Mu = momen yang terjadi

b = lebar pelat per meter

d = tinggi efektif pelat

8. Menentukan harga ρ berdasarkan tabel 5.1.d. "Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang"

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

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau lihat tabel 7 CUR 1} \quad (2.22)$$

$$\rho_{max} = \frac{\beta_1 \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \text{ atau lihat tabel 8 CUR 1} \quad (2.23)$$

Dimana : ρ_{min} = rasio penulangan minimum

ρ_{max} = rasio penulangan maksimum

$f'c$ = kuat tekan beton

β_1 = 0,85 untuk $f'c \leq 30$ Mpa

β_1 = 0,81 untuk $f'c = 35$ Mpa

10. Menghitung luas tulangan (As) untuk masing - masing arah x dan y

$$As = \rho * b * d * 10^6 \quad (2.24)$$

11. Memilih tulangan yang akan dipasang berdasarkan tabel 2.2.a "Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang".

12. Memeriksa lebar jaring maksimal berdasarkan tabel 11 CUR 1.

2.5.2. Perencanaan Drop Panel

2.5.2.1. Perencanaan Dimensi Drop Panel

Dalam SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 11.5.3.3 persyaratan tebal pelat minimum yang dapat digunakan dalam perencanaan sistem pelat lantai 2 arah dalam pengendalian lendutan adalah sebagai berikut :

1. Tebal minimum pelat tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan – tumpuannya tergantung pada jarak antar kolom dan harus memenuhi ketentuan yang tercantum pada tabel 2.9 berikut serta tidak boleh kurang dari :

- Pelat tanpa penebalan (*drop panel*) = 120 mm
- Drop panel = 100 mm

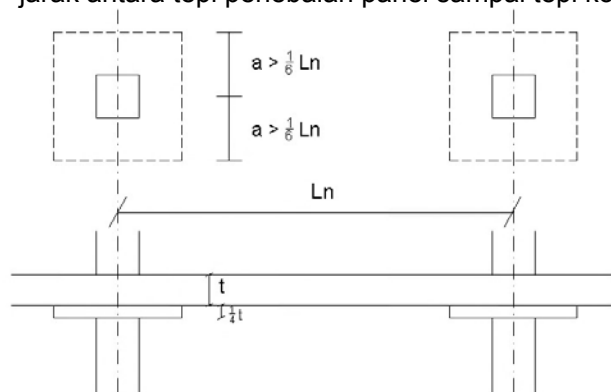
Tabel 2.9. Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan Leleh Fy (MPa)	Tanpa Penebalan			Dengan Penebalan		
	Panel Exterior Balok Pinggir		Panel Interior	Panel Exterior Balok Pinggir		Panel Interior
	Ya	Tidak		Ya	Tidak	
	300	Ln / 33	Ln / 36	Ln / 36	Ln / 36	Ln / 40
400	Ln / 30	Ln / 33	Ln / 33	Ln / 33	Ln / 36	Ln / 36

*) Ln = jarak antar kolom dihitung dari sumbu

Sumber : SNI 03 – 2847 – 2002

2. Pendefinisian dimensi *drop panel* berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 15.3.7.1 sebagai berikut :
 - a) Lebar drop panel pada setiap arah minimum $\frac{1}{6}$ Ln panjang bentang dari sumbu ke sumbu kolom.
 - b) Tebal drop panel minimum $\frac{1}{4} t$ (t = tebal pelat lantai).
 - c) Dalam menghitung tulangan pelat yang diperlukan, tebal drop panel di bawah pelat tidak boleh diasumsikan lebih besar dari jarak antara tepi penebalan panel sampai tepi kolom.



Gambar 2.9. Persyaratan Pertebaran Pelat (*Drop Panel*)

2.5.2.2. Menghitung Tulangan Drop Panel

1. Diameter tulangan direncanakan untuk arah x dan arah y
2. Tentukan momen yang menentukan (M_u) dengan program SAP 2000.

3. Hitung penulangan (arah-x dan arah-y)
4. Data-data yang diperlukan : h, tebal selimut beton (p), Mu, diameter tulangan, tinggi efektif (dx dan dy).
5. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.

$$dx = h - p - \frac{1}{2} \emptyset \quad (2.25)$$

$$dy = h - p - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \quad (2.26)$$

6. Tentukan momen yang menentukan $\frac{Mu}{b * d^2}$ (2.27)

Dimana : Mu = momen yang terjadi

b = lebar per meter

d = tinggi efektif pelat

7. Menentukan harga ρ berdasarkan tabel 5.1.d. “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang”
8. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$)

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \text{ atau lihat tabel 7. CUR 1} \quad (2.28)$$

$$\rho_{max} = \frac{\beta \times 450}{600 + fy} \times \frac{0,85 \times f'c}{fy} \text{ atau lihat tabel 8. CUR 1} \quad (2.29)$$

Dimana : ρ_{min} = rasio penulangan minimum

ρ_{max} = rasio penulangan maksimum

f'c = kuat tekan beton

β = 0,85 untuk f'c \leq 30 Mpa

β = 0,81 untuk f'c = 35 Mpa

9. Menghitung luas tulangan (As) untuk masing - masing arah x dan y

$$As = \rho * b * d * 10^6 \quad (2.30)$$
10. Memilih tulangan yang akan dipasang berdasarkan tabel 2.2.a “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang”.

2.5.2.3. Perhitungan Kapasitas Drop Panel

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{\text{As yg dibutuhkan}}{\text{AsTulangan}} \quad (2.31)$$

$$a = \frac{\sum tul * As * fy}{0,81 * f'c * b} \quad (2.32)$$

$$\phi Mn = 0,81x As trpsg x fy x (d - \frac{a}{2}) \quad (2.33)$$

Syarat : $\phi Mn > M$ terjadi

2.5.2.4. Perhitungan Geser Pons Drop Panel

Perhitungan geser pons untuk drop panel besarnya tidak boleh melebihi dari nilai terkecil dari ketiga nilai berikut ini :

$$Vc1 = \left(1 + \frac{2}{\beta c}\right) x \frac{\sqrt{f'c} x bo x d}{6} \quad (2.34)$$

$$Vc2 = \left(\frac{\alpha s x d}{bo} + 2\right) x \frac{\sqrt{f'c} x bo x d}{6} \quad (2.35)$$

$$Vc3 = \frac{1}{3} x \sqrt{f'c} x bo x d \quad (2.36)$$

Dimana : Vc = gaya geser

βc = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$f'c$ = kuat tekan beton

bo = parameter penampang kritis

αs = konstanta untuk menghitung Vc pada pelat

d = tinggi efektif

Vc terjadi = Reaksi Vertikal Kolom – Gaya aksial di atas Drop Panel

Syarat : Vc terjadi < Vc ijin

2.5.3. Perencanaan Kubah

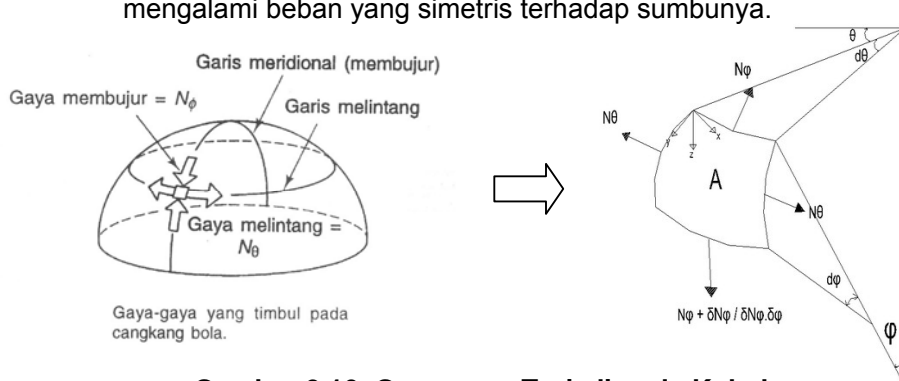
Cangkang adalah bentuk struktural berdimensi tiga yang kaku dan tipis serta mempunyai permukaan lengkung. Permukaan cangkang dapat mempunyai bentuk sembarang. Bentuk yang umum adalah permukaan yang berasal dari kurva yang diputar terhadap satu sumbu (misalnya, permukaan bola, elips, kerucut dan parabola). Adanya dua kumpulan gaya pada arah yang saling tegak lurus di dalam permukaan cangkang menjadikan cangkang berperilaku seperti struktur plat dua arah.

Pada cangkang, gaya-gaya dalam bidang (*in-plane forces*) yang berarah meridional (disebut gaya meridional) diakibatkan oleh beban

penyempitan. Selain gaya meridional dalam cangkang terdapat gaya melingkar (*hoop forces*) ini berarah tegak lurus dengan gaya meridional. Gaya melingkar menahan jalur meridional dari gerakan ke arah keluar-bidang yang cenderung terjadi untuk kondisi pembebanan sebagian. Pada cangkang, tekanan yang diberikan oleh gaya-gaya melingkar tidak menyebabkan timbulnya momen lentur dalam arah meridional. Dengan demikian, cangkang dapat memikul variasi beban cukup dengan tegangan-tegangan dalam.

Dalam perencanaan *shell* sering diaplikasikan teori membran sebagai dasar perhitungan. Adapun syarat-syarat yang berlaku pada teori membran, yaitu sebagai berikut :

1. Perubahan letak (*displacement*) akibat resultan tegangan tidak menimbulkan momen yang berarti pada *shell*.
2. Tebal kubah relatif kecil sekali terhadap jari-jari lengkung *shell*.
3. Pembebanan pada *shell* merata dan *smooth* (tidak berubah secara mendadak)
4. Tepi batas *shell* tidak mengekang terjadinya *displacement* dan dapat menyatukan resultante tegangan tepi *shell*.
5. Momen pada *shell* relatif kecil sehingga dapat diabaikan, dan hanya terdapat N_ϕ , N_θ , $N_{\theta\phi} = N_{\phi\theta}$
6. Atap kubah yang direncanakan berbentuk *Spherical dome* (kubah bulat) sehingga shell terbentuk dari permukaan yang berputar dan mengalami beban yang simetris terhadap sumbunya.



Gambar 2.10. Gaya yang Terjadi pada Kubah

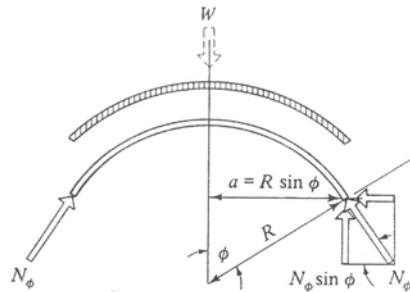
Dari gambar tersebut diperoleh persamaan dari keseimbangan yang didapat dengan menjumlahkan proyeksi gaya pada arah z yaitu sebagai berikut :

$$N\varphi r_0 d\theta d\varphi + N\theta r_1 \sin\varphi d\varphi d\theta + Z r_1 r_0 d\theta d\varphi = 0 \quad (2.37)$$

Persamaan tersebut dibuat menjadi persamaan kesetimbangan orde dua menjadi :

$$N\varphi r_0 + N\theta r_1 \sin\varphi + Z r_1 r_0 = 0 \quad (2.38)$$

Resultan beban total pada bagian cangkang ditandai dengan R seperti pada gambar , maka kesetimbangannya adalah :



Jumlah komponen vertikal dari gaya meridional dalam-bidang yang timbul secara internal di dalam cangkang sama dengan beban mati dan beban hidup vertikal.

$$\Sigma K_v = 0$$

$$2\pi r_0 N\varphi \sin\varphi + R = 0$$

Sehingga :

$$N\varphi = -\frac{R}{2\pi r_0 \sin\varphi} \quad (2.39)$$

Gambar 2.11. Resultan Beban Kubah

Persamaan (2.38) jika dibagi dengan nilai $r_1 r_0$, dengan diketahui nilai $r_0 = r_2 \sin\varphi$ maka persamaan akan menjadi :

$$\frac{N\varphi}{r_1} + \frac{N\theta}{r_2} = -Z \quad (2.40)$$

Untuk kubah bulat yang mempunyai berat (dari beban mati dan beban hidup) sebesar q, dengan nilai $r_0 = a \sin\varphi$ maka dapat dituliskan sebagai berikut :

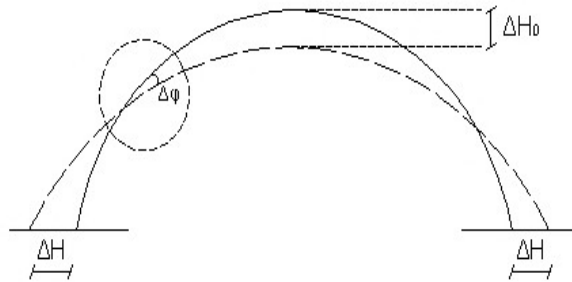
$$R = 2\pi \int_0^\varphi a^2 q \sin\varphi d\varphi = 2\pi a^2 q (1 - \cos\varphi) \quad (2.41)$$

mensubtitusikan persamaan (2.41) ke dalam persamaan (2.39), maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$N\varphi = -\frac{aq}{1 + \cos\varphi} \quad (2.42)$$

kemudian persamaan (2.42) disubtitusikan ke persamaan (2.40), dimana $Z = a \cos\varphi$ dan $r_1 = r_2 = a$, sehingga diperoleh persamaan :

$$N\theta = aq \left(\frac{1}{1 + \cos\varphi} - \cos\varphi \right) \quad (2.43)$$



Gambar 2.12. Sketsa perpindahan titik kubah

Perpindahan horisontal kubah (ΔH):

$$\Delta H = \frac{R^2 * q}{E * h} * \left(\frac{1 + \nu}{1 + \cos \varphi} - \cos \varphi \right) * \sin \varphi \quad (2.44)$$

Perpindahan sudut ($\Delta \varphi$):

$$\Delta \varphi = \frac{R * q}{E * h} * (2 + \nu) * \sin \varphi \quad (2.45)$$

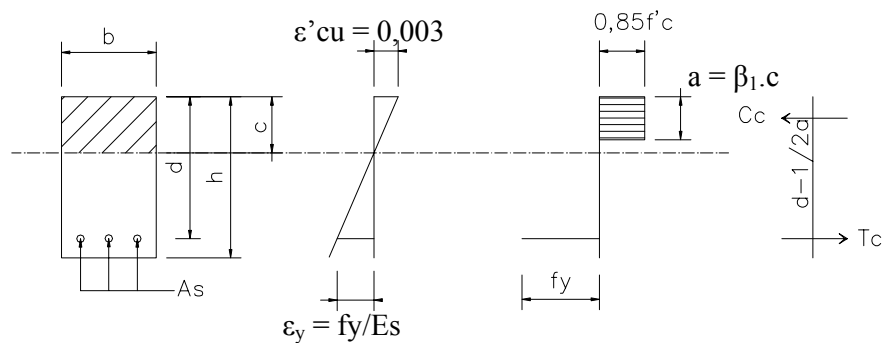
2.5.4. Perencanaan Struktur Portal Utama

2.5.4.1. Perencanaan Struktur Balok

Menurut SK SNI T-15-1991-03 seperti yang tercantum dalam buku CUR 1, secara umum desain tinggi balok direncanakan $(L/10) - (L/15)$, dan lebar balok diambil $(1/2H) - (2/3H)$.

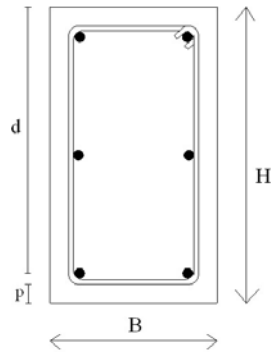
Perhitungan gaya-gaya dalam pada balok menggunakan *software* SAP 2000 V.10. Dari hasil output gaya-gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 (CUR 1).

A. Menghitung Kapasitas Penampang



Gambar 2.13. Penampang, Diagram Regangan dan Tegangan Dalam Keadaan Seimbang (Balance)

- Menghitung tinggi efektif balok (d) :



$$d' = p + \text{Øsengkang} + \frac{1}{2} \text{Ø tulangan utama} \quad (2.46)$$

$$d = h - (p + \text{Øsengkang} + \frac{1}{2} \text{Ø tulangan utama}) \quad (2.47)$$

Gambar 2.14. Tinggi Efektif (d) Balok

- Menghitung jarak serat tekan terluar ke garis netral penampang (c) :

$$\begin{aligned} c &= \frac{d \cdot \epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \\ &= \frac{d \cdot \epsilon_c}{\epsilon_c + \frac{f_y}{E_s}} \end{aligned} \quad (2.48)$$

$$a = \beta_1 \cdot c \quad (2.49)$$

Dimana : ϵ_c = regangan beton ($\epsilon_c = 0,003$)

ϵ_s = regangan baja

f_y = kuat tarik baja

E_s = modulus elastisitas baja = 200.000 Mpa

a = tinggi blok tegangan tekan ekivalen penampang beton

$$\text{Cari harga } \frac{Mu}{b \cdot d^2} \quad (2.50)$$

Dari tabel 5.1.e buku "Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang", diperoleh nilai ρ

$$\rho_{\max} = \frac{\beta_1 \cdot 450}{600 + f_y} \cdot \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \quad (2.51)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.52)$$

Syarat rasio tulangan : $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$

$$As1 = \rho \cdot b \cdot d \cdot 10^6 \quad (2.53)$$

- Jika : $\rho > \rho_{\max}$, cari harga $\left(\frac{Mu}{b \cdot d^2}\right)^1$ dari tabel 5.1.e buku "Grafik dan Tabel

Perhitungan Beton Bertulang"

$$Mu1 = \left(\frac{Mu}{b \cdot d^2}\right)^1 * b * d^2 \quad (2.54)$$

$$As1 = \rho_{\max} * b * d * 10^6 \quad (2.55)$$

$$As2 = As' = \frac{Mu - Mu1}{\phi * fy * (d - d')} \quad (2.56)$$

$$Mn = As * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (2.57)$$

Checking : $Mn > Mu$

B. Menghitung Tulangan Geser Balok

$$Vu = \frac{Vu}{b * d} \quad (2.58)$$

ϕVc berdasarkan tabel 15 CUR 1

Jika : $Vu \leq \phi Vc$, tidak perlu tulangan geser

$Vu > \phi Vc$, perlu tulangan geser

ϕVs_{\max} berdasarkan tabel 17 CUR 1

$$\phi Vs = Vu - \phi Vc \quad (2.59)$$

Jika : $\phi Vs > \phi Vs_{\max}$, perbesar ukuran balok

$\phi Vs \leq \phi Vs_{\max}$, tentukan tulangan geser

$$As_{\text{senggang}} = \frac{(Vu - \phi Vc) * b * 1000}{\phi * fy} \quad (2.60)$$

$$As_{\text{senggang min}} = \frac{b * 1000}{3 * fy} \quad (2.61)$$

Dimana : Vu = tegangan geser yang terjadi

ϕVc = kekuatan geser nominal yang disumbangkan beton

ϕVs = kekuatan geser nominal yang harus dilawan sengkang

C. Menghitung Torsi dan Gaya Lintang

$$V_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f_c}}{6}\right) * b * d}{\sqrt{\left[1 + \left(2,5 * C_t * \frac{T_u}{V_u}\right)^2\right]}} \quad (2.62)$$

$$C_t = \frac{d}{b * h} \quad (2.63)$$

$$\phi V_c = 0,6 * V_c \quad (2.64)$$

Jika : $V_u \leq \phi V_c$, tidak perlu tulangan geser

$V_u > \phi V_c$, perlu tulangan geser

$\phi V_{s_{max}}$ berdasarkan tabel 17 CUR 1

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \quad (2.65)$$

Jika : $\phi V_s > \phi V_{s_{max}}$, perbesar ukuran balok

$\phi V_s \leq \phi V_{s_{max}}$, tentukan tulangan geser

$$A_{s_{senggang}} = \frac{(V_u - \phi V_c) * b * 1000}{\phi * f_y} \quad (2.66)$$

$$A_{s_{senggang \ min}} = \frac{b * 1000}{3 * f_y} \quad (2.67)$$

$$T_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f_c}}{15}\right) * b^2 * h}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{0,4 * V_u}{C_t * T_u}\right)^2\right]}} \quad (2.68)$$

$$\phi T_c = 0,6 * T_c \quad (2.69)$$

Jika : $T_u \leq \phi T_c$, tidak perlu tulangan torsi

$T_u > \phi T_c$, perlu tulangan torsi

$$\phi T_{s_{max}} = 4 T_c \quad (2.70)$$

$$\phi T_s = T_u - \phi T_c \quad (2.71)$$

Jika : $\phi T_s > \phi T_{s_{max}}$, perbesar ukuran balok

$\phi T_s \leq \phi T_{s_{max}}$, tentukan tulangan torsi

$$\text{Jarak antar sengkang : } s = \frac{\alpha_t * A_{tul} * b * h * \phi * f_y}{\phi T_s} \quad (2.72)$$

α_t dapat dibaca dalam grafik pada gambar 7.8 CUR 1

Tentukan tulangan torsi yang digunakan ($A_{s_{torsi}}$)

Jumlah penampang sengkang yang diperlukan :

$$A_{s_{total}} = \frac{A_{s_{sengkang}}}{2} + A_{s_{torsi}} \quad (2.73)$$

Tulangan memanjang yang diperlukan terhadap torsi didapatkan sebagai berikut :

$$A_t = \frac{b + h}{b * h} * \frac{2 * (T_u - \phi T_c)}{\alpha_t * \phi * f_y} \quad (2.74)$$

Dimana : V_u = tegangan geser yang terjadi

ϕV_c = kekuatan geser nominal yang disumbangkan beton

ϕV_s = kekuatan geser nominal yang harus dilawan sengkang

T_u = tegangan torsi yang terjadi

ϕT_c = kekuatan torsi nominal yang disumbangkan beton

ϕT_s = kekuatan torsi nominal yang harus dilawan sengkang

2.5.4.2. Perencanaan Struktur Kolom

Elemen kolom menerima beban lentur dan beban aksial, menurut SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 11.3.2.2. untuk perencanaan kolom yang menerima beban lentur dan beban aksial ditetapkan koefisien reduksi bahan 0,65 sedangkan pembagian tulangan pada kolom (berpenampang segiempat) dapat dilakukan dengan :

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

Pada perencanaan gedung apartemen ini dipakai perencanaan kolom dengan menggunakan tulangan pada empat sisi penampang kolom (*four faces*).

Perhitungan gaya-gaya dalam pada kolom menggunakan program SAP 2000 V.10. Dari hasil output gaya-gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 (CUR 1).

A. Menghitung Tulangan Utama Kolom

- Menghitung kekakuan kolom (EI) :

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{E_c * I_g / 2,5}{1 + \beta} \quad (2.75)$$

- Menghitung kekakuan balok :

$$EI_{\text{balok}} = \frac{E_c * I_g / 5}{1 + \beta} \quad (2.76)$$

Dimana : E_c = modulus elastisitas beton = $4700 * \sqrt{f'_c}$

I_g = momen inersia penampang

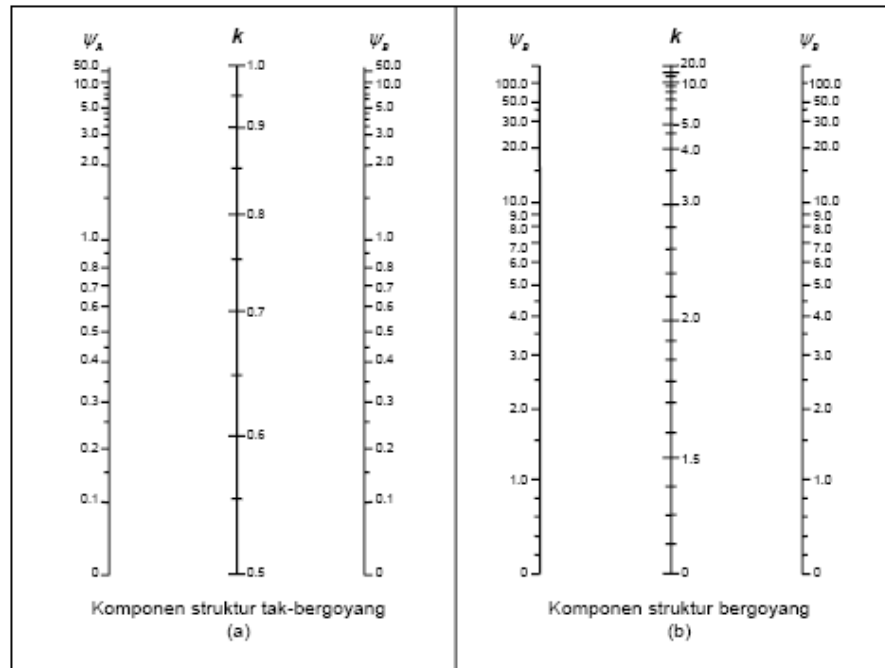
$$\beta_d = \frac{1,2D}{1,2D + 1,6L} \approx 0,5 \quad (2.77)$$

- Derajat Kebebasan Kolom

$$\text{Ujung bawah : } \psi = \frac{\sum EI_{\text{kolom}} / L_k}{\sum EI_{\text{balok}} / L_b} \quad (2.78)$$

$$\text{Ujung atas } \psi = \frac{\sum EI_{\text{kolom}} / L_k}{\sum EI_{\text{balok}} / L_b} \quad (2.79)$$

Dari nomogram struktur tidak bergoyang diperoleh nilai k_1



Gambar 2.15. Faktor Panjang Efektif (k)

$$Pc1 = \frac{\pi^2 * EI_{kolom}}{(k1 * L_u)^2} \quad (2.80)$$

$$\delta b = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{\phi * Pc1}} \quad (2.81)$$

Dari nomogram struktur tidak bergoyang diperoleh nilai k2

$$Pc2 = \frac{\pi^2 * EI_{kolom}}{(k2 * L_u)^2} \quad (2.82)$$

$$\Sigma Pu = \Sigma Pu \text{ kolom tengah} + \Sigma Pu \text{ kolom tepi} \quad (2.83)$$

$$\phi \Sigma Pc2 = 0,6 * (\Sigma Pc2 \text{ kolom tengah} + \Sigma Pc2 \text{ kolom tepi}) \quad (2.84)$$

$$Cm = 1$$

$$\delta s = \frac{Cm}{1 - \frac{\Sigma Pu}{\phi * \Sigma Pc2}} \quad (2.85)$$

$$Mc = \delta_b * M_{2b} + \delta_s * M_{2s} \quad (2.86)$$

$$e_t = \frac{Mc}{Pu} \quad (2.87)$$

$$e_{t\min} = 15 + 0,03.h \quad (2.88)$$

$$\frac{P_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot f_c}; \text{ sebagai sumbu vertical} \quad (2.89)$$

$$\frac{P_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot f_c} * \left(\frac{e_t}{h} \right); \text{ sebagai sumbu horizontal} \quad (2.90)$$

Menurut grafik halaman 92 Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang didapatkan r

$$\rho = r \cdot \beta \quad (2.91)$$

$$A_s = \rho * A_{gr} \quad (2.92)$$

$$A_{s\min} = 1\% * A_{gr} \quad (2.93)$$

B. Menghitung Tulangan Geser dengan Gaya Aksial

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (2.94)$$

$$V_c = 0,3 * \sqrt{f_c} * b * d * \sqrt{1 + \frac{0,3 * N_u}{A_g}} \quad (2.95)$$

Jika : $(V_n - V_c) \geq \frac{2}{3} * \sqrt{f_c} * b * d$, maka penampang harus diperbesar

$(V_n - V_c) < \frac{2}{3} * \sqrt{f_c} * b * d$, maka penampang cukup

Jika : $V_u < \emptyset V_c$, maka tidak perlu tulangan geser

$V_u \geq \emptyset V_c$, maka perlu tulangan geser

- Jika $V_n < \frac{\phi * V_c}{2}$, maka perlu tulangan geser minimum

$$A_v = \frac{b * s}{3 * f_y} \quad (2.96)$$

$$\text{Syarat : } s \leq \frac{d}{2}$$

- Jika $V_n < \frac{\phi * V_c}{2}$, maka perlu tulangan geser

$$A_v = \frac{(V_n - V_c) * s}{d * f_y} \quad (2.97)$$

$$\text{Syarat : } s \leq \frac{d}{2}$$

$$\text{Jika } (V_n - V_c) \geq 0,33 * \sqrt{f'c} * b * d, \text{ maka : } s \leq \frac{d}{4} \quad (2.98)$$

C. Cek Kapasitas Penampang

$$P_n = \frac{P_u}{0,6} \quad (2.99)$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{0,6} \quad (2.100)$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{0,6} \quad (2.101)$$

$$e_y = \frac{M_{nx}}{P_n} \quad (2.102)$$

$$e_x = \frac{M_{ny}}{P_n} \quad (2.103)$$

$$\begin{aligned} c_b &= \frac{d * \epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \\ &= \frac{d * \epsilon_c}{\epsilon_c + \frac{f_y}{E_s}} \end{aligned} \quad (2.104)$$

$$a_b = \beta_1 * c_b \quad (2.105)$$

$$P_{nb} = 0,85 * f'c * b * a_b \quad (2.106)$$

$$F_b = \frac{a_b}{d} \quad (2.107)$$

dari tabel 2 buku "Menghitung Beton Bertulang" diperoleh K_b

$$M_{nb} = 0,85 * f'c * K_b * b * d^2 + A_s * f_y * (d - d') \quad (2.108)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \quad (1.109)$$

$$e = e_y + \frac{h}{2} - d' \quad (2.110)$$

$$e < e_b$$

$$P_o = 0,85 * f'c * (A_{gr} - A_{s_t}) + f_y * A_{s_t} \quad (2.111)$$

$$P_y = P_o - \left(\frac{e}{e_b}\right)^2 * (P_o - P_{nb}) \quad (2.112)$$

$$\text{Untuk } e_x : e = e_x + \frac{h}{2} - d' \quad (2.113)$$

$$P_x = P_o - \left(\frac{e}{e_b}\right)^2 * (P_o - P_{nb}) \quad (2.114)$$

Peninjauan Biaxial :

$$\frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o} \quad (2.115)$$

Syarat : $P_i > P_n$

Dimana : e_a = eksentrisitas gaya normal terhadap sumbu penampang

M_n = momen terfaktor

P_n = gaya normal terfaktor

a_b = tinggi blok tegangan tekan ekuivalen pada penampang beton dalam keadaan *balanced*

β = 0,85 untuk $f'_c \leq 30$ Mpa

β = 0,81 untuk $f'_c = 35$ Mpa

d = tinggi efektif

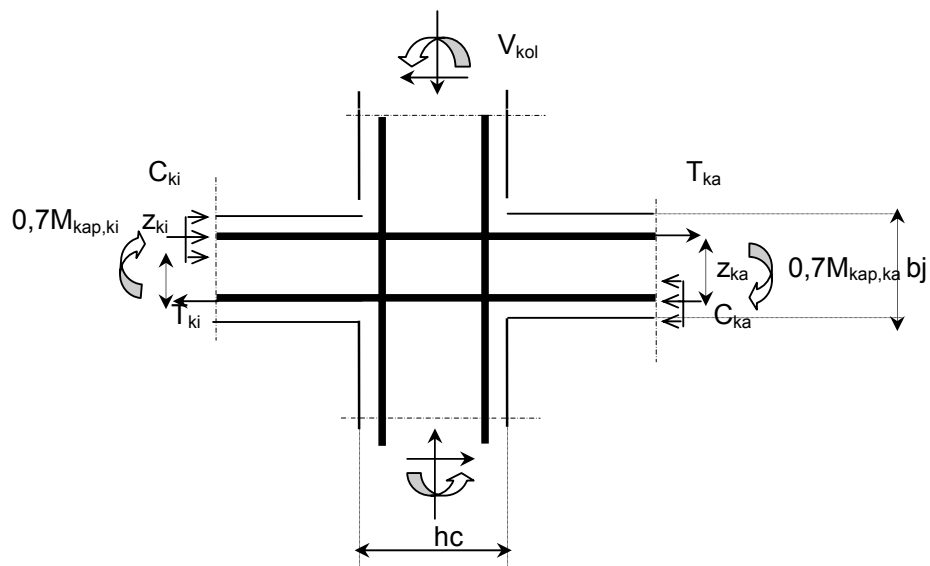
f_y = tegangan leleh baja tulangan

M_{nb} = momen terfaktor dalam keadaan *balanced*

P_{nb} = gaya normal terfaktor dalam keadaan *balanced*

e_a = eksentrisitas gaya normal terhadap sumbu penampang dalam keadaan *balanced*

4.14. Pertemuan Balok Dan Kolom (Beam Column Joint)



Gambar 2.16. Pertemuan Balok-Kolom

a. Mencari $M_{nak,ka} = M_{nak,ki}$

$$d = h - p - \varnothing_{\text{sengkang}} - D_{\text{tul}} - 25 - \frac{1}{2} \cdot D_{\text{tul}} \quad (2.116)$$

$$\text{Ratio } \frac{As'}{As}$$

$$\rho_{\max} = \left(\frac{\beta_1 \cdot 4500}{6000 + f_y} \right) \cdot \left(\frac{0,81 \cdot f'c}{f_y} \right) \quad (2.117)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \quad (2.118)$$

$$\rho = \frac{A_{\text{sterpasang}}}{(b \cdot d)} \quad (2.119)$$

$$\rho' = \frac{A_{\text{S}' \text{ terpasang}}}{(b \cdot d)} \quad (2.120)$$

$$(A) \rho - \rho'$$

$$(B) \beta_1 \cdot \left[\frac{0,81 \cdot f'c}{f_y} \right] \cdot \left(\frac{d'}{d} \right) \cdot \left[\frac{6000}{(6000 - f_y)} \right]$$

Jika : (A) < (B) maka As' tidak diperhitungkan

$$F = \frac{\rho \cdot f_y}{0,81 \cdot f'c} \quad (2.121)$$

$$K = F \cdot \left(1 - \frac{F}{2} \right) \quad (2.122)$$

$$M_n = K \cdot b \cdot d^2 \cdot 0,81 \cdot f'c \quad (2.123)$$

b. Perhitungan Gaya gaya dalam

$$V_{\text{kolom}} = \frac{0,7 \cdot \left(\frac{I_{ki}}{I_{ki'}} \cdot M_{\text{kap,bki}} + \frac{I_{ka}}{I_{ka'}} \cdot M_{\text{kap,bka}} \right)}{\frac{1}{2} (h_{k,a} + h_{k,b})} \quad (2.124)$$

I_{ki} dan I_{ka} = bentang as kiri dan kanan joint

$I_{ki'}$ dan $I_{ka'}$ = bentang bersih balok kiri dan kanan joint

$h_{k,a}$ dan $h_{k,b}$ = bentang as ke as kolom atas dan bawah joint

$$a_{ka} = \frac{As \cdot f_y}{0,81 \cdot f'c \cdot b} \quad (2.125)$$

$$d_{ka} = h - p - \varnothing_{\text{sengkang}} - D_{\text{tul}} - 25 - \frac{1}{2} \cdot D_{\text{tul}} \quad (2.126)$$

$$Z_{ka} = d - 0,5 a \quad (2.127)$$

$$T_{ka} = 0,7 \times \frac{M_{\text{kap,bka}}}{Z_{ka}} \quad (2.128)$$

$$a_{ki} = \frac{As \cdot fy}{0,81 \cdot f'c \cdot b} \quad (2.129)$$

$$d_{ki} = h - p - \varnothing_{\text{sengkang}} - D_{\text{tul}} - 25 - \frac{1}{2} \cdot D_{\text{tul}} \quad (2.130)$$

$$Z_{ki} = d - 0,5 a \quad (2.131)$$

$$T_{ki} = 0,7 \times \frac{M_{\text{kap,bka}}}{Z_{ka}} \quad (2.132)$$

$$V_{j,h} = T_{ki} + T_{ka} - V_{\text{kolom}} \quad (2.133)$$

$$V_{j,v} = \frac{hc}{bj} \times V_{j,h} \quad (2.134)$$

c. Kontrol tegangan horizontal minimal

$$V_{\text{kontrol}} = \frac{V_{j,h}}{bj \times hc} < 1,5\sqrt{f'c} \quad (2.135)$$

Dengan lebar efektif pertemuan (bj) diambil sebagai berikut :

- Bila bc (kolom) > bb (balok), maka diambil nilai terkecil antara $bj = bc$ atau $bj = bb + 0,5hc$
- Bila bc (kolom) < bb (balok), maka diambil nilai terkecil antara $bj = bb$ atau $bb = bc + 0,5hc$

d. Penulangan Tegangan Geser Horizontal

$$V_{c,h} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{Ag} - 0,1 \cdot f'c \right)} \cdot bj \cdot hc \quad (2.135)$$

$$V_{s,h} + V_{c,h} = V_{j,h} \quad (2.136)$$

$$A_{s,h} = \frac{V_{s,h}}{fy} \quad (2.137)$$

∴ Jumlah lapis sengkang : $\frac{A_{s,h}}{As \text{ terpasang}}$

e. Penulangan Geser Vertikal

$$V_{c,v} = \frac{As'}{As} * V_{j,h} * \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_{gr} * f'c} \right) \quad (2.138)$$

$$V_{s,v} = V_{j,v} - V_{c,v} \quad (2.139)$$

$$A_{s,v} = \frac{V_{s,v}}{f_y} \quad (2.140)$$

4.14.2. Penjangkaran Balok Kolom

Berdasarkan tabel 3.1. Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang halaman 20, panjang penyaluran dasar (dengan $f'c = 35$ Mpa, $f_y = 400$ Mpa, dan batang tulangan baja D22) didapatkan 530 mm.

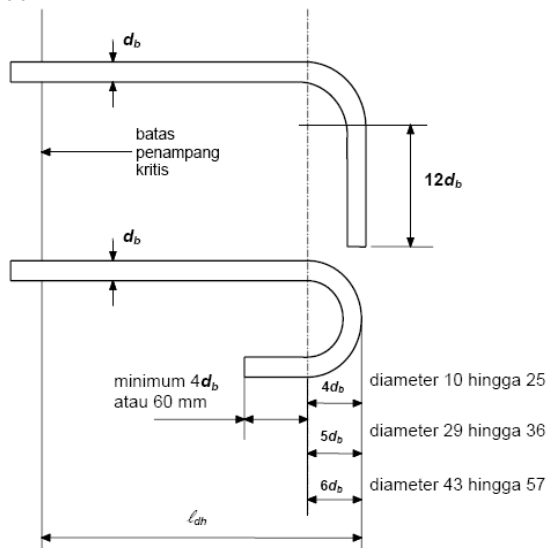
Sebagaimana ditentukan dalam SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 14.5.2, panjang penyaluran dasar l_{hd} yang dibutuhkan untuk mengembangkan kuat luluh f_y dalam batang kait diukur dari lokasi timbulnya kuat luluh kesisi luar ekstrim kait, sebagai berikut :

$$l_{hd} = \frac{100d_b}{\sqrt{f'c}} \quad (2.141)$$

Syarat : tidak kurang dari 150 mm dan $8 * d_b$.

Kemudian dilakukan pemeriksaan cukup tidaknya lebar kolom untuk dipasang penjangkaran.

$$l_{hd} + p < b_{kolom}$$



Gambar 2.17. Model Penjangkaran

2.5.5. 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.

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

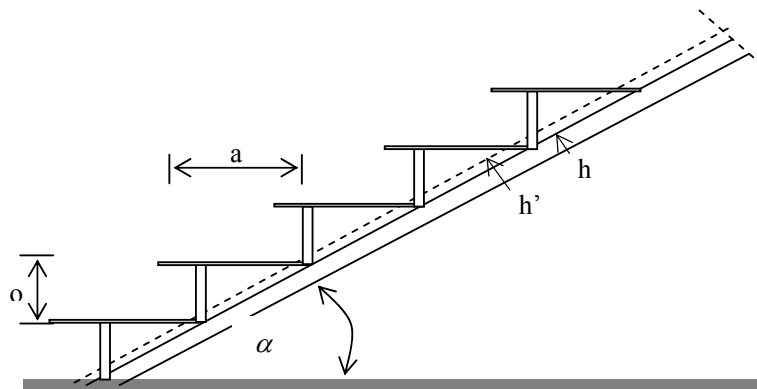
Menurut Buku Diktat Konstruksi Bangunan Sipil yang disusun Ir. Supriyono

$$o = \tan \alpha \times a \quad (2.142)$$

$$2 \times o + a = 61 \sim 65 \quad (2.143)$$

dimana : o = optrede (langkah naik)

a = antrede (langkah datar)



Gambar 2.18. Struktur tangga

Perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur tangga seluruhnya 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.

2.5.6. 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.

2.5.7. Perencanaan Ramp

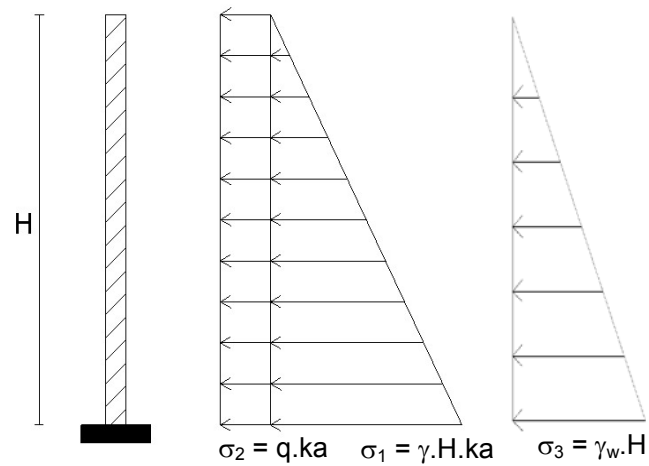
Ramp merupakan struktur penghubung antara dua level atau tingkat yang berbeda pada suatu bangunan gedung. Pada struktur gedung apartemen ini, ramp digunakan kendaraan untuk turun ke basement yang berfungsi sebagai tempat parkir.

Untuk perhitungan penulangan pelat ramp dapat mengikuti prosedur yang sama dengan penulangan pelat lantai setelah diperoleh gaya-gaya dalam yang terjadi dari output SAP 2000.

4.9. Perencanaan Dinding Basement

Berdasarkan "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung" (SNI 03 – 2847 - 2002 pasal 16.5.3.2), ketebalan dinding luar ruang bawah tanah dan dinding fondasi tidak boleh kurang daripada 190 mm.

Beban yang bekerja pada dinding basement berupa tekanan tanah dan beban merata dari atas.



Gambar 2.19. Diagram Tekanan Tanah pada Dinding Basement

- Perhitungan tekanan tanah

$$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.144)$$

$$\sigma_1 = \gamma \cdot H \cdot k_a \quad (2.145)$$

- Perhitungan beban merata

$$\sigma_2 = q \cdot k_a \quad (2.146)$$

- Perhitungan tekanan air

$$\sigma_3 = \gamma_w \cdot H \quad (2.147)$$

Dimana :

σ = tekanan tanah

ϕ = sudut geser tanah

H = kedalaman basement

γ = berat jenis tanah

γ_w = berat jenis air

k_a = koef. tekanan tanah aktif

q = beban merata

Perhitungan penulangan dinding basement menggunakan cara yang sama dengan penulangan pelat.

2.6. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Berdasarkan data hasil penyelidikan tanah dan beban-beban yang bekerja, pada proyek apartemen ini 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.

2.6.1. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Individual 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.

A. Berdasarkan kekuatan bahan

Menurut Peraturan Beton Indonesia (PBI), tegangan tekan beton yang diijinkan yaitu :

$$\sigma_b = 0.33 \times f'c \quad (2.148)$$

$$P_{\text{tiang}} = \sigma_b * A_{\text{tiang}} \quad (2.149)$$

dimana :

$f'c$ = kekuatan tekan beton karakteristik

σ_b = tegangan iijin bahan tiang

A_{tiang} = luas penampang tiang pancang

P_{tiang} = daya dukung tiang

B. Berdasarkan hasil sondir

Tes Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) pada dasarnya adalah untuk memperoleh tahanan ujung (q) dan tahanan selimut (c) sepanjang tiang. Tes sondir ini biasanya dilakukan pada tanah - tanah kohesif dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung keras.

Berdasarkan faktor pendukungnya, daya dukung tiang pancang dapat digolongkan sebagai berikut :

- **End Bearing Pile**

Tiang pancang yang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras di bawahnya.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang adalah :

$$P_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} * q_c}{3} \quad (2.150)$$

dimana :

P_{tiang} = daya dukung tiang

A_{tiang} = luas permukaan tiang

q_c = nilai *conus* hasil sondir

q_c = $\frac{1}{2} (q_{cu} + q_{cb})$ = point bearing capacity

q_{cu} = conus resistance rata –rata 8D di atas ujung tiang

q_{cb} = rata – rata perlawanan conus setebal 4D di bawah tiang

- **Friction Pile**

Jika pemancangan tiang sampai lapisan tanah keras sulit dilaksanakan karena letaknya sangat dalam, dapat dipergunakan tiang pancang yang daya dukungnya berdasarkan perletakan antara tiang dengan tanah (*cleef*).

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah:

$$P_{\text{tiang}} = \frac{K_{II} * JHP}{5} \quad (2.151)$$

dimana :

P_{tiang} = daya dukung tiang

K_{II} = keliling tiang pancang

JHP = Jumlah hambatan Pelekat (*Total friction*)

- **End Bearing And Friction Pile**

Jika perhitungan tiang pancang didasarkan terhadap tahanan ujung dan hambatan pelekat, persamaan daya dukung yang diijinkan adalah:

Rumus Boegeymenn :

$$P_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \cdot q_c}{3} + \frac{K_{II} \cdot JHP}{5} \quad (2.152)$$

C. Berdasarkan Data SPT

- Metode *Japan Road Association*

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan menggunakan data SPT dapat digunakan menurut *Japan Road Association*. *Japan Road Association* mengusulkan cara untuk menentukan tahanan friksi batas dan tahanan ujung batas untuk precast pile dan cast in place pile. Tahanan friksi/gaya geser pada dinding tiang adalah seperti tertera pada tabel 2.10. Tahanan ujung untuk precast pile ditentukan dengan menggunakan gambar 2.20. Langkah-langkah untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan metode *Japan Road Association* adalah :

- Menentukan panjang penetrasi

Panjang penetrasi ditentukan berdasarkan gambar pada masing-masing hasil data SPT. Untuk menentukan panjang penetrasi langkah-langkahnya adalah :

- 1) Menentukan nilai SPT pada ujung tiang (N1)
 - 2) Menentukan nilai SPT rata-rata untuk 4D ke atas dari ujung tiang (N2)
 - 3) Menentukan nilai SPT rata-rata dari N1 dan N2 (\bar{N})
 - 4) Menentukan jarak antara nilai SPT ujung tiang dengan nilai SPT rata-rata (\bar{N})
 - 5) Membuat bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata yang seimbang dengan bidang luasan di bawah nilai SPT rata-rata
 - 6) Menentukan jarak antara nilai SPT rata-rata dengan nilai SPT teratas dari bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata
 - 7) Panjang penetrasi adalah jumlah dari jarak antara nilai SPT ujung tiang dengan nilai SPT rata-rata (N) dan jarak antara nilai SPT rata-rata dengan nilai SPT teratas dari bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata
- Menghitung Daya Dukung Tiang

Menggunakan metode ini daya dukung tiang yang diijinkan (R_a) dapat diperoleh rumus sebagai berikut :

$$P_{\text{tiang}} = \frac{q_d \cdot A + O \sum l_i \cdot f_i}{2,5} \quad (2.153)$$

dimana : q_d = daya dukung terpusat tiang

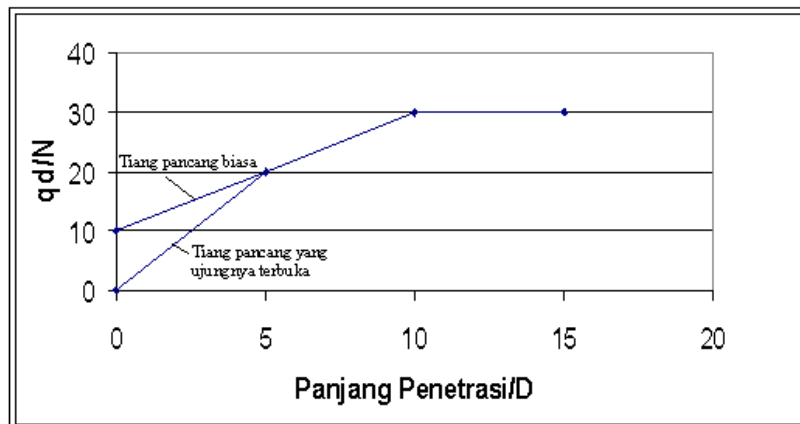
A = luas penampang tiang

O = keliling penampang tiang

l_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

f_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

Daya dukung berdasarkan hasil SPT perlu diketahui, sebab merupakan salah satu cara untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung (*bearing capacity*)



Gambar 2.20. Diagram Perhitungan Dari Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi Pada Ujung Tiang

Nilai q_d didapat dari diagram diatas, dimana :

$$N = \text{harga N-SPT rata-rata ujung tiang} = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

N_1 = harga N pada ujung tiang

N_2 = harga rata-rata N pada jarak 4D di atas ujung tiang

L = panjang penetrasi tiang

D = diameter tiang

Tabel 2.10. Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang (f_i)

Jenis Tiang Jenis Tanah Pondasi	Tiang Pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah Berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah kohesif	$C \text{ or } N (\leq 12)$	$\frac{C}{2} \text{ or } \frac{N}{2} (\leq 12)$

- **Rumus Mayerhoff**

$$P_{\text{tiang}} = 40 * N * A_{\text{tiang}} + (1/5 * \bar{N} * A_s) \quad (2.155)$$

dimana :

P_{tiang} = daya dukung tiang

A_{tiang} = luas penampang tiang pancang

N = nilai SPT pada ujung tiang pancang

\bar{N} = nilai rata-rata SPT

A_s = Luas selimut tiang

2.6.2. Daya Dukung Ijin Tiang Group ($P_{\text{all Group}}$)

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.

Dipakai persamaan dari “*Uniform Building Code dari AASHTO*” (Pondasi Tiang Pancang untuk Universitas dan Umum karangan Ir. Sardjono HS. Penerbit Sinar Wijaya Surabaya) :

$$Eff = 1 - \frac{\varphi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m * n} \right] \quad (2.156)$$

dimana :

- m : jumlah baris
- n : jumlah tiang
- φ : $\text{arc tan}(d/s)$, dalam derajat
- d : diameter tiang
- s : jarak antar tiang

$$P_{\text{all group}} = Eff \times P_{1 \text{ tiang}} \text{ (daya dukung tiang tunggal)} \quad (2.157)$$

2.6.3. Pmax Yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P_{\max} = \frac{\Sigma Pv}{n} \pm \frac{Mx * Y_{\max}}{n_y \Sigma y^2} \pm \frac{My * X_{\max}}{n_x \Sigma x^2} \quad (2.158)$$

Dimana:

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

ΣPv : jumlah beban vertikal

n : banyaknya tiang pancang

Mx : momen arah X

My : 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} didapat dari hasil output SAP 2000, dibandingkan P_{eff}

Syarat : $P_{\max} < P_{\text{all group}}$

2.6.4. Penentuan Kedalaman Tiang Pancang

Hasil penyelidikan tanah di lapangan melalui uji *boring* dan sondir, lapisan tanah keras dengan N-SPT mendekati 50 dijumpai pada sekitar kedalaman -30,00 meter dari permukaan tanah setempat, dengan diskripsi tanah keras (*hard*) dan sangat kaku (*very stiff*).

Berdasarkan data tersebut maka pada perencanaan struktur gedung apartemen ini, pondasi tiang pancang akan ditanam sampai kedalaman tanah keras 30 meter dari permukaan tanah.

2.6.5. Kontrol Gaya Horisontal

1. Kontrol Daya Dukung Horisontal Akibat Tekanan Tanah

Perhitungan menurut *Foundation of Structure* oleh Dun Hanma, tiang akan terjepit sempurna pada kedalaman

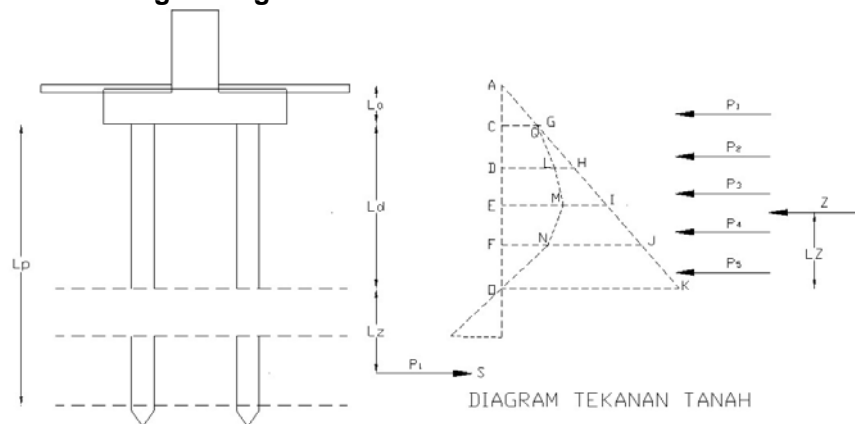
$$(L_d) = 1/4 \text{ s/d } 1/3 L_p \quad (2.159)$$

Dimana : L_d = kedalaman titik jepitan dari muka tanah

L_p = panjang tiang yang masuk tanah

$$\text{Maka } L_a = L_p - L_d \quad (2.160)$$

2. Perhitungan Diagram Tekanan Tanah



Gambar 2.21. Diagram Tekanan Tanah Pasif Akibat Tekanan Tanah

a. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif

Panjang jepitan. $L_d = L/3$

$$CG = (K_p \times \gamma \times H \times B)$$

$$DH = CG + (K_p \times \gamma \times H \times B)$$

$$EI = DH + (K_p \times \gamma \times H \times B)$$

$$FJ = EI + (K_p \times \gamma \times H \times B)$$

$$OK = FJ + (K_p \times \gamma \times H \times B)$$

b. Tekanan Tanah Efektif Yang Terjadi

CG

$$DL = 0,75 \times DH$$

$$EM = 0,5 \times EI$$

$$FN = 0,25 \times FJ$$

$$\text{Total gaya tanah pasif sebesar } P = CG + DL + EM + FN \quad (2.161)$$

• Gaya Lateral yang terjadi pada tiang pancang

$$P_1 = 0,5 \times H_1 \times CG$$

$$P_2 = 0,5 \times H_2 \times (CG + DL)$$

$$P_3 = 0,5 \times H_2 \times (DL + EM)$$

$$P_4 = 0,5 \times H_2 \times (EM + FN)$$

$$P_5 = 0,5 \times H_2 \times FN$$

$$\text{Total gaya tanah pasif sebesar } P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \quad (2.162)$$

c. Gaya Lateral yang diijinkan

Statis momen di titik O

$P_{tot} \cdot L_z = \sum(P_n \cdot Z_n)$; dimana Z_n = jarak titik berat terhadap titik acuan O

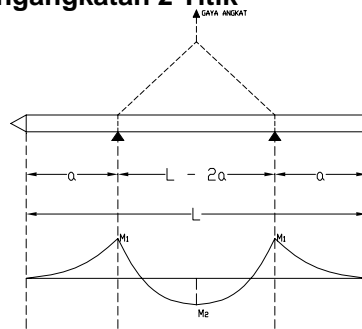
Gaya horizontal yang diijinkan akibat tekanan tanah pasif ;

$$\sum M_s = 0 \rightarrow PH^* (L_d + L_a + L_z) = P_{tot} \cdot 2L_z \quad (2.163)$$

Syarat : $PH > P$ total pasif

2.6.6. Penulangan Tiang Pancang

Kondisi I : Pengangkatan 2 Titik



Gambar 2.22. Pengangkatan Tiang Pancang dengan 2 Titik

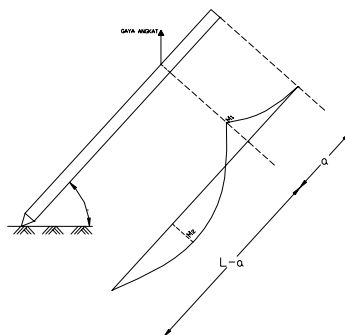
$$M_1 = \frac{1}{2} q \cdot a^2 \quad (2.164)$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot \left(q(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} q \cdot a^2 \right) \quad (2.165)$$

$$\frac{1}{2} q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \cdot \left(q(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} q \cdot a^2 \right) \quad (2.166)$$

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

Kondisi II : Pengangkatan 1 Titik



Gambar 2.23. Pengangkatan Tiang Pancang dengan 1 Titik

$$M_1 = \frac{1}{2} * q * a \quad (2.167)$$

$$M_2 = \frac{1}{2} q(L - a) - \left(\frac{\frac{1}{2} L^2 - 2aL}{(L - a)} \right)^2 = \left(\frac{qL^2 - 2q * a * L}{2(L - a)} \right) \quad (2.168)$$

$$M_1 = M_2$$

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

$$2a^2 - 4aL + L^2 = 0 \quad (2.169)$$

2.7. Dasar Perhitungan dan Pedoman Perencanaan

Dalam perencanaan pembangunan gedung apartemen ini, pedoman peraturan serta buku acuan yang digunakan antara lain :

1. Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung (SKSNI T – 15 – 1991 – 03).
2. Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 2847 -2002).
3. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03 – 1726 – 2003).
4. Menghitung Beton Bertulang Berdasarkan SNI 1992 Ir. Udiyanto.
5. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983.