

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam melakukan sebuah proses perencanaan perlu ditetapkan kriteria-kriteria yang akan digunakan sebagai tolak ukur kelayakan pelaksanaan pembangunan. Beberapa kriteria yang dimaksud adalah :

1. Kemampuan Layan (Serviceability)

Kriteria ini merupakan kriteria dasar yang sangat penting. Dimana struktur yang direncanakan harus mampu memikul beban secara aman tanpa mengalami kelebihan tegangan maupun deformasi yang melebihi batas.

2. Nilai Efisiensi Bangunan

Proses perencanaan struktur yang ekonomis didapatkan dengan membandingkan besarnya pemakaian bahan pada kondisi tertentu dengan hasil yang berupa kemampuan untuk memikul beban. Nilai efisiensi yang tinggi merupakan tolak ukur kelayakan perencanaan yang baik.

3. Pemilihan Konstruksi dan Metode Pelaksanaan

Pemilihan konstruksi yang sesuai dengan kebutuhan serta metode pelaksanaan yang akan dilakukan mempengaruhi nilai kelayakan sebuah pembangunan. Kriteria ini mempunyai ruang lingkup yang sangat luas. Diantaranya pemilihan peralatan, waktu pelaksanaan, biaya dan sumber daya manusia yang diperlukan.

4. Biaya (Cost)

Disamping kriteria-kriteria tersebut diatas terdapat sebuah kriteria yang sangat penting untuk diperhatikan. Kriteria tersebut adalah biaya yang dibutuhkan dalam proses pembangunan. Nilai pemakaian biaya yang efisien tidak terlepas dari efisiensi bahan dan kemudahan pelaksanaan.

2.2. Pedoman Perencanaan

Dalam perencanaan struktur gedung LPMP, pedoman yang digunakan sebagai acuan adalah :

- Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987).
- Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG 1983).
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1991-03).
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI – 1726 -2003).

2.3 Aspek-aspek Perencanaan

Aspek-aspek perencanaan yang ditinjau sebelum dilakukan proses desain, harus selalu dilihat secara rinci. Karena dengan cara tersebut dapat dipahami segala implikasi dari berbagai alternatif yang akan dilakukan. Pilihan yang rasional mengenai struktur final yang akan dilaksanakan harus mampu mengadopsi segala aspek yang bersangkutan dengan perencanaan. Salah satu tinjauan mengenai dasar perilaku material digunakan dalam pemilihan sistem struktur bangunan.

Sistem fungsional dari gedung mempunyai hubungan yang erat dengan pemilihan struktur atas. Pola yang dibentuk oleh konfigurasi struktural mempunyai hubungan erat dengan pola yang dibentuk berdasarkan pengaturan fungsional. Dalam proses perancangan struktural perlu dicari derajat kedekatan antara sistem struktural yang akan digunakan dengan tujuan desain (tujuan yang akan dikaitkan dengan masalah arsitektural, efisiensi, *serviceability*, kemudahan pelaksanaan dan biaya)

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 mengakomodasi sistem layan gedung

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi 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 disetiap 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.

Sedangkan pemilihan jenis pondasi (*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.

2.3.1. Elemen-elemen Utama Struktur

Pada perencanaan struktur gedung 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 kemudian meneruskannya ke tanah / pondasi.

2.3.2. Material / Bahan Struktur

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

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.

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 ketahannya terhadap gempa kurang baik.

6. Struktur Beton Prategang (*Prestress 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 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.

2.4. 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.

2.4.1. 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 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 mendesain elemen – elemen struktur yang didesain secara daktilitas penuh agar elemen – elemen tersebut kuat menahan gaya gempa..

2.4.1.1. 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 Ekuivalen

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

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya - gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral force Method*), yang mengasumsikan besarnya gaya gempa berdasar hasil perbandingan antara perkalian suatu konstanta akibat tanah dan keutamaan gedung serta massa dengan faktor reduksi maksimum yang tergantung dari bahan yang digunakan.

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 dan Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*).

2.4.1.2. 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 beraturan digunakan metode Analisis Beban Statik Ekuivalen. Untuk struktur bangunan yang tidak beraturan harus dianalisis menggunakan analisis dinamik, metode Analisis Ragam Spektrum Respon atau metode Analisis Riwayat Waktu.

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

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

Gambar 2.1 Pemodelan Struktur dan Lump Mass

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. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

2.4.3. Pemilihan Material

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

Beton	:	$f'c = 25\text{Mpa}$	$E_c = 4700\sqrt{f'c}$
Baja	:		
▪ Tul. Utama	:	$f_y = 400\text{ Mpa}$	$E_s = 210000\text{ Mpa}$
▪ Tul.Geser	:	$f_y = 240\text{ Mpa}$	$E_s = 210000\text{ Mpa}$

2.5. Konsep Pembebanan

Di Indonesia pada umumnya umur rencana dari suatu bangunan adalah 50 tahun. Oleh karena itu selama umur rencananya, struktur bangunan dapat menerima berbagai macam kondisi pembebanan yang mungkin terjadi.

Kesalahan dalam menganalisis beban merupakan salah satu penyebab utama kegagalan struktur. Mengingat hal tersebut, sebelum melakukan analisis dan desain struktur, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur beserta karakteristiknya.

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan dapat berupa kombinasi dari beberapa beban yang terjadi secara bersamaan. Secara garis besar beban pada struktur dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu gaya statis dan gaya dinamis. Gaya statis adalah gaya yang bekerja secara terus menerus pada struktur dan mempunyai karakter *steady states*. Sedangkan gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya tidak bersifat *steady state* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat. Untuk memastikan bahwa suatu struktur bangunan dapat bertahan selama umur rencananya, maka pada proses perancangan dari struktur perlu ditinjau beberapa kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi.

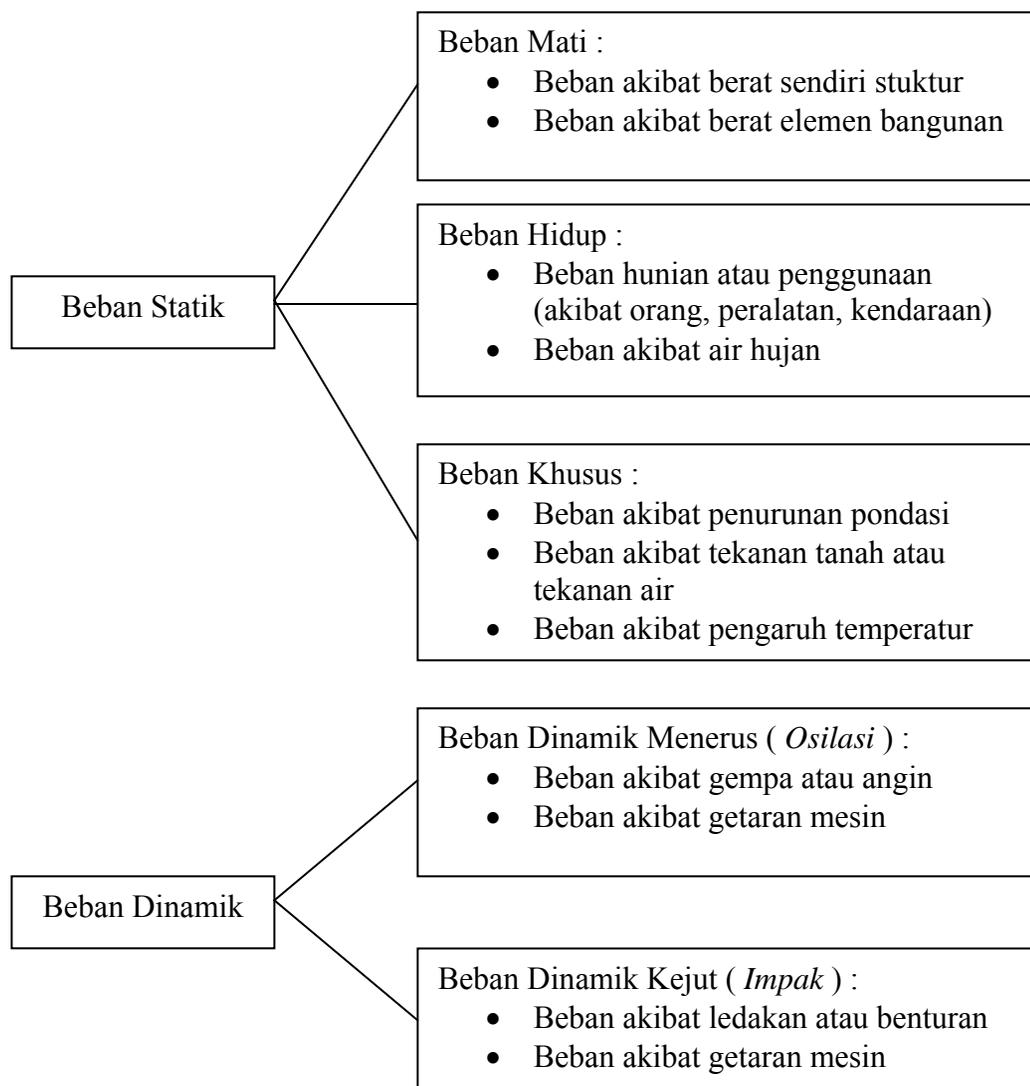
2.5.1. Jenis-jenis Beban

Dalam menjalankan fungsinya setiap sistem struktur harus mampu menahan atau menerima pengaruh-pengaruh dari luar yang harus dipikul untuk selanjutnya diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi.

Pengaruh dari luar yang bekerja pada struktur dapat dinyatakan sebagai besaran gaya dengan intensitas yang dapat diukur. Intensitas pengaruh dari luar pada struktur disebut beban atau gaya luar, dimana cara bekerjanya serta besarnya diatur dalam peraturan atau standar pembebanan yang berlaku.

Selain pengaruh dari luar yang dapat diukur sebagai besaran gaya seperti berat sendiri struktur, beban akibat hunian, pengaruh angin atau getaran gempa, tekanan hidrostatik air dan tekanan tanah, terdapat juga pengaruh-pengaruh luar yang tidak dapat diukur sebagai gaya dengan contoh antara lain pengaruh penurunan pondasi pada struktur bangunan atau pengaruh temperatur pada elemen struktur.

Secara umum beban atau gaya luar yang bekerja pada struktur dapat dibedakan menjadi beban statik dan beban dinamik yaitu seperti yang diuraikan dibawah ini :



2.5.1.1. Beban - Beban 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 2.1 Beban Mati Pada Struktur

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

❖ **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 2.2 Beban Hidup Pada Lantai Bangunan

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Beban hidup untuk ruang kuliah dan kantor	250 kg / m ²
Beban hidup untuk ruang pertemuan	400 kg / m ²
Balkon – balkon yang menjorok bebas keluar	300 kg / m ²

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Tangga dan Bordes	300 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:

- 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

Besarnya Beban Gempa Dasar Nominal horizontal akibat gempa menurut Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2003), dinyatakan sebagai berikut:

$$V = \frac{C_1 \times I}{R} \times W_i \quad \dots(2.1)$$

dimana:

V = Beban Gempa Dasar Nominal

Wt = Kombinasi dan beban mati dan beban hidup vertikal yang direduksi

C = Spektrum Respon Nominal Gempa Rencana, yang besarnya tergantung dari jenis tanah dasar dan waktu getar struktur T (Grafik 2.1 Pembagian Wilayah Gempa)

I = Faktor Keutamaan Struktur (Tabel 2.4)

R = Faktor Reduksi gempa maksimum untuk sistem rangka gedung beton bertulang (table 2.5)

Untuk menentukan harga C harus diketahui terlebih dahulu jenis tanah tempat struktur bangunan itu berdiri. Untuk menentukan jenis tanah menggunakan rumus tegangan tanah dasar sesuai dengan yang tertera pada Diktat Kuliah Rekayasa Pondasi sebagai berikut:

$$\begin{array}{l} \tau = c + \sum \sigma_1 \tan \phi \\ \sigma_1 = \gamma_1 + h_1 \end{array}$$

dimana:

τ = Tegangan geser tanah (kg/cm²)

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

σ_1 = Tegangan normal masing-masing lapisan tanah (kg/cm)

γ_1 = Berat jenis masing-masing lapisan tanah (kg/cm)

h = Tebal masing-masing lapisan tanah

ϕ = Sudut geser pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

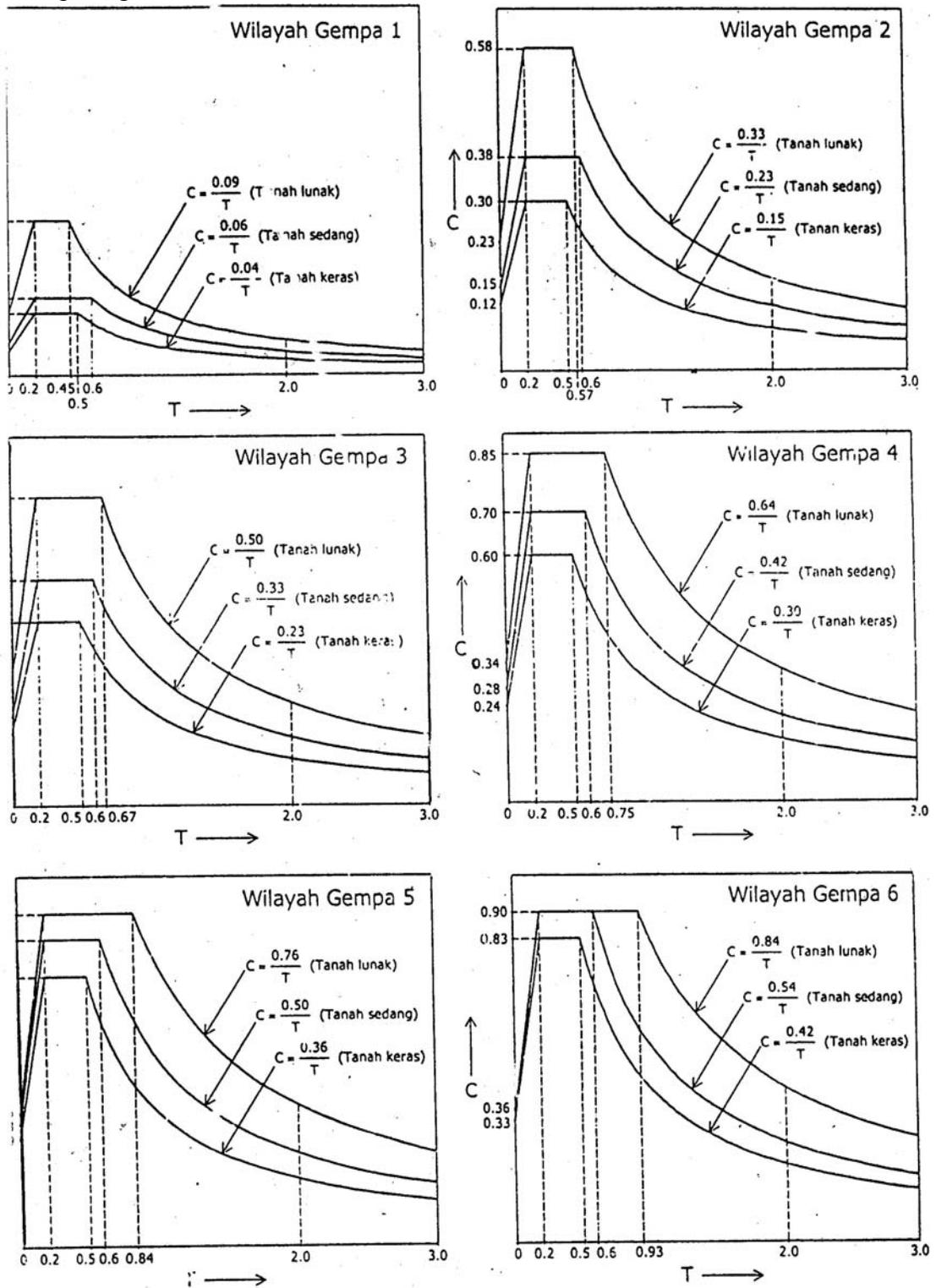
Tabel 2.3 Definisi Jenis Tanah

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

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Struktur

Jenis Struktur Bangunan Gedung	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1
Monumen dan bangunan monumental	1
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air minum, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1.5
Gedung untuk menyimpan bahan – bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam dan bahan beracun	1.5
Cerobong, tangki dai atas menara	1,25

Spektrum Respon Nominal Gempa Rencana untuk struktur dengan daktilitas penuh ($j = 5.00$) pada beberapa jenis tanah dasar, diperlihatkan pada gambar dibawah ini:



Grafik 2.1. Pembagian Wilayah Gempa

Tabel 2.5 Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis system dan subsistem struktur bangunan gedung

System dan subsistem struktur bangunan gedung	Uraian system pemikul beban gempa	μ_m	R_m pers.	f
1. System dinding penumpu (System struktur yang tidak memiliki rangka pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau system bresing memikul hamper 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	2.8
	2. Dinding geser beton bertulang	3.3	5.5	2.8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3.6	7.0	2.8
	b. Beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 & 6)	3.6	5.6	2.8
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja	4.1	6.4	2.2
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktil	4.0	6.5	2.8
	6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktil penuh	3.6	6.0	2.8
7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktil parsial	3.3	5.5	2.8	
3. Sistem rangka pemikul momen (System 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 mencegah beton (SRPMM) (tidak untuk wilayah 5 & 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 biasa (SRPMK)	4.0	6.5	2.8	

System dan subsistem struktur bangunan gedung	Uraian system pemikul beban gempa	μ_m	R_m pers.	f
<p>4. Sistem ganda</p> <p>Terdiri dari :</p> <p>1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi;</p> <p>2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah maupun memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral;</p> <p>3) kedua system harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi / system ganda</p>	1. Dinding geser			
	a. beton bertulang dengan SRPMK 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 wilyah 5 & 6)	4.0	6.5	2.8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk wilyah 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 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 wilyah 3, 4, 5 & 6)	3.4	5.5	2.8
<p>7. Subsistem tunggal</p> <p>(Subsistem struktur bidang yang membentuk bangunan gedung secara keseluruhan)</p>	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

Checking gaya gempa :

$$T_i = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \quad \dots(2.2)$$

Dimana :

T_i = waktu getar

W_i = berat lantai ke- i

F_i = gaya gempa lantai ke- i

d_i = deformasi lateral total akibat F_i yang terjadi pada lantai ke- i

g = percepatan gravitasi = 9,81 m/det².

2.5.1.2. 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 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 T 15-1991-03 sub bab 3.2.2** menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

❖ Untuk beban mati / tetap : Q = 1.2

❖ Untuk beban hidup sementara : Q = 1.6

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

$$U = 1.2D + 1.6L \quad \dots(2.3)$$

$$U = 1.05 (D + 0.6L \pm E) \quad \dots(2.4)$$

dimana: D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

2.5.1.3. 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 T-15-1991-01 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dari perhitungan struktur.

Tabel 2.6 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
Lintang dan Torsi	0.60
Tumpuan pada Beton	0.70

2.5.2. Distribusi dan Penyaluran Beban pada Struktur

Penyaluran beban merata dari pelat lantai ke balok induk dan balok anak mengikuti pola garis leleh pelat lantai. Untuk memudahkan perhitungan dalam analisa struktur, maka pada balok anak dilakukan perataan beban, dimana momen maksimum *free body* dari beban trapezium dan beban segitiga pelat lantai disamakan dengan momen dari beban merata segi empat. Kemudian untuk penyaluran beban terpusat dari balok anak ke balok induk diambil dari reaksi perletakan balok anak yang menentukan di lokasi tersebut. Selanjutnya beban dari balok induk disalurkan ke kolom dan diteruskan ke pondasi.

2.6. Prinsip Dasar Kapasitas

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

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

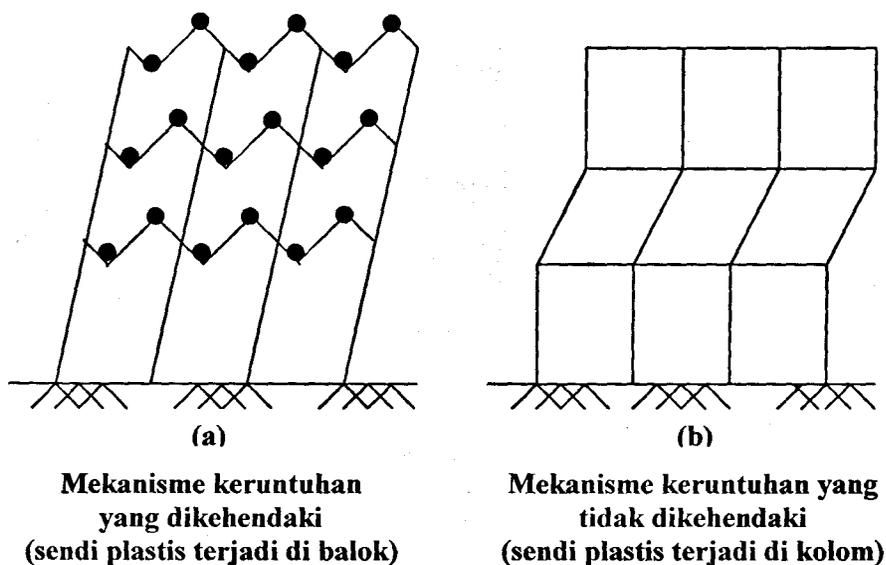
- Pada mekanisme sendi plastis pada balok pemencaran energi gempa terjadi di dalam banyak unsur, sedang pada mekanisme sendi plastis kolom pemencaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
- Pada mekanisme sendi plastis pada balok, bahaya ketidakstabilan akibat efek perpindahan jauh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

Pada prinsipnya dengan konsep desain kapasitas elemen-elemen utama penahan gempa dapat dipilih, direncanakan dan detail sedemikian rupa, sehingga mampu memancarkan 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.

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 katastrofik 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:

1. Pada mekanisme pertama (Gambar 2.4.a) penyebaran energi gempa terjadi dalam banyak unsur, sedangkan pada mekanisme kedua (Gambar 2.4.b) penyebaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
2. Daktilitas kurvatur yang dituntut dan balok untuk menghasilkan daktilitas struktur tertentu, misalnya $u = 5$ pada umumnya jauh lebih mudah dipenuhi daripada kolom yang seringkali tidak memiliki cukup daktilitas akibat gaya aksial tekan yang bekerja.



Gambar 2.4 Mekanisme Khas yang Dapat Terjadi Pada Portal

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

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

2.7. Analisis Perencanaan Struktur

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

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

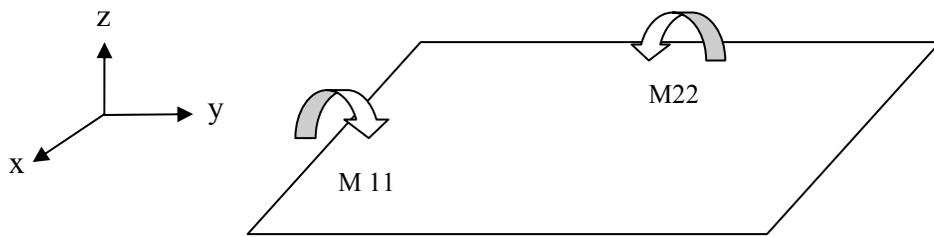
2.7.1 Perencanaan Pelat

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 penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan apabila panjang pelat tidak sama dengan lebarnya, maka balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar dari pada balok yang pendek.

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. Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 maka tebal ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

$$h \geq \frac{\ln\left(0.8 \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad \dots(2.5)$$

$$h \leq \frac{\ln\left(0.8 \frac{f_y}{1500}\right)}{36} \quad \dots(2.6)$$

Dimana: $\beta = L_y / L_x \quad \dots(2.7)$

L_n = panjang bersih pelat

3. Memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada pelat lantai.
4. Tentukan L_y/L_x
5. Tentukan momen yang menentukan (M_u)
 - M_{lx} (momen lapangan arah-X)

- Mtx (momen tumpuan arah-X)
- Mly (momen lapangan arah-Y)
- Mty (momen tumpuan arah-Y)
- Mtlx = 0,5 Mlx (momen jepit tak terduga arah-X)
- Mtly = 0,5 Mly (momen jepit tak terduga arah-Y)

6. Hitung penulangan arah-X dan arah-Y

Data – data yang diperlukan :

- Tebal pelat (h)
- Tebal selimut beton (cv)
- Momen (Mu)
- Diameter tulangan
- Tinggi efektif (dx dan dy)

a.
$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad \dots(2.8)$$

b.
$$k = \frac{Mn}{b.d.RI} \quad \dots(2.9)$$

c.
$$F = 1 - \sqrt{l - 2} \quad \dots(2.10)$$

d.
$$F_{max} = \beta \times 450 \times (600 + f_y) \quad \dots(2.11)$$

Jika $F > F_{max}$ maka digunakan tulangan ganda

Jika $F < F_{max}$ maka: digunakan tulangan single

e.
$$A_s = F \times b \times d \times RI/y$$

f. A_s terpasang bisa ditentukan

g. Pemeriksaan tulangan

- $$\rho_{max} = \beta \cdot \frac{450}{600 + f_y} \cdot RI \cdot f_y \quad \dots(2.12)$$

- $$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \dots(2.13)$$

- $$\rho = \frac{A_{sterpasang}}{b.d} \quad \dots(2.14)$$

- Kontrol: $\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \quad \dots(2.15)$

Jika $\rho < \rho_{min}$ digunakan rumus $A_s = \rho_{min} \times b \times d \quad \dots(2.16)$

Dalam laporan ini pengerjaan pelat menggunakan program *SAP 2000*, dengan memasukkan input beban mati dan hidup pada pelat maka akan didapatkan gaya-gaya dalam berupa momen ditumpuan dan dilapangan. Selanjutnya untuk desain penulangannya menggunakan program *SLAB* dari paket program *SANS*.

2.7.2 Perencanaan Struktur Portal Utama

Perencanaan portal mengacu pada SKSNI T-15-1991-03 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*.

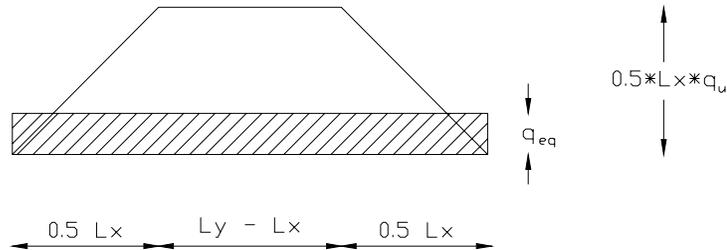
2.7.3 Perencanaan Struktur Balok

Dalam pradesain tinggi balok menurut SKSNI T-15 1991-03 merupakan fungsi dan bentang dan mutu baja yang digunakan. Secara umum pradesain tinggi balok direncanakan $L/10 - L/15$, dan lebar balok diambil $1/2H - 2/3H$ dimana H adalah tinggi balok (*CUR 1 hal.104*).

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

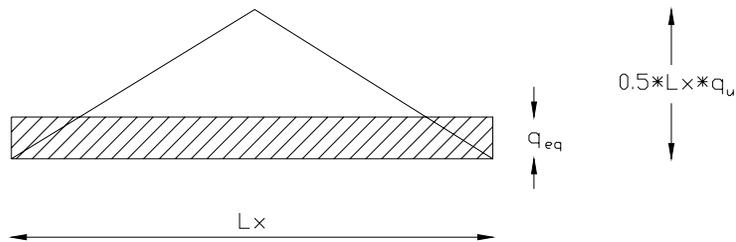
- Perataan Beban Trapesium



Gambar 2.5 Perataan Beban Trapesium

$$\begin{aligned}
 R_A = R_B &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} (l_y + l_x) \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x = q \cdot l_x \cdot (2l_y - l_x) / 8 \\
 M_{\max \text{ trapezium}} &= R_A \cdot \frac{1}{2} l_y - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} l_x \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x \left(\frac{1}{2} l_y^2 - \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} l_x \right) - \frac{1}{2} (l_y - l_x) \\
 &= \frac{1}{16} q \cdot l_x (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2) \\
 M_{\max \text{ beban merata}} &= \frac{1}{8} q_{ek} \cdot l_y^2 \\
 M_{\max \text{ trapezium}} &= M_{\max \text{ segi empat}} \\
 \frac{1}{8} q_{ek} \cdot l_y^2 &= \frac{1}{16} q \cdot l_x (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2) \\
 q_{ek} &= \frac{1}{2} q \cdot \left(\frac{l_x}{l_y^2} \right) (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2) \quad \dots(2.17)
 \end{aligned}$$

- Perataan beban segitiga



Gambar 2.6 Perataan Beban Segitiga

$$\begin{aligned}
 R_A = R_B &= \frac{1}{2} l_x \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8} q \cdot l_x^2 \\
 M_{\max \text{ segi tiga}} &= M_A \max = \frac{q \cdot l_x^3}{24}
 \end{aligned}$$

$$M_{\max} \text{ beban merata} = 1/8 \text{ qek} \cdot lx^2$$

$$M_{\max} \text{ segitiga} = M_{\max} \text{ segi empat}$$

$$1/8 \text{ qek} \cdot lx^2 = \frac{q \cdot lx^3}{24}$$

$$\mathbf{qek = 1/3 q \cdot lx} \quad \dots(2.18)$$

Perhitungan penulangan balok struktur beton menggunakan program *SAP* 2000 dengan memasukan input:

1. Karakteristik bahan
 - a. Material bahan
 - ▲ Berat jenis beton
 - ▲ Modulus elastisitas beton
 - ▲ f'_c
 - ▲ f_y
 - b. Dimensi rencana elemen struktur
 - ▲ Balok
 - ▲ Kolom
 - ▲ tumpuan
2. Beban – beban yang diderita oleh beton
 - a. Beban – beban sendiri balok
Langsung masuk input SAP 2000
 - b. Beban – beban mati
 - ▲ Beban merata
 - ◆ Beban pelat
Didapat dari perataan beban sebelumnya
 - ◆ Dinding
 - ▲ Beban Terpusat
 - ◆ Balok anak
 - ◆ Beban lift

- c. Beban hidup
 - ◆ Beban pelat
Didapat dari perataan beban sebelumnya
 - ▲ Beban Terpusat
 - ◆ Balok anak

Prosedur desain elemen-elemen balok dari struktur menggunakan analisa *SAP 2000* dengan *Concrete Design* berdasarkan metode ACI terdiri dua tahap sebagai berikut:

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

2.7.4 Perencanaan Struktur Kolom

Elemen kolom menerima beban lentur dan beban aksial, menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 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 segi empat) dapat dilakukan dengan :

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

Pada perencanaan Gedung LPMP Jawa Tengah ini dipakai perencanaan kolom dengan menggunakan tulangan pada empat sisi penampang kolom (*four faces*)

Perhitungan penulangan kolom dari struktur beton ini menggunakan program *SAP2000*. pada prosedur desain dari elemen kolom dengan *SAP2000*, harus terlebih dahulu ditentukan bentuk dari kolom (persegi atau lingkaran) serta menentukan jumlah penempatan dari tulangan yang akan dipasang pada elemen-elemen kolom struktur.

Untuk mencari besarnya momen rencana kolom dapat dilihat dari besarnya momen hasil perhitungan mekanika dengan program *SAP 2000* dan dari perhitungan momen aktual balok.

Perhitungan penulangan kolom dan struktur beton ini menggunakan program *SAP2000*. Prosedur desain elemen-elemen kolom dari struktur dengan *SAP 2000* terdiri dua tahap sebagai berikut:

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

2.7.5 Perencanaan Struktur Bawah (Pondasi)

Struktur bawah (*sub structure*) yang berupa pondasi, merupakan struktur yang berfungsi untuk meneruskan beban-beban dari struktur atas ke dalam lapisan tanah. Dalam menentukan jenis pondasi yang sesuai kita perlu mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut :

- ❖ Keadaan tanah, seperti parameter tanah, daya dukung tanah, dll.
- ❖ Jenis struktur atas (fungsi bangunan).
- ❖ Anggaran biaya yang dibutuhkan.
- ❖ Waktu pelaksanaan yang direncanakan.
- ❖ Keadaan lingkungan sekitar.

2.7.5.1 Parameter Tanah

Sebelum kita menentukan jenis pondasi yang akan digunakan, terlebih dahulu harus diketahui kondisi tanah tempat bangunan yang akan didirikan. Untuk keperluan tersebut, maka dilakukan penyelidikan tanah (*Soil Investigation*). Penyelidikan yang dilakukan terdiri dari penyelidikan lapangan (*field test*) dan penyelidikan laboratorium (*laboratory test*).

Penyelidikan tanah dimaksudkan untuk mengetahui kondisi geoteknik, baik keadaan, jenis dan sifat-sifat yang menjadi parameter dari tanah pondasi rencana. Yang dimaksud dengan kondisi geoteknik adalah :

- ❖ Struktur dan penyebaran tanah serta batuan
- ❖ Sifat fisis tanah (*Soil Properties*)
- ❖ Sifat teknis tanah/batuan (*Engineering Properties*)
- ❖ Kapasitas dukung tanah terhadap pondasi yang diperbolehkan sesuai dengan tipe pondasi yang akan digunakan.

Hasil penyelidikan tanah di lokasi dimana bangunan ini akan didirikan, yakni di jalan Kyai Mojo Sronдол Kulon Semarang dapat dilihat secara lengkap pada

lampiran Laporan Pekerjaan Penyelidikan Tanah yang terletak pada bagian akhir tugas akhir ini.

2.7.5.2 Pemilihan Tipe Pondasi

Berdasarkan data-data hasil penyelidikan tanah dilokasi perencanaan yang telah dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Diponegoro Semarang, untuk lokasi di jalan Kyai Mojo Srandol Kulon Semarang telah ditentukan bahwa lapisan tanah keras terletak pada kedalaman 11,8 m dari muka tanah setempat. Sehingga dalam hal ini diputuskan untuk menggunakan jenis pondasi dalam, yaitu *pondasi tiang pancang*.

2.7.5.3 Analisis daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah sangat diperlukan guna mengetahui kemampuan tanah sebagai perletakan/ pemakaian struktur pondasi. Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam mendukung beban baik berat sendiri struktur pondasi maupun beban struktur atas secara keseluruhan tanpa terjadinya keruntuhan. Nilai daya dukung tersebut dibatasi oleh suatu gaya dukung batas (*Ultimate Bearing Capacity*), yang merupakan keadaan saat mulai terjadi keruntuhan.

Sebelum kita menentukan jenis pondasi yang akan digunakan, kita harus menentukan daya dukung ijin (q_u) yang merupakan hasil bagi daya dukung batas (q_{ult}) dengan *safety factor* ($SF = 3$).

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 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 symbol 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 :

$$q_a = q_{ult} / FK \quad \dots(2.19)$$

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.

2.7.5.4 Peencanaan Pondasi Tiang Pancang

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

Pemilihan sistem pondasi in 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 merupakan pilihan terbaik

2.7.5.5 Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

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

- a. Berdasarkan kekuatan bahan

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

$$\sigma_b = 0,33. f'_c \quad ; f'_c = \text{kekuatan tekan beton karakteristik}$$

$$\sigma_b = 0,33. 250 = 82,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{tiang} = \sigma_b \cdot A_{tiang} \quad \dots(2.20)$$

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

σ_b = tegangan tekan tiang terhadap penumbukan

A_{tiang} = luas penampang tiang pancang

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 :

1. *End Bearing Pile*

Tiang pancang yang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras dibawahnya. Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang adalah :

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \cdot P}{SF} \quad \dots(2.21)$$

Kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan :

$$P_{\text{tiang}} = \text{bahan} \cdot A_{\text{tiang}}$$

Dengan :

Q_{tiang} = daya dukung keseimbangan tiang (kN)

A_{tiang} = luas permukaan tiang (m^2)

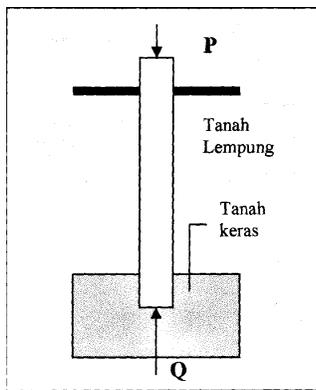
P = Nilai conus hasil sondir (kN/m^2)

SF = faktor keamanan(diambil 3)

P_{tiang} = kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang (kg)

A_{tiang} = luas tekan ijin bahan tiang (cm^2)

Bahan = tegangan tekan ijin bahan tiang (kg/cm^2)



Gambar 2.15 Bearing Pile

2. *Friction Pile*

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

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah :

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{O \cdot JHP}{SF} \quad \dots(2.22)$$

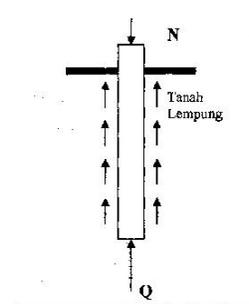
Dimana :

Q_{tiang} = daya dukung keseimbangan tiang (kN)

O = keliling tiang pancang (m)

JHP = Total Friction (kN/m)

SF = faktor keamanan (diambil 5)



Gambar 2.16 Friction Pile

2.7.5.6 Daya Dukung Ijin Tiang Group (P all Group)

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

Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan perkalian antara daya dukung satu tiang dengan banyaknya tiang dikalikan dengan faktor efisiensi group tiang.

Pall group = Eff x Pall 1 tiang (daya dukung tiang tunggal)

$$\text{Eff} = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{(m+n)} \right] \quad \dots(2.23)$$

Dengan :

- m = jumlah baris
- n = jumlah tiang satu baris
- θ = \tan^{-1} (d/s) dalam derajat
- d = diameter tiang (cm)
- s = jarak antar tiang (cm)

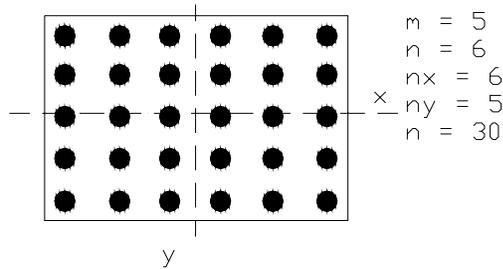
2.7.5.7 Pmax yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M(x).Y_{\max}}{n_x \cdot \sum y^2} \pm \frac{M(y).X_{\max}}{n_y \cdot \sum x^2} \quad \dots(2.24)$$

Dimana :

- P_{\max} = beban maksimum yang diterima oleh tiang pancang (kg)
- $\sum V$ = jumlah total beban normal
- $M(x)$ = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x (kg.cm)
- $M(y)$ = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y (kg.cm)
- n = banyaknya tiang pancang dalam kelompok tiang pancang (pile group)
- X_{\max} = absis terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

- Y_{max} = ordinat terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang
 n_x = banyaknya tiang pancang dalam satu baris dalam arah sumbu x
 n_y = banyaknya tiang pancang dalam satu baris dalam arah sumbu y
 Σx^2 = jumlah kuadrat absis-absis tiang pancang (cm^2)
 Σy^2 = jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang pancang (cm^2)



2.7.5.8 Kontrol Settlement

Dalam kelompok tiang pancang (*pile group*) ujung atas tiang-tiang tersebut dihubungkan satu dengan yang lainnya dengan poer (*pile cap*) yang kaku untuk mempersatukan pile-pile menjadi 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 dibawah 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 disebarkan merata ke lapisan tanah sebelah bawah dengan sudut penyebaran 30^0

Mekanisme penurunan pada pondasi tiang pancang dapat ditulus dalam persamaan :

$$S_r = S_i + S_c \quad \dots(2.25)$$

Dimana : S_r = Penurunan total pondasi tiang

S_i = Penurunan seketika pondasi tiang

S_c = Penurunan konsolidasi pondasi tiang

1. Penurunan seketika (*immediate settlement*)

Rumus yang digunakan :

$$S_i = q_n \cdot 2B \cdot \frac{1 - \mu \cdot 2}{E_u} \cdot I_p \quad \dots(2.26)$$

Dimana : q_n = besarnya tekanan netto pondasi

B = Lebar ekivalen dari pondasi rakit

μ = angka poisson, tergantung dari jenis tanah

I_p = Faktor pengaruh, tergantung dari bentuk dan kekakuan pondasi

E_u = sifat elastis tanah, tergantung dari jenis tanah

2. Penurunan Konsolidasi

Perhitungan dapat menggunakan rumus :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o} \quad \dots(2.27)$$

C_c = *compression index*

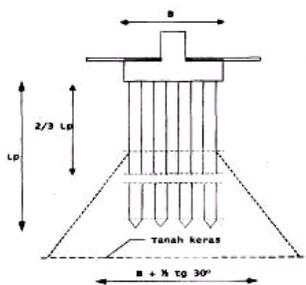
e_o = *void ratio*

p_o = tegangan efektif pada kedalaman yang ditinjau

ΔP = penambahan tegangan setelah ada bangunan

H = tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

Gambar Dibawah ini menunjukkan mekanisme penurunan pada tiang pancang.



Gambar 2.17 Penurunan Pada Tiang Pancang

Keterangan :

L_p = kedalaman tiang pancang

B = lebar poer

2.7.5.9 Kontrol Gaya Horizontal

kontrol gaya horizontal dilakukan untuk mencari gaya horizontal yang dapat didukung oleh tiang. Dalam perhitungan digunakan metode dari Brooms, grafik dari Brooms dapat dilihat dari gambar berikut:

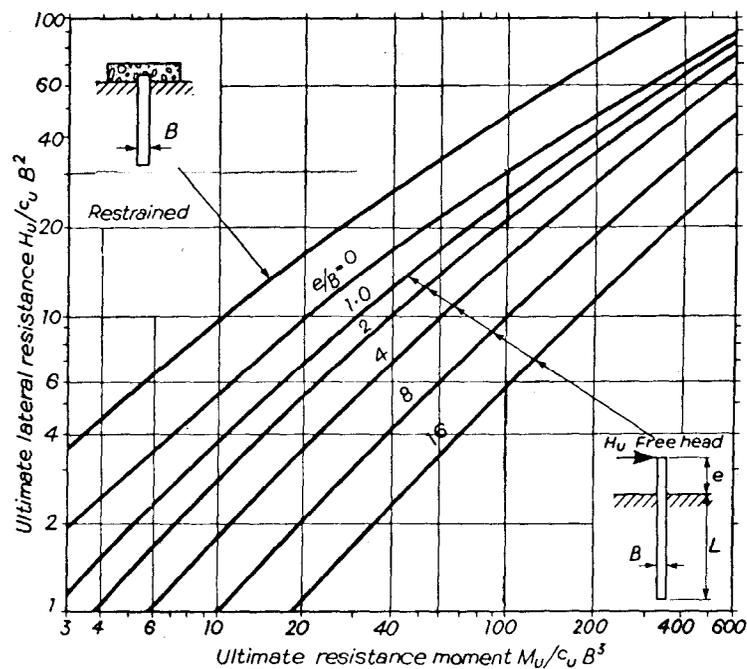


Fig. 6.29 Ultimate lateral resistance of long pile in cohesive soil related to ultimate resistance moment (after Brooms^(6,7))

Gambar 2.18 Grafik Brooms

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

$$\frac{M_u}{C_u.d^3} = x, \text{ X dilihat pada grafik dan diplot sehingga diperoleh harga}$$

$$\frac{H_u}{C_u.d^2}, = y$$

dari persamaan diatas dapat dicari H_u dan $H_{u\text{ijin}}$

Untuk menghitung Momen maksimum Brooms menggunakan persamaan:

$$H_u = \frac{2.Mu}{(1,5.d + 0,5.f)} \quad \dots(2.28)$$

$$\text{Dengan } f = \frac{H_u}{9.Cu.d} \quad \dots(2.29)$$

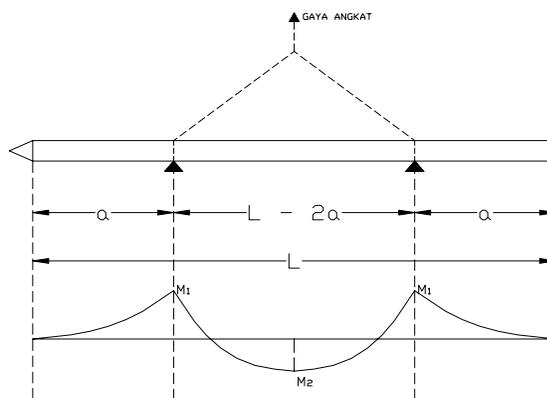
C_u = cohesi consolidation undrained (dilihat dari tabel)

d = diameter tiang

2.7.5.10 Penulangan tiang pancang

Penulangan tiang pancang harus juga diperhitungkan penulangan pada saat pelaksanaan pekerjaan, terutama pada saat pengangkatan tiang pancang. Hal ini disebabkan karena perbedaan momen yang terjadi pada saat pelaksanaan dan setelah pelaksanaan

Kondisi I



q = berat tiang pancang

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 \quad \dots(2.30)$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L-2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 \quad \dots(2.31)$$

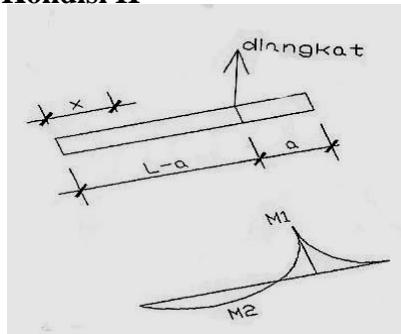
$$M_1 = M_2$$

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

$$q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L^2 - 4 \cdot a \cdot L + 4 \cdot a^2)$$

$$L^2 - 4.a.L - 4.a^2 = 0$$

Kondisi II



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

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

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

$$M_x = R_1 \cdot x - 0,5 \cdot q \cdot x^2$$

$$\frac{dM_x}{dx} = 0$$

$$R_1 - q \cdot x = 0 \quad x = \frac{R_1}{q}$$

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

$$M_2 = R_1 \cdot \frac{(L^2 - 2 \cdot a \cdot L)}{2 \cdot (L-a)} - \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{(L^2 - 2 \cdot a \cdot L)^2}{[2 \cdot (L-a)]^2}$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2 \cdot (L-a)} \quad \dots(2.32)$$

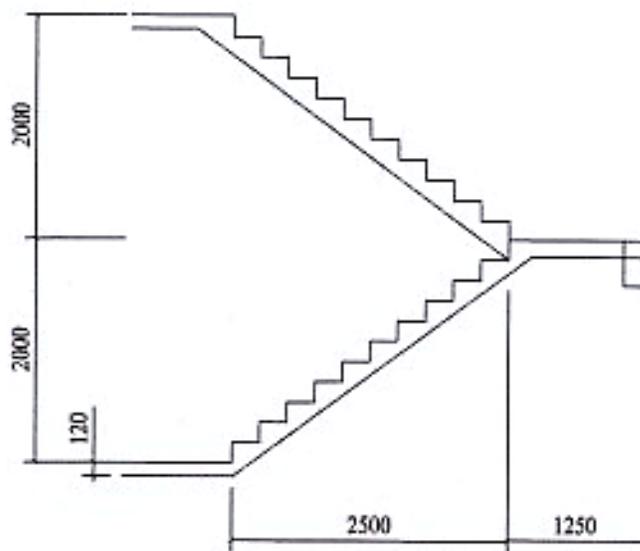
$$M_1 = M_2$$

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

$$2 \cdot a^2 - 4 \cdot a \cdot L + L^2 = 0$$

2.7.6 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga pada gedung ditentukan berdasarkan kebutuhan layan dan kenyamanan pengguna gedung tersebut. Tangga diletakkan di sisi kanan dan kiri gedung sehingga mempunyai aksesibilitas yang tinggi, mulai lantai satu sampai empat.



TAMPAK SAMPING
SKALA 1 : 50

Semua tangga yang berada didalam ruangan direncanakan menggunakan tipe K dengan pelat miring sebagai ibu tangga. Perhitungan *optrede* dan *aptrede* tangga menggunakan rumus :

$$2 \text{ Optrede} + \text{Aptrede} = 61 \text{ s/d } 65 \text{ cm}$$

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*.

2.7.7 Perencanaan Lift

❖ Kapasitas dan Jumlah Lift

Kapasitas dan jumlah lift disesuaikan dengan perkiraan jumlah pemakai lift. Jumlah lift direncanakan 1 buah dengan pertimbangan karena jumlah tersebut mampu memenuhi kapasitas yang ideal pemakai.

❖ Perencanaan Kontruksi

a. Mekanikal

Tidak direncanakan disini karena sudah direncanakan pabrik dengan spesifikasi tertentu seperti pada tabel sebagai dasar perencanaan konstruksi tersebut akan diletakan.

b. Konstruksi Ruang dan Tempat Lif

Lift terdiri dari 3 komponen utama yaitu :

1. Mesin denga kabel penarik serta perangkat lainnya.
2. Trache/traksi/kereta penumpang yang digunakan untuk mengangkut penumpang dengan peralatan penyeimbangannya.
3. Ruangan dan landasan serta konstruksi penumpu untuk mesin, kereta, beban dan peralatan penyeimbangannya.

Ruangan dan landasan lift direncanakan berdasarkan kriteria sebagai berikut:

1. Ruangng dan tempat mesin lift dilrtekan pada lantai atas bangunan, perlu dibuat dinding penutup mesin yang memenuhi syarat yang dibutuhkan mesin dankenyamanan pemakai gedung.
2. Mesin lift dengan beban-beban berat sendiri, berat traksi dan penyeimbangannya ditumpukan pada balok-balok portal.
3. Ruang terbawah diberi kelonggogaran untuk menghindari tumbukan antara lift dan lantai dasar, juga direncanakan tumpuan yang menahan lift pada saat *maintenance*.

Spesifikasi Lift yang digunakan, yaitu *Freight Elevator Type F0750*, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Entrance :

➤ *Dor Opening Type* : 2S

➤ *Width x Height (OP x EH)* : 1100 mm x 2100 mm

➤ *Entrance Type* : *Double Entrance*

Speed : 45 m/menit = 0,75 m/det

Car : *External Dimension (A x B)* : 1700 mm x 2000 mm, dengan tinggi 2200 mm

M/C Room :

➤ *Dimension* : 6,725 mm x 7500 mm

➤ *M/C Room Reaction (kg)* : R1 = 6200 kg ; R2 = 4100 kg

➤ *Buffer Reaction (kg)* : R3 = 5000 kg ; R4 = 4300 kg

Pit : 1700 mm

Hoistway :

➤ *X x Y* : 2500 mm x 2575 mm

➤ *Overhead (OH)* : 4800 mm

Jumlah Penumpang : 12 orang

Beban Angkut : 1500 kg