

BAB II

STUDI PUSTAKA

II.1. Tinjauan Umum

Pada tahap perencanaan struktur gedung perkantoran ini, perlu dilakukan studi mengenai hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan digunakan, disamping juga untuk mengetahui dasar-dasar teorinya. Pada jenis struktur gedung tertentu, perencanaan sering kali diharuskan menggunakan suatu pola akibat dari syarat-syarat fungsional maupun strukturnya. Pola-pola yang dibentuk oleh konfigurasi fungsional akan berpengaruh secara implisit pada desain struktur yang digunakan. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menentukan, misalnya pada situasi yang mengharuskan bentang ruang yang besar serta harus bebas kolom, sehingga akan menghasilkan beban yang harus dipikul oleh balok yang lebih besar pula.

II.2. Konsep Pemilihan Jenis Struktur

Pemilihan jenis struktur atas (*upper structure*) 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 kebutuhan yang dimaksud.

2. Aspek fungsional

Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi dari 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 dapat digunakan, maka faktor ekonomi dan kemudahan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang dipilih.

5. Faktor kemampuan struktur mengakomodasi sistem layan gedung

Sistem harus mampu mendukung beban rancang yang 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 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 *sumber : buku mekanika tanah, Sosrodarsono Suyono dkk, 1994* 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 akan dipilih.

2) Batasan – batasan akibat konstruksi diatasnya.

Keadaan struktur atas sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban, dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan diatasnya (statis tertentu atau tak tentu, 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 kaitannya dengan tujuan pencapaian kondisi ekonomis dalam pembangunan.

II.2.1. Elemen – Elemen Struktur Utama

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 horizontal di atas elemen kaku vertikal. Balok memikul beban secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh balok dan mentransfer beban ke tanah atau pondasi.

II.2.2. 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 ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

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

Penggunaan sistem prategang pada elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi 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.

II.3. Konsep Desain / Perencanaan Struktur

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

II.3.1. Konsep Pembebanan

A. Beban - Beban Pada Struktur

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

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

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

1. Beban Statis

Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1983 yang diperhitungkan dalam perencanaan ini adalah:

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

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

Tabel II.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: PPIUG 1983

- **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 II.2 Beban Hidup Pada Lantai Bangunan

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

Sumber PPIUG 1983

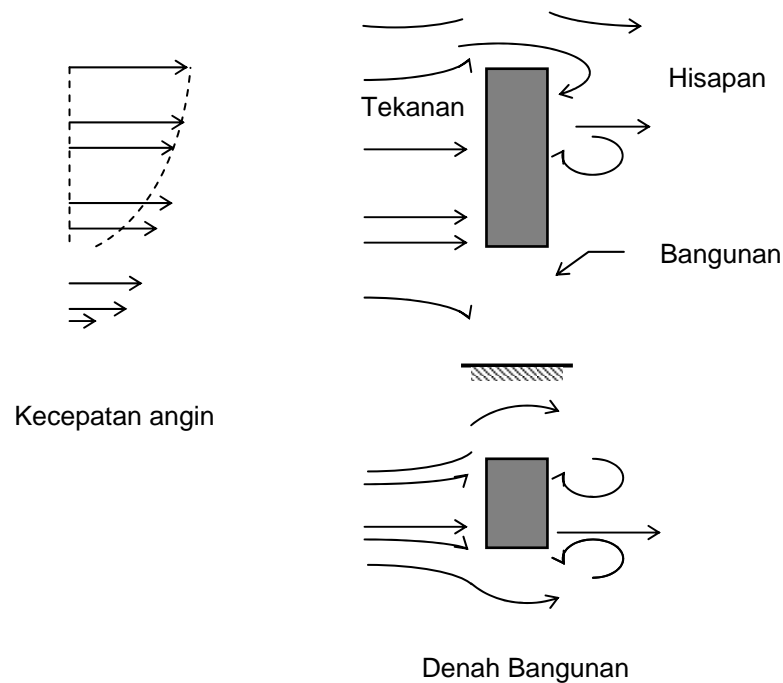
2. Beban Dinamis

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. Beban dinamis ini terdiri dari beban gempa dan beban angin.

- Beban Angin (*Wind Load/WL*)

Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (hisapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan angin untuk gedung diambil minimum 25 kg/m² (untuk gedung) dan dikalikan dengan koefisien angin untuk dinding vertikal:

- di pihak angin +1
- di belakang angin - 0.4
- sejajar dengan arah angin - 0.4



Gambar II.1. Beban Angin pada Struktur Bangunan

- **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 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 1726-1998), dinyatakan sebagai berikut:

$$V = \frac{C \cdot I}{R} W_t$$

Dimana:

V = Beban Gempa Dasar Nominal (didapati dengan mengalikan beban gempa rencana dengan koefisien 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

I = Faktor Keutamaan Struktur

R = Faktor reduksi gempa

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:

$$\tau = c + \sum \sigma_1 \tan \phi$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 + h_1$$

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 II.3 Jenis-Jenis Tanah

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata \bar{v}_s (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata \bar{N}	Kuat geser nilai rata-rata \bar{S}_u (kPa)
Tanah Keras	$\bar{v}_s \geq 350$	$\bar{N} \geq 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{v}_s < 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

Sumber : SNI 1726 – 2002

Tabel II.4 Faktor Keutamaan Struktur

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I_3
Gedung umum seperti untuk perumahan, 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 diatas menara	1,5	1,0	1,5

Sumber : SNI 1726 – 2002

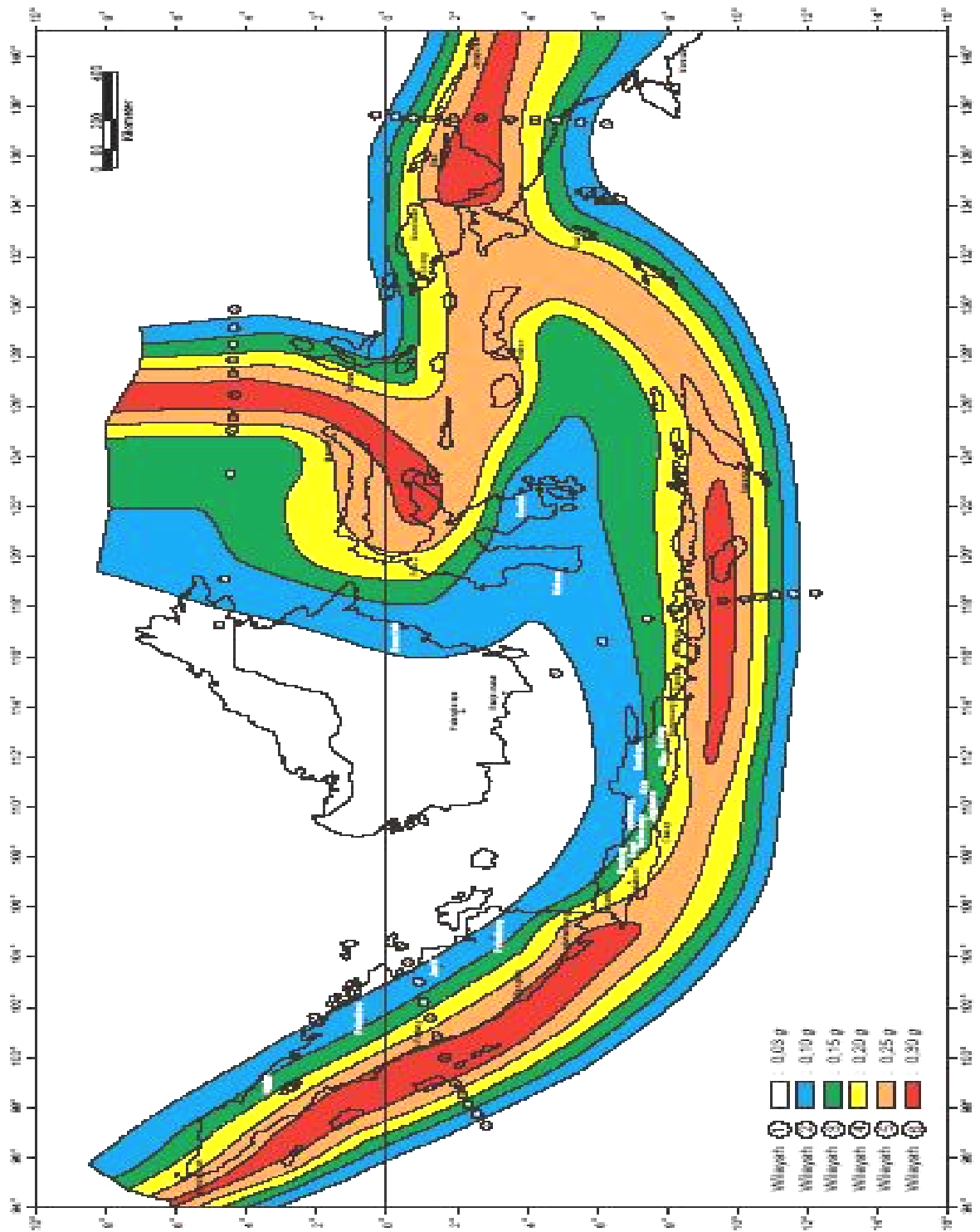
Catatan :

Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya Standar ini maka Faktor Keutamaan I dapat dikalikan 80%

Tabel II.5 Faktor Reduksi Gempa

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	R
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	8,5
	b. Beton bertulang	8,5
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	5,5
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)	
	a. Baja	4,5
	b. Beton bertulang	3,5
	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	6,5

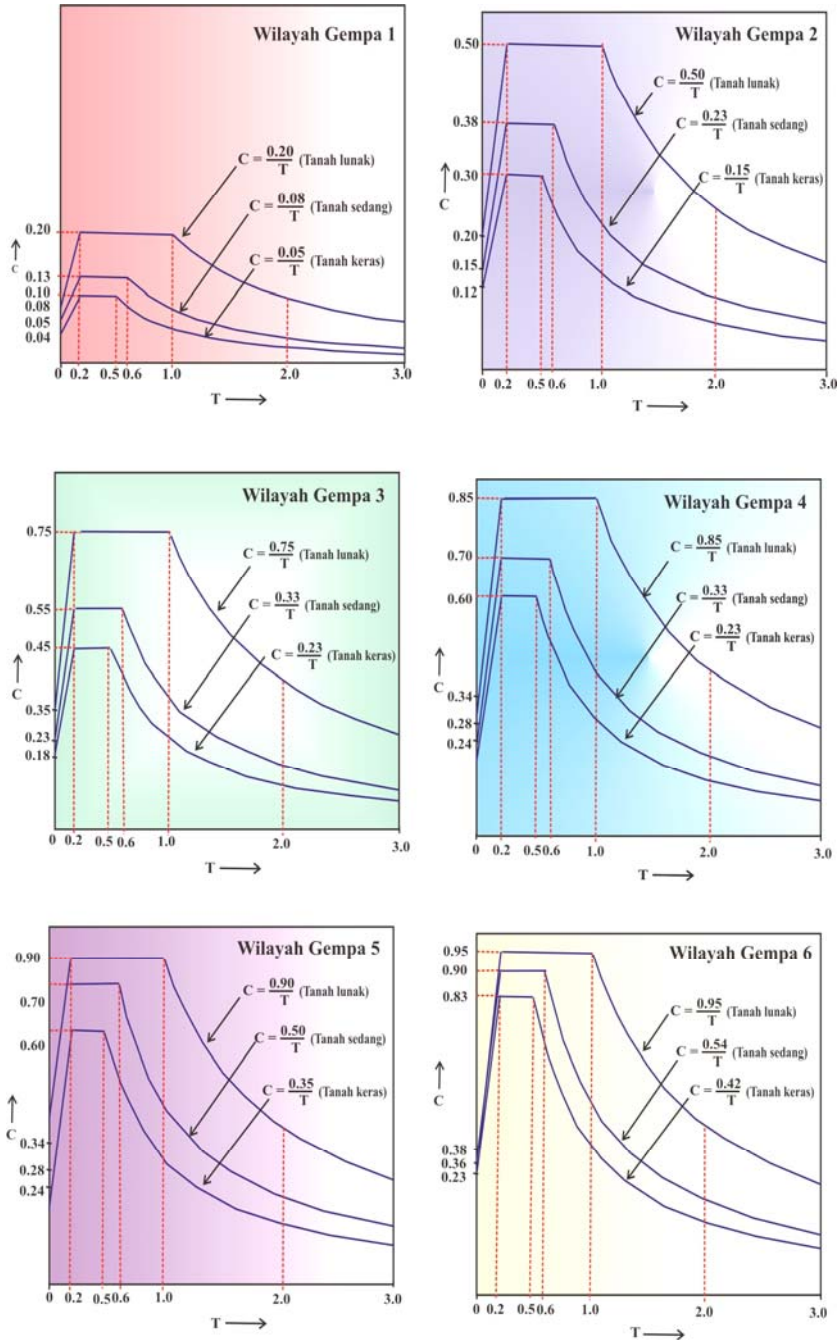
Sumber : SNI 1726 – 2002



Sumber : SNI 1726 – 2002

Gambar II.2. Peta kegempaan Indonesia, terdiri dari 6 Wilayah Gempa

Spektrum Respon Nominal Gempa Rencana untuk struktur dengan daktilitas penuh pada beberapa jenis tanah dasar, diperlihatkan pada gambar dibawah ini :



Sumber : SNI 1726 – 2002

Gambar II.3. Spektrum Respon Gempa Rencana

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

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

- Pada mekanisme sendi plastis pada balok pemancaran energi gempa terjadi di dalam banyak unsur, sedang pada mekanisme sendi plastis kolom pemancaran 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.

B. 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 T15-1991-03 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:

$$U = 1.2D + 1.6L$$

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

dimana:

$$D = \text{Beban Mati}$$

$$L = \text{Beban Hidup}$$

$$E = \text{Beban Gempa}$$

II.3.2. Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya. SKSNI NT T-15-1991-01 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dan perhitungan struktur.

Tabel II.6 Reduksi Kekuatan

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi
Beban lentur tanpa gaya aksial	0.80
Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur	0.80
Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur <ul style="list-style-type: none">• Dengan tulangan spiral• Dengan tulangan biasa	0.70 0.65
Lintang dan Torsi	0.60
Tumpuan Pada Beton	0.70

II.3.3. Desain Terhadap Beban Lateral (Gempa)

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

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

A. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

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

1. Metode Analisis Statis

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

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya - gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral orce 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. 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 yang tingginya lebih dari 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*).

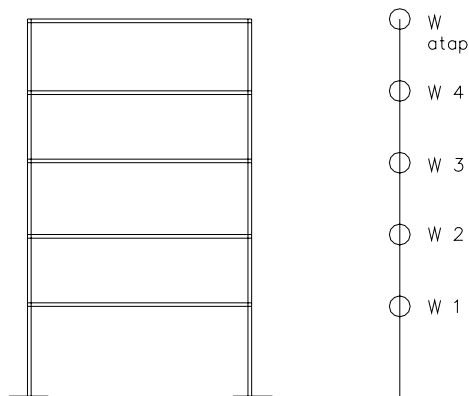
B. Pemilihan Cara Analisis

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

Gempa Rencana sesuai kondisi struktur. Untuk struktur bangunan yang cukup besar menggunakan analisis dinamik, metode Analisis Ragam Spektrum respon. Sedang untuk struktur bangunan tidak merata ke arah vertikal dengan menggunakan Analisis Modal.

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

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



Gambar II.4. Pemodelan Struktur dan Model Lump Mass

II.4. Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

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

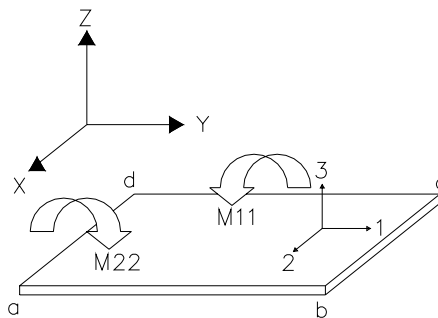
Perencanaan struktur portal utama direncanakan dengan menggunakan prinsip strong column weak beam, dimana sendi - sendi plastis diusahakan terletak pada balok - balok.

II.4.1. Perencanaan Pelat

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

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

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



Gambar II.5. 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. Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 maka tebal ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

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

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

Dimana: $\beta = L_y / L_x$

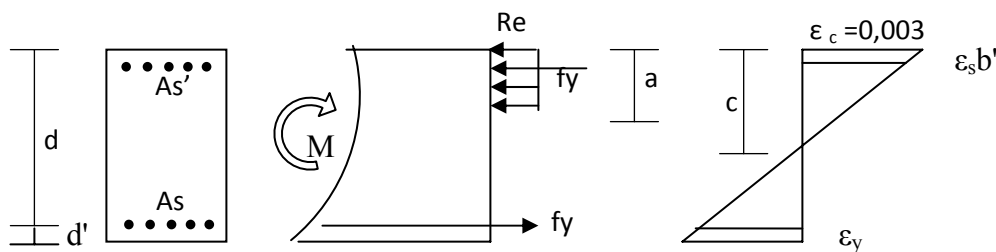
L_n = panjang bersih pelat

3. Memperhitungkan beban - beban yang bekerja pada pelat.
4. Tentukan L_x / L_y .
5. Tentukan momen yang menentukan (M_u) dengan bantuan program SAP 2000
6. Hitung penulangan (arah-x dan arah-y)

Data-data yang diperlukan : h, tebal selimut beton (p), M_u , ϕ_D , tinggi efektif (dx dan dy).

II.4.2. Penulangan Balok Penampang Persegi Tulangan *Double*

Menurut buku *Menghitung Beton Bertulang* oleh Ir. Udiyanto hal 33



Gambar II.6. Diagram Tegangan & Regangan Penampang Persegi dengan Tulangan *Double*

Dari diagram tegangan dan regangan dapat dilihat bahwa :

$$\frac{c}{0,003} = \frac{d}{0,003 + \varepsilon_s}$$

Sedangkan besarnya c sendiri adalah a/β_1 , maka :

$$\begin{aligned} a &= \frac{\beta_1 \cdot d \cdot 0,003}{0,003 + \varepsilon_s} \\ &= \frac{\beta_1 \cdot d \cdot 0,003}{0,003 + \left(\frac{f_y}{E_s}\right)} \\ &= \frac{\beta_1 \cdot d \cdot 0,003 \cdot E_s}{0,003 E_s + f_y} ; \text{ di mana } E_s = 200.000 \text{ kg/cm}^2 \\ &= \frac{\beta_1 \cdot d \cdot 6000}{6000 + f_y} \end{aligned}$$

A. Prosedur Perhitungan

Perlu dicari dahulu M_u , f_c' , f_y , b , h , d dan d' . Sedangkan perhitungannya menurut buku *menghitung Beton Bertulang* oleh Ir. Udiyanto, adalah sebagai berikut :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$F_{\text{maks}} = \beta_1 \cdot \left(\frac{450}{600 + f_y} \right) ; \text{ di mana satuan dalam SI}$$

$$K_{\text{maks}} = F_{\text{maks}} \cdot (1 - F_{\text{maks}}/2)$$

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2 \cdot R_e}$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$$

1. Jika $F \leq F_{\text{maks}}$

Dalam hal ini sebenarnya cukup menggunakan tulangan *single underreinforced*, namun karena telah dipilih tulangan *double*, maka perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$A_s' = A_{s2}$$

$$M_2 = A_s' \cdot f_y \cdot (d - d')$$

$$M_1 = M - M_2$$

- Jika $M_1 \leq 0$, maka A_s' dianggap = 0, perhitungan penampang tulangan *single*.

- Jika $M_1 > 0$, maka A_s' diperhitungkan :

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2 \cdot R_e}$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K} \leq F_{maks} = \beta_1 \cdot \left(\frac{450}{600 + f_y} \right)$$

$$A_{s1} = F \cdot b \cdot d \cdot \frac{R_e}{f_y}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

Pemeriksaan tulangan :

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \leq \rho_{maks} \text{ tulangan } single$$

$$\left(\frac{d'}{d} \right) \leq \left(\frac{d'}{d} \right)_{maks} ; \text{ dengan } F = F_{maks}$$

$$\rho_1 \text{ terpasang} \geq \beta \cdot \frac{R_e}{f_y} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{600}{600 - f_y} ; \text{ di mana satuan dalam SI}$$

2. Jika $F > F_{maks}$

Jika $F > F_{maks}$, maka gunakan tulangan *double*.

$$M_1 = K_{maks} \cdot b \cdot d^2 \cdot R_e$$

$$M_2 = M - M_1$$

$$A_s' = A_{s2} = \frac{M_2}{f_y \cdot (d - d')}$$

$$A_{s1} = (F_{maks} \cdot b \cdot d) \cdot \frac{R_e}{f_y}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

Pemeriksaan tulangan terpasang :

$$\rho_{\text{maks}} = \left(\beta_1 \frac{450}{600 + f_y} \cdot \frac{\text{Re}}{f_y} \right)$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \leq \rho_{\text{maks}}$$

$$(d'/d) \leq (d'/d)_{\text{maks}} \text{ dengan } F = F_{\text{maks}}$$

$$\rho_1 \text{ terpasang} \geq \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \text{ (tulangan single)}$$

II.4.3. Menghitung Tulangan Geser dengan Gaya Aksial

Tahapan perhitungan untuk tulangan geser dengan gaya aksial apabila telah diketahui f_c' , f_y , b_w , b , d , V_u , M_u dan N_u menurut buku *Menghitung Beton Bertulang* oleh Ir. Udiyanto, sebagai berikut :

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

A. Untuk Gaya Aksial Tekan

Menurut buku *Menghitung Beton Bertulang* oleh Ir. Udiyanto hal 68

$$\frac{V_u \cdot d}{M_u} \leq 1$$

$$V_c = \left(\sqrt{f_c'} + \frac{120 \cdot \rho_w \cdot V_u \cdot d}{M_u - N_u \cdot \frac{4 \cdot h - d}{8}} \right) \cdot \frac{b_w \cdot d}{7} ; \text{ atau}$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + 0,073 \cdot \frac{N_u}{A_g} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right)$$

$$\text{Jika } V_c > A = 0,3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g}} ; \text{ maka } V_c = A$$

B. Untuk Gaya Aksial Tarik

Menurut buku *Menghitung Beton Bertulang* oleh Ir. Udiyanto hal 69

$$V_c = \left(1 - 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b_w \cdot d \geq 0$$

$$\text{Jika } V_c > B = 0,3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d ; \text{ maka } V_c = B$$

1. Jika $(V_n - V_c) \geq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$; maka ukuran penampang diperbesar.

2. Jika $(V_n - V_c) < \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$; maka ukuran penampang cukup.

- Jika $V_u < \phi \cdot \frac{V_c}{2}$; maka tidak perlu tulangan geser

- Jika $V_u \geq \phi \cdot \frac{V_c}{2}$; maka perlu tulangan geser

1) Jika $V_u < \phi V_c$ maka perlu tulangan geser minimum.

$$A_v = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y}$$

$$s < \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm}$$

2) Jika $V_u > \phi V_c$ maka perlu tulangan geser.

a) Sengkang

$$A_v = \frac{(V_n - V_c) \cdot s}{d \cdot f_y} \text{ di mana } s < \frac{d}{2} \text{ mm}$$

$$\text{Bila } (V_n - V_c) \geq 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \text{ di mana } s \leq \frac{d}{4}$$

b) Tulangan miring $r \leq 0,5$

$$A_v = \frac{r \cdot (V_n - V_c) \cdot s}{d \cdot f_y (\sin \alpha + \cos \alpha)} \text{ di mana : } s \leq \frac{3}{8} \cdot d \cdot (1 + \text{Ctg } \alpha)$$

Bila $(V_n - V_c) \geq 0,33 \sqrt{f_c'} \cdot B_w \cdot d$, maka :

$$s \leq \frac{3}{16} \cdot d \cdot (1 + \text{Cotg } \alpha)$$

$$\text{Untuk } \alpha = 45^\circ \text{ , maka } A_v = r \cdot \frac{(V_n - V_c) \cdot s}{1,414 \cdot d \cdot f_y}$$

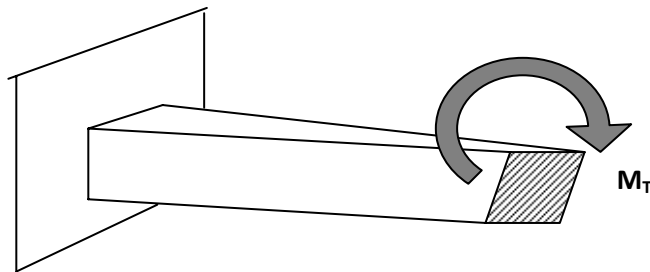
$$\text{Sengkang : } A_v = \frac{(1-r)(V_n - V_c) \cdot s}{d \cdot f_y}$$

II.4.4. Menghitung Puntir (tors) dan Geser Lentur

Torsi adalah puntiran. Jadi tegangan torsi adalah tegangan akibat adanya puntiran pada penampang karena eksternal. Dalam banyak hal, sering terjadi

gaya yang menyebabkan elemen struktur berotasi terhadap sumbu longitudinalnya. Gaya yang merupakan resultante dari tegangan torsi adalah merupakan kopel yang mengimbangi momen torsi eksternal. Tegangan pada suatu titik (τ) tergantung pada besarnya momen torsi (M_T), lokasi titik (r yang terdefinisi dengan jarak r dari pusat berat) dan besaran penampang yang disebut J . Hubungan antara parameter-parameter tersebut diberikan oleh $\tau = \frac{M \cdot r}{J}$.

Perumusan ini analog dari persamaan tegangan lentur $\sigma_y = \frac{M \cdot y}{I}$ di mana J analog dengan I dan terdefiniskan sebagai $J = A \int r^2 dA$. Besaran J disebut sebagai momen inersia polar.



Gambar II.7. Pengaruh Momen Puntir (M_T) pada Penampang Balok

Dalam SK SNI-T-15-1991-03 Bab 3 - 4 dicantumkan cara perhitungan pengaruh - pengaruh torsi. Pasal 3.4.6.5 menentukan bahwa penampang yang dibebani torsi harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat :

- $T_u \leq \phi T_n$
- $T_u = 1,2 T_d + 1,6 T_L$
- $T_n = T_c + T_s$

Di mana :

T_u : momen torsi terfaktor pada penampang yang ditinjau.

T_d : momen torsi akibat beban mati pada penampang.

T_L : momen torsi akibat beban hidup pada penampang.

T_n : kuat momen torsi nominal.

T_c : kuat torsi nominal yang disumbangkan oleh beton.

T_s : kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan torsi

ϕ : factor reduksi kekuatan

Perhitungan oleh Ir. Udiyanto dalam buku *Menghitung Beton Bertulang hal 151* bila diketahui kekuatan bahan, dimensi penampang, V_u , T_u dan N_u (N_u berharga positif jika tekan dan negatif jika tarik), sebagai berikut :

Untuk $f_y < 400$ Mpa maka penampang cukup bila :

$$T_u = \frac{\phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{3} \right) \cdot \sum (x^2 \cdot y)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}}$$

$$C_t = \frac{b_w \cdot d}{\sum (x^2 \cdot y)}$$

1. Jika $T_u < \frac{\phi \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \sum (x^2 \cdot y)}{20}$, maka pengaruh puntir diabaikan.
2. Jika $T_u > \frac{\phi \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \sum (x^2 \cdot y)}{20}$, maka pengaruh puntir dihitung :

$$T_c = \frac{\phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{15} \right) \cdot \sum (x^2 \cdot y)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \cdot \left(1 + \frac{0,3 \cdot N_u}{A_g} \right)$$

- a) Jika $\frac{T_u}{\phi} < T_c$ maka penulangan torsi minimum.

s yang terkecil dari $\frac{(x_1 \cdot y_1)}{4}$ atau 30 cm atau $\frac{d}{2}$.

$$V_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left(\frac{C_t \cdot T_u}{0,4 \cdot V_u} \right)^2}} \cdot \left(1 + \frac{0,3 \cdot N_u}{A_g} \right)$$

Hitung geser lentur dan A_v (lihat bab geser lentur)

Luas penampang kedua kaki sengkang = $A_v + 2 A_t$

$$\text{Batasannya : } \frac{4 \cdot 0,34 \cdot bw \cdot s}{f_y} > (A_v + 2 A_t) \geq \frac{0,34 \cdot bw \cdot s}{f_y}$$

Luas penampang tulangan memanjang puntir total:

$$A_1 = \frac{2 \cdot A_t \cdot (x_1 + y_1)}{s}$$

b) Jika $\frac{T_u}{\phi} > T_c$ maka penampang cukup jika :

$$T_s = \left(\frac{T_u}{\phi} - T_c \right) \leq 4 \cdot T_u$$

$$V_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) \cdot bw \cdot d}{\sqrt{1 + \left(\frac{C_t \cdot T_u}{0,4 \cdot V_u} \right)^2}}$$

s yang terkecil dari $\frac{(x_1 \cdot y_1)}{4}$ atau 30 cm atau $\frac{d}{2}$.

$$\alpha \cdot T = 0,66 + 0,33 \frac{y_1}{x_1} \leq 1,5$$

$$A_t = \frac{\left(\frac{T_u}{\phi} - T_c \right) \cdot s}{\alpha t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y}$$

Luas penampang sebuah kaki sengkang = $\frac{(A_v + 2 A_t)}{2}$

Luas penampang tulangan memanjang puntir total :

$$A_1 = \frac{2 \cdot A_t \cdot (x_1 + y_1)}{s} \text{ atau}$$

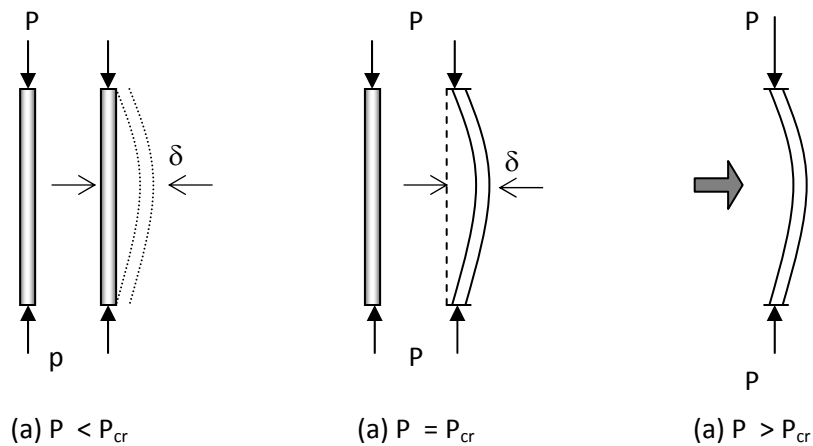
$$A_1 = \left(\left(\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \right) \left(\frac{T_u}{\left(T_u + \frac{V_u}{3 C_t} \right) - 2 \cdot at} \right) \right) \cdot \frac{(x_1 + y_1)}{s}$$

$$\text{Di mana : } 2 A_t > \frac{0,34 \cdot bw \cdot s}{f_y}$$

II.4.5. Perencanaan Kolom

A. Teori Tekuk pada Kolom

Elemen kolom ini disebut pula elemen tekan karena elemen ini hanya memikul gaya tekan. Dengan adanya gaya tekan ini maka timbul fenomena tekuk (*buckling*) yang harus ditinjau pada kolom, terutama pada kolom panjang. Apabila kolom telah menekuk maka kolom tersebut sudah tidak mempunyai kemampuan lagi untuk menerima beban tambahan. Sedikit saja penambahan beban akan terjadi keruntuhan. Dengan demikian, kapasitas pikul beban untuk elemen struktur kolom itu adalah besar beban yang menyebabkan kolom tersebut mengalami tekuk awal.



Gambar II.8. Perilaku Kolom yang Dibebani

Orang pertama yang memformulasikan ekspresi beban tekuk kritis pada kolom adalah Leonard Euler. Disebut tekuk kritis karena terjadinya tekuk disebabkan oleh adanya beban kritis. Beban kritis ini dirumuskan dalam persamaan Euler berikut ini :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Di mana :

- E : Modulus elastisitas
- I : Momen inersia
- L : Panjang kolom

Rumus di atas hanya berlaku untuk kolom dengan kedua ujungnya sendi (W.C Vis & Gideon Kusuma, 1994). Pada kondisi lain rumus tersebut dibagi factor tekuk k yang besarnya tertentu. Untuk kedua ujung jepit $k = 0,5$. Untuk ujung jepit-sendiri $k = 0,707$. Sedangkan kolom dengan ujung jepit-bebas ditentukan $k = 2,0$.

Selain itu kolom juga harus ditinjau terhadap kemungkinan adanya beban eksentris. Pembebanan pada kolom dibedakan menjadi dua kondisi, yaitu beban terpusat dan beban eksentris. Umumnya beban pada kolom termasuk beban eksentris dan sangat jarang ditemukan suatu kasus beban kolom terpusat. Pada beban eksentris pusat beban tidak tepat di pusat titik berat penampang, atau terdapat eksentrisitas sebesar e dari pusat beban ke titik berat penampang. Adanya eksentrisitas ini harus diperhitungkan, karena akan menimbulkan momen pada kolom.

B. Mendesain Tulangan Penampang Persegi dengan Gaya Tekan Eksentris

Untuk merancang awal bias digunakan keadaan *balance* dan tulangan simetris ($A_s' = A_s$)

Menurut buku *Menghitung Beton Bertulang* oleh Ir. Udiyanto hal 108 - 109

$$P = \frac{P_u}{\phi} < P_{maks} = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$ab = \beta_1 \cdot d \cdot \frac{6000}{6000 + f_y}; \text{ di mana satuan dalam metrik.}$$

1. Penampang Tulangannya Tidak simetris

Menurut buku *Menghitung Beton Bertulang* oleh Ir. Udiyanto hal 110

- Jika $e > (0,3 \cdot d + h/2 - d')$

Gunakan $a = ab$

$$P \cdot e = R_e \cdot b \cdot ab \cdot \left(d - \frac{ab}{2} \right) + f_y \cdot a_s' \cdot (d - d')$$

$$A_s' = \frac{P \cdot e - \left(R_e \cdot b \cdot ab \cdot \left(d - \frac{ab}{2} \right) \right)}{f_y \cdot (d - d')}$$

$$= \frac{P \cdot e - (K_b \cdot R_e \cdot b \cdot d^2)}{f_y \cdot (d - d')}$$

$$A_s = \frac{(R_e \cdot b \cdot a b) - P}{f_y} + A_s'$$

Periksa tulangan tekan :

$$\frac{d'}{c} \leq \left(1 - \frac{f_y}{6000} \right); \text{ di mana satuan dalam } \textit{metrik}$$

- Jika $e = (0,3 \cdot d + h/2 - d')$

Maka $e = 0,8 d$

$$A_s' = \frac{P - (0,8 \cdot R_e \cdot b \cdot d)}{f_y}$$

A_s tidak perlu dihitung.

- Jika $e < (0,3 \cdot d + h/2 - d')$

Maka $a \geq d$ dan $E_s \cdot \epsilon_s = -f_y$

$$P = R_e \cdot b \cdot a + f_y \cdot A_s' + f_y \cdot A_s$$

$$a = d$$

$$A_s = \frac{P - (R_e \cdot b \cdot d)}{f_y} - A_s'$$

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

$$A_s' = \frac{(P \cdot e) - (0,5 \cdot R_e \cdot b \cdot d^2)}{f_y \cdot (d - d')}$$

2. Penampang Tulangannya Simetris

Menurut buku *Menghitung Beton Bertulang* oleh Ir. Udiyanto hal 111

$$a = \frac{P}{R_e \cdot b}$$

Bandingkan a dengan ab dan d atau b .

- **Jika $a < ab$**

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

$$a = \frac{P}{Re \cdot b}$$

$$As = As' = \frac{P \cdot \left(e - d + \frac{P}{2 \cdot Re \cdot b} \right)}{fy \cdot (d - d')}$$

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

$$As = As' = \frac{P \cdot e - \left(Fb \cdot b \cdot Re \cdot d^2 \cdot \left(d - \frac{Fb}{2} \right) \right)}{fy \cdot (d - d')} = \frac{P \cdot e - (Kb \cdot Re \cdot b \cdot d^2)}{fy \cdot (d - d')}$$

Jika $As = as' = \text{masih negatif}$, maka $As_{\text{total}} = \frac{P - (Re \cdot Ag)}{fy}$; seperti untuk $a \geq b$.

Batasan luas penampang tulangan : $0 \% \leq \frac{Ast}{Ag} \leq 1\%$.

C. Analisis Penampang yang Mengalami Tekanan Axial dan Pelenturan Dua Arah

(*Biaxial Bending*)

A. Pendimensian Kolom

Oleh Ir. Udiyanto dalam *Menghitung Beton Bertulang*, perhitungan penulangan kolom apabila diketahui P_n , M_{nx} , M_{ny} , fc' , fy adalah sebagai berikut :

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

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

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

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

Untuk keadaan *balance* :

$$P_b = 0,85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot cb$$

Jika $P_b = P_n$, maka diperoleh harga $b \cdot d = Ag$

Dari perbandingan h/b , maka diperoleh harga b dan h .

$$\text{Syarat : } \frac{P}{(0,85 \cdot f_c' \cdot b)} < 0,85 \cdot c_b$$

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

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

$$\text{Jika } \frac{A_s}{A_g} < 3\% , \text{ maka } A_s = 3\% \cdot A_g$$

B. Tinjauan Lentur Arah X dan Y

Perhitungan apabila diketahui b , h , M_n dan P_n adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut :

$$b_x = h \text{ dan } h_x = b$$

$$b_y = b \text{ dan } h_y = h$$

$$d_x = b - p$$

$$d_y = h - p$$

$$ea = \frac{M}{P}$$

$$c_{b_{x/y}} = \frac{600 \cdot d_{x/y}}{600 + f_y} \quad \text{dan} \quad a_{b_{x/y}} = \beta_1 \cdot c_{b_{x/y}}$$

$$F_{b_{x/y}} = \frac{a_{b_{x/y}}}{d_{x/y}}$$

$$K_{b_{x/y}} = F_b \cdot \left(1 - \frac{F_b}{2} \right)$$

$$M_{nb_{x/y}} = (0,85 \cdot f_c' \cdot K_{b_{x/y}} \cdot d_{x/y}^2) + (A_s' \cdot f_y \cdot (d_{x/y} - d'))$$

$$P_{nb_{x/y}} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_{x/y} \cdot a_{b_{x/y}}$$

$$e_{b_{x/y}} = \frac{M_{nb_{x/y}}}{P_{nb_{x/y}}}$$

$$e_{x/y} = ea + \frac{h_{x/y}}{2} - d' < e_{b_{x/y}}$$

$$0,3 d + \frac{h}{2} - d' < e_{x/y}$$

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

$$P_{x/y} = P_o - \left(\frac{e_{x/y}}{eb_{x/y}} \right)^2 \cdot (P_o - P_{nb_{x/y}})$$

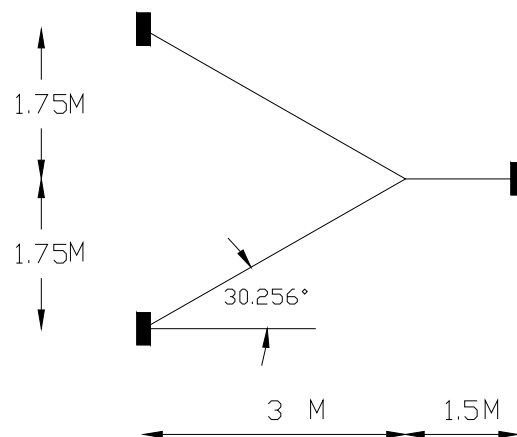
Tinjauan *Biaxial bending* :

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

Syarat : $P_i \geq P_n$

II.4.6. Perencanaan Tangga

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

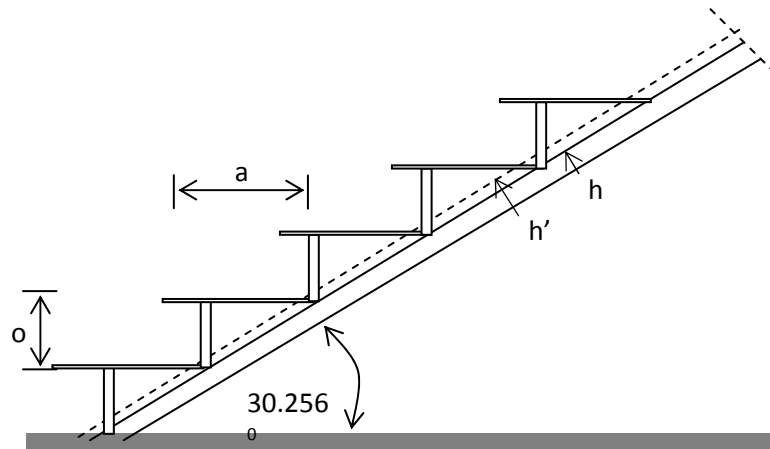


Gambar II.9. Model struktur tangga

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

- Tinggi antar lantai
- Tinggi Antrede
- Jumlah anak tangga
- Kemiringan tangga
- Tebal pelat beton
- Tinggi Uptrede

- Lebar bordes
- Lebar anak tangga
- Tebal selimut beton
- Tebal pelat tangga



Gambar II.10. Pendimensian 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.

II.4.7. 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.

II.5. Perencanaan Struktur Bawah (*Sub Structure*)

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

Pemilihan sistem pondasi ini didasarkan atas pertimbangan:

1. Beban yang bekerja cukup besar.
2. Pondasi bored pile 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.

II.5.1. Penentuan Parameter Tanah

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

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

II.5.2. Analisis Daya Dukung Tanah

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

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

q_{ult} = Kapasitas Dukung Ultimit

FK = Faktor Keamanan

q_{all} = Kapasitas Dukung Tanah

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.

II.5.3. Perencanaan Pondasi Bored Pile

A. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Bored Pile

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

1. Berdasarkan kekuatan bahan

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

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

$$\sigma_b = 0.33 \times 250 = 82.5 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

σ_b = Tegangan tekan tiang terhadap penumbukan

A_{tiang} = Luas penampang tiang pancang

2. Berdasarkan hasil 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

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} * p}{3}$$

Kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan:

$$P_{tiang} = \text{Bahan} \times A_{tiang}$$

dengan:

$$Q_{tiang} = \text{Daya dukung keseimbangan tiang (kN)}$$

$$A_{tiang} = \text{Luas permukaan tiang (m)}$$

$$P = \text{Nilai conus hasil sondir (kN/m)}$$

$$3 = \text{Faktor keamanan}$$

$$P_{tiang} = \text{Kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang (kg)}$$

$$\text{Bahan} = \text{Tegangan tekan ijin bahan tiang (kg/cm)}$$

- **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:

$$Q_{tiang} = \frac{O * JHP}{5}$$

Dimana :

$$Q_{tiang} = \text{Daya dukung keseimbangan tiang (kN)}$$

$$O = \text{Keliling tiang pancang (m)}$$

$$JHP = \text{Total friction (kN/m)}$$

$$5 = \text{Faktor Keamanan}$$

- **End Bearing And Friction Pile**

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

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} * p}{3} + \frac{O * C}{5}$$

dengan :

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

O = Keliling tiang pancang (m)

JHP = Total friction (kN/m)

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

Dalam pelaksanaan jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dan satu tiang saja, tetapi terdiri dan kelompok tiang. Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi.

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

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

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

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

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

Dimana :

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

ΣP_v : jumlah beban vertikal

- n : banyaknya tiang pancang
- M_x : momen arah X
- M_y : momen arah Y
- X_{max} : absis max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang
- Y_{max} : ordinat max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang
- N_x : banyak tiang dalam satu baris arah x
- N_y : banyak tiang dalam satu baris arah y
- Σy² : jumlah kuadrat jarak arah Y (absis – absis) tiang
- Σx² : jumlah kuadrat jarak arah X (ordinat – ordinat) tiang
- P_{max} di dapat dari hasil output SAP 2000, dibandingkan P_{eff}

D. 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 30⁰

Mekanisme penurunan pada pondasi tiang pancang dapat ditulus dalam persamaan :

$$S_r = S_i + S_c$$

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 :

$$S_i = q_n \cdot 2B \cdot \frac{1 - \mu \cdot 2}{E_u} \cdot I_p$$

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 :

Menurut Buku Mekanika Tanah II Hary Christady H hal 71

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

C_c = *compression index*

e_0 = *void ratio*

p_0 = tegangan efektif pada kedalaman yang ditinjau

Δp = penambahan tegangan setelah ada bangunan

H = tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

II.5.4. Dasar Perhitungan Dan Pedoman Perencanaan

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

1. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1991-03)
2. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI-1726-1998)
3. Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung (SKBI – 1.3.53.1987)
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983
5. Peraturan - peraturan lain yang relevan.