

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Perencanaan merupakan suatu kegiatan yang sangat penting sebelum dilaksanakannya suatu proyek. Kesalahan pemasangan ataupun urutan proses yang tidak benar dapat menyebabkan terjadinya kerugian. Perencanaan yang matang sebelum dimulainya suatu pekerjaan tidak hanya menghemat biaya tetapi juga dapat menghemat waktu dan tenaga. Terdapat tiga hal penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan struktur antara lain beban, kekuatan bahan dan keamanan. Pada tahap perencanaan struktur gedung kampus dan rektorat ini, perlu dilakukan studi pustaka untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan digunakan, disamping itu juga diharapkan mampu menghasilkan suatu tahap pengerjaan struktur yang efektif dan efisien.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari struktur atas yang meliputi pelat, balok, kolom, tangga sampai dengan perhitungan struktur bawah yang terdiri dari pondasi pancang. Studi pustaka dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang optimal dan akurat. Oleh karena itu, dalam bab ini pula akan dibahas mengenai konsep pemilihan sistem struktur dan konsep perencanaan struktur bangunannya, seperti konfigurasi denah dan pembebanan yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan suatu gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia sehingga diharapkan hasil yang akan diperoleh nantinya tidak akan menimbulkan kegagalan struktur.

2.2. PEDOMAN PERENCANAAN

Dalam perencanaan struktur gedung Kampus dan Rektorat UNIMUS, pedoman yang digunakan sebagai acuan adalah :

1. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG 1983).
2. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (RSNI – 2002).

3. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1991-03).
4. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 1726 – 2002).

2.3. KONSEP PEMILIHAN JENIS STRUKTUR

Perencanaan merupakan perhitungan setelah dilakukan analisis struktur. Lingkup perencanaan pada beton konvensional meliputi pemilihan dimensi elemen dan perhitungan tulangan yang diperlukan agar penampang elemen mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul beban-beban pada kondisi kerja (*service load*) dan kondisi batas (*ultimate load*). Struktur dirancang dengan konsep kolom kuat balok lemah (*strong column weak beam*), dimana sendi plastis direncanakan terjadi di balok untuk meratakan energi gempa yang masuk.

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

Pengolahan perencanaan denah, gambar tampak, gambar potongan, dan perspektif, interior dan eksterior dan estetika.

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.

5. Faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi yang dalam batas yang diijinkan. Pembangunan dan pemeliharaan konstruksi tersebut diharapkan dapat diselenggarakan dengan biaya sekecil mungkin, namun masih memungkinkan terjaminnya tingkat keamanan dan kenyamanan

6. Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan merupakan salah satu aspek lain yang ikut menentukan dalam perancangan dan pelaksanaan suatu proyek. Dengan adanya suatu proyek 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 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 horisontal diatas elemen kaku vertikal. Balok memikul beban secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh balok dan mentransfer beban itu ke tanah / pondasi.

2.3.2. MATERIAL/BAHAN STRUKTUR

Secara umum jenis-jenis material struktur yang biasa digunakan untuk bangunan gedung adalah menggunakan 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.

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 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 Force Method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasar hasil perkalian suatu konstanta / massa dan elemen struktur tersebut.

2. Metode Analisis Dinamis

Analisis Dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. 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.

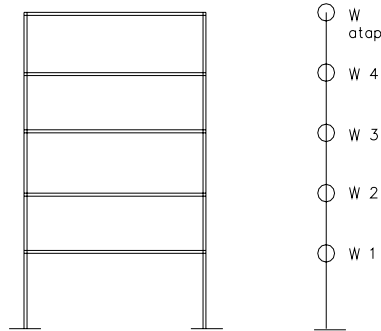
Metode ini ada dua jenis yaitu Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectrum Modal Analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dan Spektrum Respon Rencana (*Design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

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 2.1. Pemodelan Struktur dan Model 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.

2.4.3. PEMILIHAN MATERIAL

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

Beton	: $f'c = 25 \text{ MPa}$	$E_c = 23500 \text{ MPa}$
Baja	: BJTP = Polos	: $f_y = 240 \text{ MPa}$ $E_s = 200000 \text{ MPa}$
	BJTD = Ulir	: $f_y = 400 \text{ MPa}$ $E_s = 200000 \text{ Mpa}$

2.4.4. KONSEP PEMBEBANAN

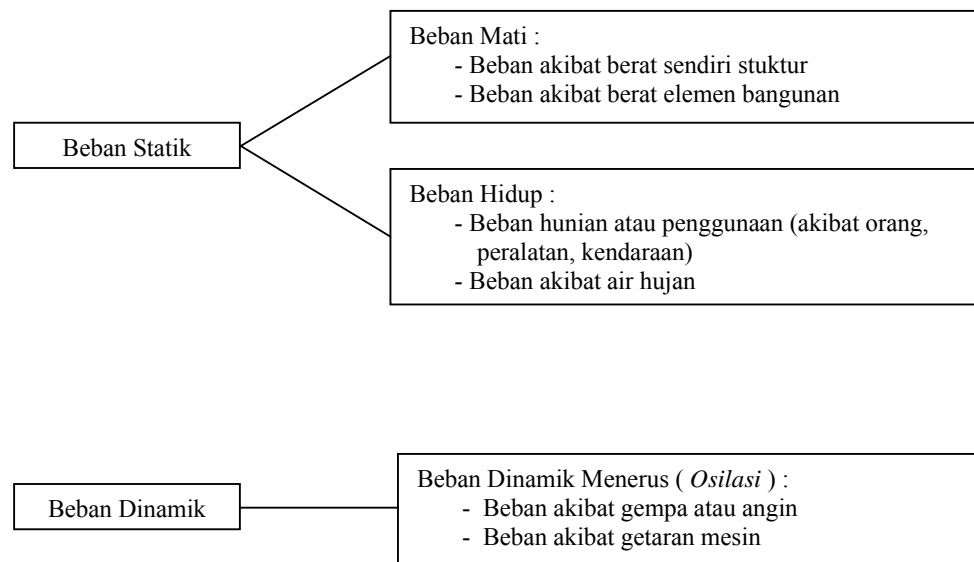
Struktur bangunan harus dapat menerima berbagai macam kondisi pembebanan yang mungkin terjadi. Kesalahan dalam analisa beban merupakan salah satu faktor utama kegagalan struktur. Oleh sebab itu sebelum melakukan analisis dan desain struktur, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur beserta karakteristiknya.

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.

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

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



Gambar 2.2. 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 berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian - penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

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
Lantai kampus dan rektorat	250 kg / m ²
Tangga dan Bordes	300 kg / m ²
Beban Pekerja	100 kg / m ²
Lantai Atap	100 kg / m ²

2. Beban Gempa (*EarthquakeLoad/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 Bangunan Gedung (SNI03-1726-2002), dinyatakan sebagai berikut:

$$V = \frac{CI}{R} W_t$$

dimana:

V =Beban Gempa Dasar Nominal (Beban Gempa Rencana)

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

W_t =Kombinasi dari beban mati dan beban hidup yang direduksi

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:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 \cdot h_1.$$

dimana:

τ = Tegangan geser tanah (kg/cm²)

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

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

γ = 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. 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 tanah 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		

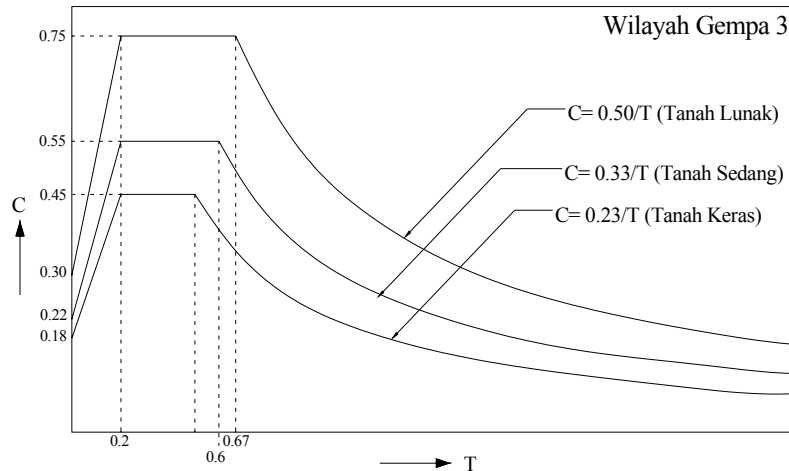
Tabel 2.4. keutamaan untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Jenis Struktur Bangunan/Gedung	I
<ul style="list-style-type: none"> • Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan, dan perkantoran. 	1
<ul style="list-style-type: none"> • Monumen dan bangunan monumental 	1
<ul style="list-style-type: none"> • Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instansi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi. 	1,5
<ul style="list-style-type: none"> • Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun. 	1,5
<ul style="list-style-type: none"> • Cerobong, tangki diatas menara 	1,25

Tabel 2.5. Faktor Reduksi Gempa

Sistem dan subsistem struktur bangunan gedung	Uraian system pemikul beban gempa	Rm
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	8,5
	a. Baja	8,5
	b. Beton bertulang	8,5
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM) (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	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

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



Perencanaan struktur di daerah gempa menggunakan konsep desain kapasitas yang berarti bahwa ragam keruntuhan struktur akibat beban gempa yang besar ditentukan lebih dahulu dengan elemen-elemen kritisnya dipilih sedemikian rupa agar mekanisme keruntuhan struktur dapat memencarkan 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 memencarkan energi gempa yang cukup besar tanpa mengalami keruntuhan struktur secara total, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

3. Beban Angin (*WindLoad/WL*)

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin diturunkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang telah ditentukan dengan koefisien-koefisien angin yang telah ditentukan dalam peraturan ini. Tekanan tiup diambil 25 kg/m^2 , sedang untuk koefisien angin diambil untuk koefisien angin untuk gedung tertutup dan sudut kemiringan atap (α) kurang dari 65° .

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. RSNI 2002 menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

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

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

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$$

dimana:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

2.4.5. FAKTOR REDUKSI KEKUATAN

Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya. RSNI 2002 menetapkan berbagai nilai faktor reduksi (ϕ) untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dari perhitungan struktur.

Tabel 2.6. Tabel Reduksi Kekuatan

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi
Beban lentur tanpa gaya aksial	0.80
Beban aksial dan beban aksial dengan lentur	0.80
- Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur	
- Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur	
» Dengan tulangan Spiral	0.70
» Dengan tulangan biasa	0.65
Lintang dan Torsi	0.75
- Pada komponen struktur penahan gempa kuat	0.55
- Pada kolom dan balok yang diberi tulangan diagonal	0.80
Tumpuan pada Beton	0.65

Daerah pengangkuran pasca tarik	0.85
Penampang lentur tanpa beban aksial pada komponen struktur pratarik dimana panjang penanaman <i>strand</i> -nya kurang dari panjang penyaluran yang ditetapkan	0.75
Beban lentur, tekan, geser dan tumpu pada beton polos structural	0.55

2.5. ANALISIS PERHITUNGAN 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 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.

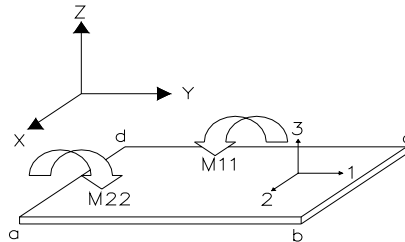
2.5.1. PERENCANAAN PELAT

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

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap lebar kurang dan 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 2.3. 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 $\frac{L_y}{L_x}$
 3. Menentukan tebal pelat. Berdasarkan RSNI 2002 maka tebal pelat adalah:
- Untuk pelat satu arah ditentukan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 2.7. Tabel minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum (h)			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan oleh partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.			
Pelat masif satu arah.	$\lambda / 20$	$\lambda / 24$	$\lambda / 28$	$\lambda / 10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$\lambda / 16$	$\lambda / 18.5$	$\lambda / 21$	$\lambda / 28$
CATATAN Panjang bentang dalam mm Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($W_c = 2400 \text{ kg/m}^3$) dan tulangan BJTD 40.				

Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasi sebagai berikut:

- a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis diantara 1500 kg/ m³ sampai 2000 kg/ m³, nilai tadi harus dikalikan dengan (1,65- 0,0003 Wc) tetapi tidak kurang dari 1,09 dimana Wc adalah berat jenis dalam kg/ m³.
- b) Untuk fy selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan (0,4 + fy/ 700)

- Untuk pelat dua arah ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut:
 - a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan tabel diatas.
 - b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0 ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\lambda_n \{0,8 + f_y / 1500\}}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0,2)}$$

- c) Untuk α_m lebih besar dari 2, 0 ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\lambda_n \{0,8 + f_y / 1500\}}{36 + 9\beta}$$

dimana:
$$L_n = \frac{L_y}{L_x}$$

L_n = panjang bersih pelat

4. Memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada pelat lantai.
5. Menentukan momen yang menentukan (Mu)
 - Mlx (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. Menghitung penulangan arah-X dan arah-Y

Data – data yang diperlukan :

- Tebal pelat (h)
- Momen (Mu)

- Tinggi efektif (d_x dan d_y)
- Tebal selimut beton (d)
- Diameter tulangan

Proses yang harus dikerjakan dalam menghitung tulangan adalah:

a. $M_n = \frac{Mu}{\phi}$

b. $k = \frac{M_n}{b.d.RI}$

c. $F = 1 - \sqrt{1 - 2k}$

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

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

Jika $F < F_{max}$ maka: $A_s = F \times b \times d \times \frac{RI}{f_y}$

f. A_s terpasang bisa ditentukan

g. Pemeriksaan tulangan

- $\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$

- $\rho_{min} = 0,0025$ (tabel 7 cur I Hal 51, mutu baja 240 untuk pelat)

- $\rho = \frac{A_s \text{ terpasang}}{b.d}$

- Kontrol: $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

Jika $\rho < \rho_{min}$ digunakan rumus $A_s = \rho_{min} \cdot b \cdot d$

2.5.2. PERENCANAAN STRUKTUR PORTAL UTAMA

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

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.

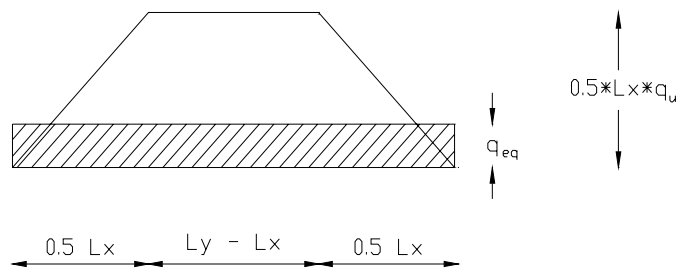
2.5.2.2.PERENCANAAN STRUKTUR BALOK

Dalam pradesain tinggi balok menurut RSNI 2002 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 Baban Trapesium

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

$$M_{max} = \frac{w^3(L^2 - 4a^2)}{24} = 1/48. Lx. q_u. (Ly^2 -.Lx^2).....(1)$$

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

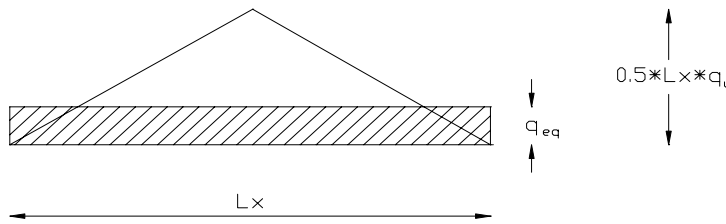
$$M_{max} = 1/8 . w . L^2 = 1/8 . q_{ek} . Ly^2 \dots\dots\dots(2)$$

pers (1) + pers (2)

$$1/48 . Lx . q_u . (Ly^2 - .Lx^2) + 1/8 . q_{ek} . Ly^2 = 0$$

$$q = \frac{Lx . q_u . (Ly^2 - Lx^2)}{6Ly^2}$$

- Perataan beban segitiga



Gambar. 2.6. Perataan Beban Segitiga

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

$$M_{max} = 1/12 . w . L^2 = 1/12 . 1/2 . Lx . q_u . Lx^2$$

$$= 1/24 . q_u . Lx^3 \dots\dots\dots(1)$$

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

$$M_{max} = 1/8 . q_{eq} . Lx^2 \dots\dots\dots(2)$$

Pers (1) + (2)

$$1/24 . q_u . Lx^3 + 1/8 . q_{eq} . Lx^2$$

$$q_{eq} = 1/3 . q_u . Lx$$

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

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

2.5.2.3. PERENCANAAN STRUKTUR KOLOM

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 beban kolom yang tepat terpusat. Pada beban eksentris pusat beban tidak berada tepat dipusat titik berat penampang, tetapi terdapat eksentrisitas jarak sebesar “e” dari pusat beban kepusat penampang. Adanya eksentrisitas ini harus diperhitungkan karena menimbulkan momen.

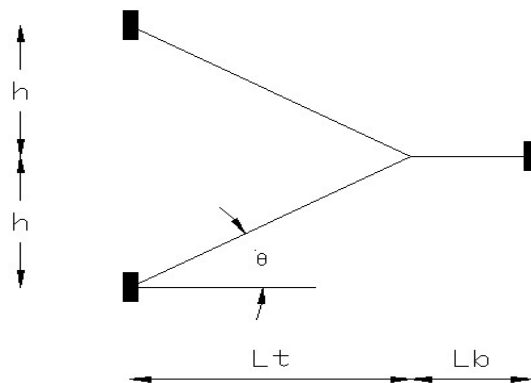
Untuk mencari besarnya momen rencana kolom dapat dilihat dari besarnya momen hasil perhitungan mekanika dengan program *SAP 2000* dan dari perhitungan momen aktual balok.

Perhitungan penulangan kolom dan struktur beton im 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

2.5.3. PERENCANAAN TANGGA

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



Gambar 2.7. Sketsa tangga

2. Pondasi tiang pancang dibuat dengan sistem sentrifugal, menyebabkan beton lebih rapat sehingga dapat menghindari bahaya korosi akibat rembesan air.
3. menggunakan pondasi pancang karena proyek yang jauh dari pemukiman dan sarana fasilitas umum sehingga pelaksanaannya tidak mengganggu lingkungan sekitar.

2.5.4.1. Penentuan Parameter Tanah

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

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

2.5.4.2. Analisis Daya Dukung Tanah

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

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

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

2.5.4.3. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

A. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

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

1. Berdasarkan kekuatan bahan

Menurut tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung SNI-2002, kuat tumpu rencana pada beton tidak boleh melampaui

$$= \phi \cdot (0,85 \cdot f'c \cdot A1)$$

Keterangan;

$$\phi = 0,8$$

$$f'c = 25 \text{ Mpa} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Luas penampang tiang pancang (A1)} = S_L^2 - S_D^2$$

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 mi 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

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \cdot p}{3}$$

Kemampuan tiang terdapat kekuatan bahan:

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

dengan:

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

A_{tiang} = Luas permukaan tiang (m)

P = Nilai conus hasil sondir (kN/m)

3 = Faktor keamanan

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

Bahan = 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:

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{O \cdot JHP}{5}$$

Dimana :

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

O = Keliling tiang pancang (m)

JHP = Total friction (kN/m)

5 = Faktor Keamanan

- End Bearing And Friction Pile

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

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \cdot \rho}{3} + \frac{O \cdot C}{5}$$

dengan :

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

O = Keliling tiang pancang (m)

JHP = Total friction (kN/m)

3. Berdasarkan Pelaksanaan

Dengan rumus pancang A. Hilley:

$$P = \frac{\eta_h \cdot W \cdot H \cdot \eta_b}{s + 0,5x(c_1 + c_2 + c_3)}$$

Dimana :

P = kapasitas beban pada tiang

W = berat hammer dalam kg (= 3250 kg = 3,25 ton)

H = tinggi jatuh hammer dalam cm (2m = 200 cm)

S = penurunan per pukulan dalam cm (= 1,4 cm)

c_1 = tekanan elastis sementara pada tiang dan penutup = 0,3

c_2 = simpangan tiang akibat tekanan elastis sementara = 0,4

c_3 = tekanan elastis sementara pada tanah = 0,9

η_h = efisiensi hammer = 65 % untuk double acting hammer

= 100 % untuk drop hammer

$$\eta_b = \frac{W + e^2 \cdot p}{W + p} \text{ jika } W > e \cdot p$$

$$\eta_b = \frac{W + e^2 \cdot p}{W + p} - \left(\frac{W - e \cdot p}{W + p} \right)^2 \text{ jika } W < e \cdot p$$

e = koefisien restitusi (0 s/d 0,5)

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 : $\arctan(d/s)$, 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

Σy^2 : jumlah kuadrat jarak arah Y (absis – absis) tiang

Σx^2 : jumlah kuadrat jarak arah X (ordinat – ordinat) tiang

P_{max} di dapat dari hasil output SAP 2000, dibandingkan P_{eff}

D. Kontrol Gaya Horisontal

1. Kontrol Daya Dukung Horizontal Akibat Tekanan Tanah

Perhitungan menurut *Foundation of Structure* oleh Dun Hanma, tiang akan terjepit sempurna pada kedalaman (L_d) = $\frac{1}{4}$ s/d $\frac{1}{3}$ L_p .

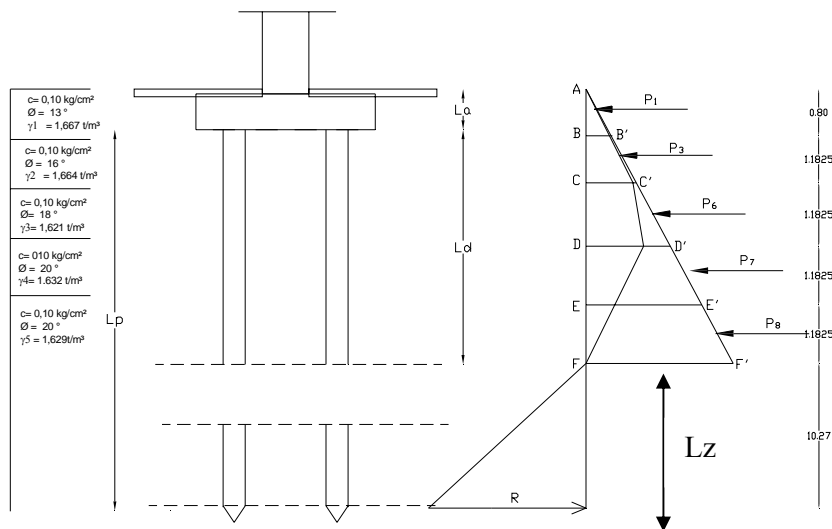
Dimana : L_d = kedalaman titik jepitan dari muka tanah

L_p = panjang tiang yang masuk tanah

B = lebar poer

Maka $L_a = L_p - L_d$

2 Perhitungan Diagram Tekanan Tanah



Gambar 2.9. Diagram Tekanan Tanah Pasif

a. Tekanan Tanah Pasif

$$BB' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot 0,8 B$$

$$CC' = Kp_2 \cdot \gamma_2 \cdot 1,1825 \cdot B$$

$$DD' = Kp_4 \cdot \gamma_4 \cdot 3,165 B$$

$$EE' = Kp_5 \cdot \gamma_5 \cdot 4,3475 \cdot B$$

$$F = Kp_5 \cdot \gamma_5 \cdot 5,53 \cdot B$$

b. Gaya Lateral yang terjadi pada tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{1}{2} \cdot AB \cdot BB' \\
 P2 &= \frac{1}{2} \cdot BC \cdot (BB' + CC') \\
 P3 &= \frac{1}{2} \cdot CD \cdot (CC' + DD') \\
 P4 &= \frac{1}{2} \cdot DE \cdot (DD' + EE') \\
 P5 &= \frac{1}{2} \cdot EF \cdot EE' \\
 P_{tot} &= P1 + P2 + P3 + P4 + P5
 \end{aligned}$$

3. Gaya Lateral yang diijinkan

Ditinjau dari titik L, maka

$$P_{tot} \cdot L_z = P1 \cdot L1 + P2 \cdot L2 + P3 \cdot L3 + P4 \cdot L4 + P5 \cdot L5$$

→ dapatkan L_z

Gaya horizontal max yang diijinkan (PH)

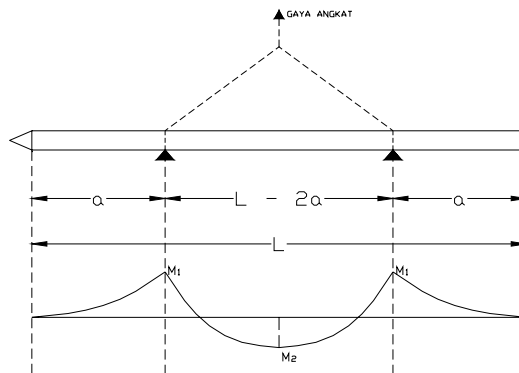
$$\sum M_s = 0 \rightarrow PH \cdot (L_d + L_a + L_z) = P_{tot} \cdot 2L_z$$

$PH < PH_{total}$ Pasif.....Aman ok !

E. Penulangan Tiang Pancang

Akibat Pengangkatan

a. Cara I (Pengangkatan Lurus)



Gambar 2.10. Pengangkatan Tiang Pancang dengan 2 Titik

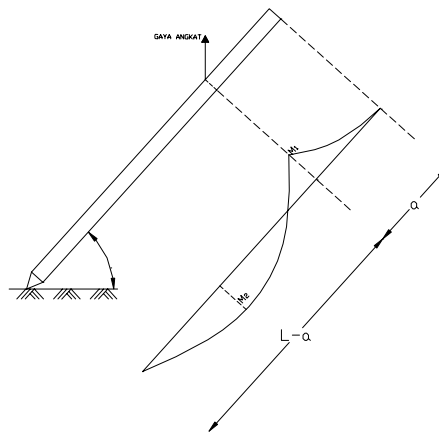
$$M_1 = \frac{1}{2} q * a^2$$

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

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

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

b. Cara II (Pengangkatan miring)



Gambar 2.11. Pengangkatan Tiang Pancang dengan 1 Titik

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

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

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

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

$$R_1 - qx = 0$$

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

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

$$M_1 = M_2$$

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

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