

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Pada bab ini akan dibahas mengenai konsep perencanaan struktur yaitu gambaran umum tentang perencanaan Gedung Indosat Semarang yang meliputi perencanaan pelat lantai dan Portal (Balok dan Kolom) yang direncanakan dengan disain struktur komposit, tangga, lift, semi basement, pondasi dan jembatan penghubung gedung utama dan gedung parkir.

2.2. KONSEP PEMILIHAN SISTEM STRUKTUR

Seperti kriteria pemilihan sistem struktur gedung pada umumnya, Perencanaan Gedung Indosat Semarang ini mengacu pada pemilihan :

1. Aspek arsitektural

Hal ini berkaitan dengan denah dan bentuk struktur yang dipilih, yang diharapkan memiliki nilai 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. Aspek kekuatan dan stabilitas

Aspek ini berkaitan dengan kemampuan struktur dalam menerima beban-beban yang bekerja baik beban vertikal maupun beban lateral yang disebabkan oleh gempa serta kestabilan struktur.

4. Aspek ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Biasanya pada suatu gedung dapat digunakan beberapa macam sistem struktur. Oleh sebab itu faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang akan dipilih.

5. Faktor kemampuan struktur dalam mengakomodasi sistem layanan gedung

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi pada batas yang diijinkan.

6. Aspek lingkungan

Aspek lain yang ikut menentukan dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu proyek adalah aspek lingkungan. Dengan adanya suatu proyek yang diharapkan akan memperbaiki kondisi lingkungan dan kemasyarakatan. Sebagai contoh dalam perencanaan lokasi dan denah haruslah mempertimbangkan kondisi lingkungan apakah rencana kita nantinya akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar, baik secara fisik maupun kemasyarakatan, atau bahkan sebaliknya akan dapat menimbulkan dampak yang positif.

2.2.1. Struktur Atas

Material struktur atas dapat dibagi menjadi empat (4) golongan yaitu:

a. Struktur kayu (*Wooden Structure*)

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan yang cukup, kelemahan dari material ini adalah tidak tahan terhadap api, dan adanya bahaya pelapukan. Oleh karena itu material ini hanya digunakan pada bangunan tingkat rendah.

b. Struktur baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat tepat digunakan pada bangunan bertingkat tinggi karena material baja mempunyai kekuatan serta tingkat daktilitas yang tinggi bila dibandingkan dengan material-material struktur yang lain. Baja mempunyai nilai ekonomi yang cukup tinggi sehingga tidak ekonomis untuk bangunan bertingkat rendah. Struktur baja ini mempunyai kelemahan yaitu tidak tahan terhadap api.

c. Struktur beton (*Concrete Structure*)

Struktur beton banyak digunakan pada bangunan tingkat menengah sampai dengan bangunan tingkat tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan bila dibandingkan dengan struktur lainnya karena struktur ini lebih monolit dan

mempunyai umur rencana yang cukup panjang serta tahan terhadap api. Struktur beton ada beberapa macam, yaitu :

- **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 beton ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan struktur lainnya.

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

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen structural 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.

- **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:

- a. *Sistem Post-Tensioning*

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

- b. *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.

- d. **Struktur komposit (*Composite Structure*)**

Struktur ini merupakan gabungan dari dua jenis material atau lebih. Pada umumnya yang sering digunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Kombinasi tersebut menjadikan struktur komposit memiliki perilaku struktur antara struktur baja dan struktur beton bertulang.

Struktur komposit digunakan untuk bangunan tingkat menengah sampai dengan bangunan tingkat tinggi.

Setiap jenis material mempunyai karakteristik tersendiri sehingga suatu jenis bahan bangunan tidak dapat digunakan untuk semua jenis bangunan.

2.2.2. Struktur Bawah

Secara umum jenis-jenis struktur bawah dibagi dua bagian, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Yang termasuk pondasi dangkal adalah sebagai berikut :

a. Pondasi Telapak

Pondasi telapak pada umumnya digunakan untuk bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat rendah, yaitu dengan memperlebar bagian bawah kolom atau dinding bawah bangunan sehingga membentuk suatu telapak yang menyebarkan beban bangunan menjadi tegangan yang lebih kecil daripada daya dukung tanah yang diijinkan. Jadi pondasi ini berfungsi untuk mendukung bangunan secara langsung pada lapisan tanah. Pondasi telapak ini terbagi dalam empat jenis, yaitu :

- **Pondasi Telapak Tunggal**

Digunakan untuk memikul kolom tunggal, tugu, menara, tangki air, dan cerobong asap.

- **Pondasi Telapak Menerus**

Digunakan untuk menyangga suatu bangunan yang panjang seperti Dinding Penahan Tanah dan dinding bangunan.

- **Pondasi Telapak Gabungan**

Digunakan untuk menahan beban kolom yang besar dan daya dukung tanah relatif kecil.

- **Pondasi Telapak Pelat**

Pondasi ini merupakan sebuah pelat beton yang tebal dan menggunakan tulangan atas dan bawah yang menerus. Pondasi ini digunakan untuk

bangunan yang didirikan pada tanah yang memiliki daya dukung tanah yang rendah atau daya dukung kolom yang besar.

b. Pondasi Cakar Ayam

Pondasi cakar ayam digunakan di daerah rawa atau tepatnya pada tanah dengan daya dukung 1,5-3,5 ton/m². Dasar pemikiran pondasi cakar ayam adalah pemanfaatan karakteristik tanah yang tidak dimanfaatkan oleh sistem pondasi lain, yaitu pemanfaatan adanya tekanan tanah pasif. Pondasi ini terdiri dari pelat beton bertulang dengan pipa-pipa beton yang dihubungkan secara monolit. Pelat beton tersebut akan menggapung di atas tanah rawa maupun tanah lembek. Sedangkan kekakuannya diperoleh dari pipa beton bertulang yang berada di bawahnya yang dapat berdiri tegak akibat adanya tekanan tanah pasif. Jadi fungsi pipa hanyalah sebagai pengaku dan bukan sebagai penopang seperti halnya pondasi sumuran.

c. Pondasi Sarang Laba-laba

Pondasi sarang laba-laba berfungsi untuk memikul beban terpusat/kolom dari struktur atas seperti bangunan bertingkat 3-5, pabrik, hanggar, menara transmisi tegangan tinggi dan menara air. Pondasi ini terdiri dari pelat beton tipis yang di bawahnya dilakukan oleh rib-rib tegak.

Sedangkan macam-macam pondasi dalam adalah sebagai berikut :

a. Pondasi Sumuran

Pondasi jenis ini digunakan untuk kedalaman tanah keras 2-5 m. Pondasi ini dibuat dengan cara menanam beton-beton blok silinder dengan menggali tanah berbentuk sumuran/lingkaran dengan diameter > 0,8m sampai tanah dengan tanah keras. Pada bangunan atas pondasi diberi poer untuk menerima dan meneruskan beban pondasi sumuran secara merata.

b. Pondasi Tiang

Pondasi tiang dibedakan antara lain sebagai berikut

- **Pondasi Tiang Kayu**

Pondasi tiang ini cocok untuk daerah rawa dan daerah yang banyak terdapat hutan kayu, sehingga mudah memperoleh kayu yang panjang dan lurus

dengan diameter cukup besar biasanya satu tiang dapat menahan beban sampai 25 ton.

- **Pondasi Tiang Baja**

Kekuatan tiang ini cukup besar sehingga dalam pengangkutan dan pemancangannya tidak menimbulkan bahaya patah seperti halnya pada tiang beton pracetak. Pemakaiannya sangat bermanfaat apabila diperlukan tiang yang panjang/dalam dengan tahanan ujung yang besar. Kelemahan pondasi tiang baja adalah tidak tahan terhadap korosi dan karat.

- **Pondasi Tiang Beton**

Pondasi ini terdiri antara lain : pondasi tiang PC, pondasi tiang mini, pondasi tiang bor, pondasi tiang mikro. Kesemuanya itu merupakan tiang beton pracetak.

c. Pondasi Caisson

Pondasi caisson digunakan sebagai pondasi dasar bangunan yang dipakai apabila cara penggalian terbuka tidak memungkinkan karena adanya air naik atau endapan pada dasar pondasi. Selain itu digunakan apabila daya dukung tidak mencukupi dengan menggunakan pondasi tiang atau penurunan dan getaran memegang peranan dalam pemakaiannya.

2.3. PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN

2.3.1 Pembebanan

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

1. Beban statis

Beban statis adalah beban yang memiliki perubahan intensitas beban terhadap waktu berjalan lambat atau konstan. Jenis-jenis beban statis menurut

Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung 1987 adalah sebagai berikut:

- **Beban mati (*dead load/ DL*)**

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya.

Tabel 2. 1 Beban Mati pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu alam	2600 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Dinding Pasangan ½ Bata	250 kg/m ²
Langit-langit + penggantung	18 kg/m ²
Lantai ubin dari semen Portland	24 kg/m ²
Spesi per cm tebal	21 kg/m ²
Baja	7850 kg/m ³

Sumber : Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung 1987

- **Beban Hidup (*Live Load/LL*)**

Beban hidup adalah semua beban tidak tetap, kecuali beban angin, beban gempa dan pengaruh-pengaruh khusus yang diakibatkan oleh selisih suhu, pemasangan (erection), penurunan pondasi, susut, dan pengaruh-pengaruh khusus lainnya. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan-lahan pada struktur. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan perhitungan 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 dari banyak faktor. Oleh karena itu faktor pengali pada beban hidup lebih besar jika dibandingkan dengan faktor pengali pada beban mati.

Tabel 2. 2 Beban Hidup pada Struktur

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

Sumber : Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung 1987

2. Beban Dinamik

Beban dinamik adalah beban dengan variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Beban dinamis ini terdiri dari beban gempa dan beban angin.

a. Beban Gempa

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, besarnya beban gempa yang diperhitungkan ditentukan oleh 3 hal, yaitu: oleh besarnya beban rencana, oleh tingkat daktilitas yang dimiliki struktur, dan oleh nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur. Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia, yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002), besarnya beban gempa horizontal V yang bekerja pada struktur bangunan, ditentukan menurut persamaan:

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

Dimana I adalah Faktor Keutamaan Struktur menurut Tabel 2.3, C adalah nilai Faktor Respon Gempa yang didapat dari Respon Spektrum Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental T, dan W_t ditetapkan sebagai jumlah dari beban-beban berikut:

- Beban mati total dari struktur bangunan gedung
- Jika digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai, maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0.5 kPa.
- Pada gudang-gudang dan tempat penyimpanan barang, maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan
- Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan.

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

- **Faktor Keutamaan Struktur (I)**

Tingkat kepentingan suatu bangunan terhadap beban gempa berbeda-beda tergantung dari fungsinya. Semakin penting fungsi dari suatu bangunan, maka semakin besar perbandingan yang diberikan. Faktor keutamaan struktur (*I*) digunakan untuk memperbesar Beban Gempa Rencana, agar sistem struktur mampu untuk memikul beban gempa dengan periode ulang yang lebih panjang. Besarnya Faktor Keutamaan Struktur untuk beberapa jenis struktur bangunan, diperlihatkan pada Tabel 2.3.

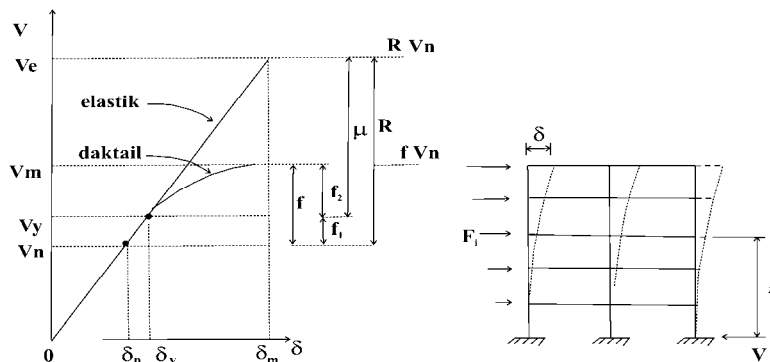
Tabel 2.3. Faktor Keutamaan untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Kategori gedung / bangunan	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I ($=I_1 \cdot I_2$)
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 di atas menara	1,5	1,0	1,5

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)

- **Daktilitas Struktur**

Salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi besar kecilnya beban gempa yang bekerja pada suatu bangunan adalah daktilitas struktur. Untuk mendefinisikan tingkat daktilitas struktur suatu bangunan, digunakan beberapa standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung, yaitu menggunakan asumsi *constant maximum displacement rule*. Asumsi yang dianut divisualisasikan dalam diagram beban-simpangan (diagram $V-\delta$) yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram beban (V) - simpangan (δ) dari struktur bangunan gedung

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

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

Pada persamaan ini, $\mu = 1,0$ adalah nilai faktor daktilitas untuk struktur bangunan gedung yang berperilaku elastik penuh, sedangkan μ_m adalah nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur bangunan gedung yang bersangkutan. Parameter daktilitas struktur gedung diperlihatkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R
Elastis penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
5,0	8,0	
Daktail penuh	5,3	8,5

Dimana R adalah faktor reduksi gempa.

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)

Nilai faktor daktilitas struktur gedung μ di dalam perencanaan struktur gedung dapat dipilih menurut kebutuhan, tetapi tidak boleh diambil lebih besar dari nilai faktor daktilitas maksimum μ_m yang dapat dikerahkan oleh masing-masing sistem atau subsistem struktur gedung. Dalam Tabel 2.5 ditetapkan nilai μ_m yang dapat dikerahkan oleh beberapa

jenis sistem dan subsistem struktur gedung, berikut faktor reduksi maksimum R_m yang bersangkutan.

Tabel 2.5. Faktor daktilitas maksimum (μ_m), faktor reduksi gempa maksimum (R_m), faktor kuat lebih struktur (f_l) dari beberapa jenis sistem dan subsistem struktur bangunan gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f_l
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2,8	4,4	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3,6	5,6	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja	4,1	6,4	2,2
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4,0	6,5	2,8
6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh		3,6	6,0	2,8
	7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8
3. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
	a. Baja	2,7	4,5	2,8
4. Sistem ganda (Terdiri dari : 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral; 3) kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8
	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB saja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8
	2. RBE baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	4,0	6,5	2,8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	2,6	4,2	2,8
4. Rangka bresing konsentrik khusus				
a. Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8	
b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8	
5. Sistem struktur gedung kolom kantilever (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	Sistem struktur kolom kantilever	1,4	2,2	2

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f_i
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang biasa (tidak untuk Wilayah 3, 4, 5 & 6)	3,4	5,5	2,8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan)	1. Rangka terbuka baja	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3,3	5,5	2,8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh	4,0	6,5	2,8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)

- **Arah Pembebanan Gempa**

Jika besarnya beban gempa sudah dapat diperkirakan, maka selanjutnya adalah menentukan arah beban gempa terhadap bangunan. Dalam kenyataannya arah gempa tidak dapat ditentukan secara pasti, artinya pengaruh gempa dapat datang dari segala arah. Untuk itu, perlu dilakukan analisis struktur dengan meninjau pengaruh dari beban gempa pada masing-masing arah dari struktur. Untuk berbagai arah gempa yang bekerja, bagian yang kritis dari elemen-elemen struktur akan berbeda pula. Analisis perencanaan struktur ditinjau untuk beberapa kemungkinan arah gempa. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002) menetapkan bahwa, arah gempa dapat disimulasikan dengan meninjau beban Gempa Rencana yang disyaratkan oleh peraturan, bekerja pada ke dua arah sumbu utama struktur bangunan yang saling tegak lurus secara simultan. Besarnya beban gempa pada struktur dapat diperhitungkan dengan menjumlahkan 100% beban gempa pada satu arah dengan 30% beban gempa pada arah tegak lurusnya.

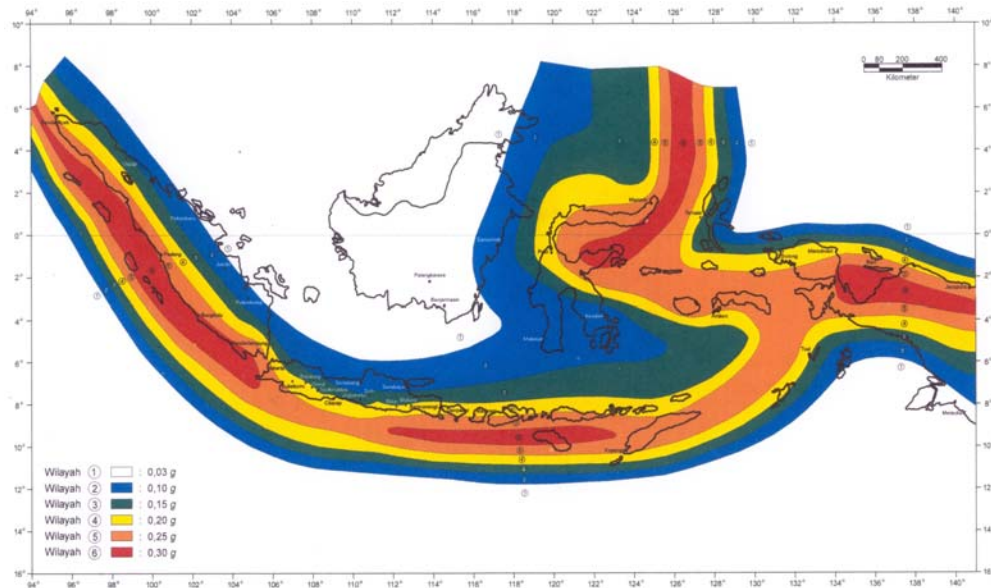
$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm (100\% E_x + 30\% E_y) \text{ atau}$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm (30\% E_x + 100\% E_y)$$

- **Koefisien Gempa Dasar (C)**

Telah disajikan pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI-1726-2002, bahwa di Indonesia terdapat 6 daerah gempa. Pembagian daerah gempa ini didasarkan pada

frekuensi kejadian dan potensi daya rusak gempa yang terjadi pada daerah tersebut. Daerah gempa I adalah daerah gempa terbesar sedangkan daerah gempa VI adalah daerah gempa paling kecil. Pembagian daerah gempa tersebut adalah seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.2. Pembagian Daerah Gempa di Indonesia

Selanjutnya tiap-tiap daerah gempa akan mempunyai spektrum respon sendiri-sendiri, seperti pada Gambar 2.2. Gedung Indosat di Semarang termasuk daerah gempa II. Spektrum respon dalam hal ini adalah plot antara koefisien gempa dasar C lawan periode getar struktur T. Secara umum dapat dikatakan bahwa koefisien gempa dasar C utamanya dipengaruhi oleh daerah gempa, periode getar T dan jenis tanah. Menurut SNI Gempa 2002, ada empat jenis tanah dasar harus dibedakan dalam memilih harga C, yaitu Tanah Keras, Tanah Sedang, Tanah Lunak, dan Tanah Khusus. Definisi dari jenis Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak dapat ditentukan berdasarkan tiga kriteria, yaitu kecepatan rambat gelombang geser v_s , nilai hasil Test Penetrasi Standar N, dan kekuatan geser tanah S_u (*shear strength of soil*).

Secara umum Spektrum Respons adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem Satu Derajat Kebebasan (SDK) akibat suatu gempa masukan tertentu,

sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami sistem SDK tersebut. Spektrum Respons C-T yang ditetapkan untuk masing-masing Wilayah Gempa, adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum (= Faktor Respons Gempa) C dan waktu getar alami T sistem SDK akibat Gempa Rencana, dimana sistem SDK tersebut dianggap memiliki fraksi redaman kritis 5%. Kondisi $T = 0$ mengandung arti, bahwa sistem SDK tersebut adalah sangat kaku dan karenanya mengikuti sepenuhnya gerakan tanah. Dengan demikian, untuk $T = 0$ percepatan respons maksimum menjadi identik dengan percepatan puncak muka tanah ($C = A_0$). Bentuk spektrum respons yang sesungguhnya menunjukkan suatu fungsi acak yang untuk T meningkat menunjukkan nilai yang mula-mula meningkat dulu sampai mencapai suatu nilai maksimum, kemudian turun lagi secara asimtotik mendekati sumbu-T. Bentuk tersebut distandarkan (diidealisasikan) sebagai berikut : untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik, C meningkat secara linier dari A_0 sampai A_m ; untuk $0,2 \text{ detik} \leq T \leq T_c$, C bernilai tetap $C = A_m$; untuk $T > T_c$, C mengikuti fungsi hiperbola $C = A_r/T$. Dalam hal ini T_c disebut waktu getar alami sudut. Idealisasi fungsi hiperbola ini mengandung arti, bahwa untuk $T > T_c$ kecepatan respons maksimum yang bersangkutan bernilai tetap.

Dari berbagai hasil penelitian ternyata, bahwa untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik terdapat berbagai ketidakpastian, baik dalam karakteristik gerakan tanahnya sendiri maupun dalam sifat-sifat daktilitas sistem SDK yang bersangkutan. Karena itu untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik C ditetapkan harus diambil sama dengan A_m . Dengan demikian, untuk $T \leq T_c$ spektrum respons berkaitan dengan percepatan respons maksimum yang bernilai tetap, sedangkan untuk $T > T_c$ berkaitan dengan kecepatan respons maksimum yang bernilai tetap.

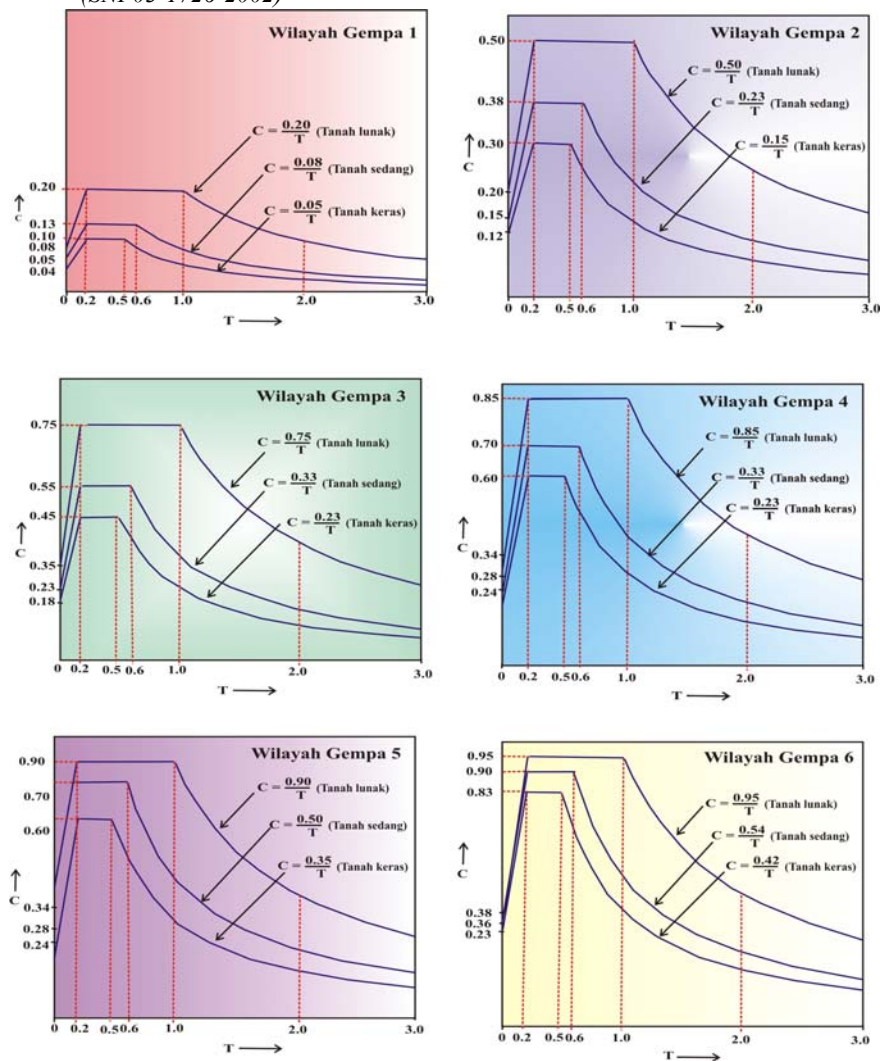
Berbagai hasil penelitian menunjukkan, bahwa A_m berkisar antara $2 A_0$ dan $3 A_0$, sehingga $A_m = 2,5 A_0$ merupakan nilai rata-rata yang dianggap layak untuk perencanaan. Selanjutnya, dari berbagai hasil penelitian juga ternyata, bahwa sebagai pendekatan yang baik waktu getar alami sudut T_c untuk jenis-jenis Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah

Lunak dapat diambil sebesar berturut-turut 0,5 detik, 0,6 detik dan 1,0 detik.

Tabel 2.6. Spektrum Respon Gempa Rencana

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

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)



Gambar 2.3 Spektrum Respon untuk Masing-masing Daerah Gempa

- **Jenis Tanah**

Gelombang gempa merambat melalui batuan dasar dibawah permukaan tanah dari kedalaman batuan dasar ini gelombang gempa merambat ke permukaan tanah sambil mengalami pembesaran atau amplifikasi bergantung pada jenis lapisan tanah yang berada di atas batuan dasar tersebut. Ada tiga kriteria yang dipakai untuk mendefinisikan batuan dasar yaitu:

- *Standard penetrasi test* (N)
- Kecepatan rambat gelombang geser (V_s)
- Kekuatan geser tanah (S_u)

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

Tabel 2.7. Jenis tanah berdasarkan SNI gempa 2002

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

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung
(SNI 03-1726-2002)

- **Periode Getar (T)**

Untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar struktur fundamental harus dibatasi. Dalam SNI 03 – 1726 – 2002 diberikan batasan sebagai berikut :

$$T < \xi n \quad (2.3)$$

Dimana : T = waktu getar stuktur fundamental

n = jumlah tingkat gedung

ξ = koefisien pembatas yang ditetapkan berdasarkan tabel 2.4

Tabel 2.8 Koefisien pembatas waktu getar struktur

Wilayah Gempa	Koefisien pembatas (ξ)
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)

Untuk keperluan disain, analisis dari sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap adanya kombinasi pembebanan (*Load combination*) dari beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung 1987, ada dua kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu: Kombinasi pembebanan tetap dan kombinasi pembebanan sementara. Kombinasi pembebanan tetap dianggap beban bekerja secara terus-menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan tetap disebabkan oleh bekerjanya beban mati dan beban hidup.

Kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus-menerus pada struktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa struktur. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Nilai-nilai tersebut 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 bagi struktur. Pada perencanaan struktur komposit gedung Indosat ini, ditinjau kombinasi pembebanan (menurut SNI 03-1729-2002), dengan nilai kombinasi kuat perlu yang diberikan sebagai berikut:

$$1. 1.2D + 1.6L \quad (2.4)$$

$$2. 1.2D \pm 1.0E + \gamma_L L \quad (2.5)$$

Keterangan :

D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap. Plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap.

L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

E adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-2002

Dengan, $\gamma_L = 0.5$ bila $L < 5$ kPa, dan $\gamma_L = 1$ bila ≥ 5 kPa

2.3.2. Faktor Reduksi Kekuatan

Dalam menentukan kuat rencana suatu struktur, ketidakpastian kekuatan bahan terhadap pembebanan dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan (ϕ). SNI 03-1729-2002 menetapkan berbagai nilai reduksi kekuatan (ϕ) untuk berbagai jenis besaran gaya dalam perhitungan struktur.

Tabel 2.9. Reduksi Kekuatan

Kuat Rencana Untuk	Faktor Reduksi
1. Komponen struktur komposit	
a. Kuat tekan	0.85
b. Kuat tumpu beton	0.60
c. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastic	0.85
d. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik	0.90
2. Komponen struktur yang memikul lentur	
Pelat badan yang memikul geser	0.90
3. Sambungan baut	
a. Baut yang memikul geser	0.75
b. Baut yang memikul tarik	0.75
c. Baut yang memikul kombinasi geser & tarik	0.75
d. Lapis yang memikul tumpu	0.75
3. Sambungan las	
a. Las tumpul penetrasi penuh	0.90
b. Las sudut dan tumpul penetrasi sebagian	0.75
c. Las pengisi	0.75

Sumber : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)

2.3.3. Spesifikasi Bahan

Guna keperluan mendesain struktur dan untuk menghindari kerusakan struktur karena menahan beban, maka diperlukan suatu batasan mutu dari masing-masing spesifikasi bahan struktur yang dipakai terhadap kekuatan menerima beban itu. Spesifikasi bahan tersebut meliputi :

- Mutu beton untuk plat, tangga, balok, kolom dan pondasi dengan $f'c = 30$ MPa
- Mutu baja tulangan untuk plat dengan $f_y = 400$ Mpa
- Mutu tulangan untuk Balok induk, kolom dan pondasi dengan $f_y = 400$ MPa sedang untuk tulangan geser dipakai mutu baja dengan $f_y = 240$ MPa.
- Struktur baja menggunakan profil IWF, mutu baja untuk struktur baja menggunakan mutu BJ. 52 ($f_y = 390$ MPa)

2.3.4. Denah dan Konfigurasi Struktur

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

2.3.5. Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Perencanaan struktur gedung tahan gempa dalam tugas akhir ini menggunakan metode analisa dinamik. Alasan pemilihan metode ini, antara lain karena analisa dinamik pada perencanaan gedung tahan gempa diperlukan untuk evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisa dinamik juga perlu dilakukan pada struktur bangunan tidak beraturan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Gedung dengan konfigurasi struktur yang tidak beraturan
- Gedung dengan loncatan bidang muka yang besar
- Gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- Gedung yang tingginya lebih dari 40 meter

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

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

2.3.6. Perencanaan Struktur Atas

Struktur atas adalah bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dari plat, tangga, lift, balok anak dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok, kolom dan dinding. Perencanaan struktur portal utama dan plat direncanakan dengan menggunakan struktur komposit antara beton dengan baja.

2.3.6.1. Perencanaan Pelat

Pelat adalah struktur yang berbentuk bidang datar (tidak melengkung). Dalam perencanaan ini pelat didisain menggunakan struktur komposit yaitu pelat beton yang diletakkan di atas dek baja bergelombang yang ditumpu pada balok.

Pada pelat beton bertulang non komposit, biasanya kemampuan beton untuk menahan tarik pada daerah momen positif disalurkan melalui tulangan-tulangannya. Namun untuk pelat komposit kemampuan beton untuk menahan tarik disalurkan melalui dek baja, yang kuat terhadap tarik. Pada perencanaan

pelat komposit, dek baja yang melekat pada pelat beton dapat berfungsi sebagai tulangan positif satu arah, dan pada pelaksanaannya, dapat berfungsi sebagai bekisting tetap. Perencanaan disain komposit ini tidak berlaku di daerah momen negatif, oleh sebab itu, untuk menahan tarik, tidak digunakan dek baja, namun digunakan tulangan.

Beban yang bekerja pada struktur pelat lantai adalah beban hidup dan beban mati dengan kombinasi pembebanan $U = 1,2 DL + 1,6 LL$. Sedangkan beban hidup (LL) yang bekerja pada plat sesuai dengan fungsi ruangan :

- Ruang perkantoran : 250 kg/m^2

Beban mati (DL) yang bekerja terdiri dari :

1. Beban sendiri plat
2. Berat spesi
3. Beban penutup lantai
4. Beban dek slab

Langkah-langkah perencanaan pelat adalah:

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang
2. Menentukan beban-beban yang bekerja
3. Menentukan tebal pelat komposit

Menurut Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002), Ketebalan pelat di atas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm. Untuk menentukan tebal pelat lantai pada gedung Indosat ini disesuaikan dengan spesifikasi pabrik dari dek baja yang digunakan.

4. Menentukan kapasitas momen nominal (M_n) yang bekerja pada pelat
5. Menentukan besarnya momen disain (M_u), yaitu:

$$M_u = \Phi \cdot M_n \quad (2.33)$$

dimana: Φ = faktor reduksi kekuatan

6. Pada momen negatif (daerah tumpuan), dek baja tidak menahan tarik. Oleh sebab itu pada daerah tersebut dibutuhkan tulangan untuk menahan tarik. Cara-cara untuk menentukan tulangan pada daerah tarik :
 - a. Menetapkan tebal penutup beton
 - b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.

c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.

d. Membagi Mu dengan $b \times d^2 \left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right)$ (2.34)

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times fy \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{fy}{f'c} \right) \quad (2.35)$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} \quad (2.36)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + fy} \times \frac{0,85 \times f'c}{fy} \quad (2.37)$$

g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

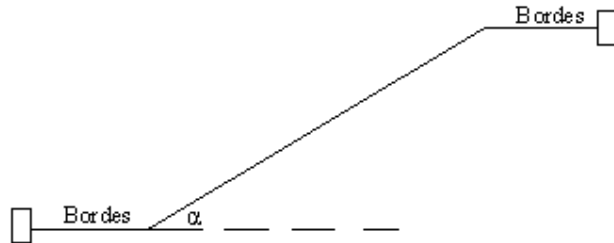
$$(As = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.38)$$

Perhitungan pelat lantai pada gedung parkir didesain sama seperti pelat lantai pada gedung utama. Pada gedung parkir juga terdapat ramp. Ramp digunakan sebagai sarana untuk dilalui kendaraan dalam menaiki gedung parkir ke tiap-tiap levelnya. perencanaan ramp juga seperti perencanaan pelat pada gedung utama yaitu pelat beton yang diletakkan di atas dek baja bergelombang. Akan tetapi tebal pelat beton pada ramp didesain lebih tebal. Hal ini karena ketebalan ramp juga didesain sebagai lapis aus, sehingga tebal ramp tidak cepat menipis.

2.3.6.2. Perencanaan Tangga

Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dari satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin. Struktur tangga dimodelkan sebagai frame 2 dimensi dengan tumpuan tetap pada

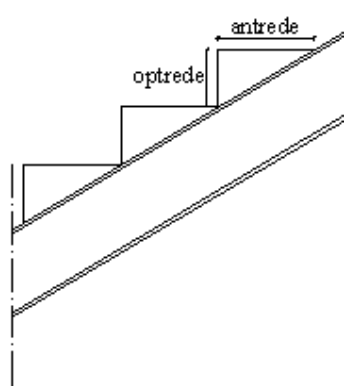
kedua ujungnya. Tangga pada gedung Indosat ini didesain menggunakan tangga baja.



Gambar 2.4. 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
- Tinggi Optrede
- Lebar Bordes
- Lebar anak tangga
- Tebal pelat tangga dan bordes



Gambar 2. 5 Pendimensian struktur tangga

Langkah-langkah perencanaan tangga :

1. Menentukan dimensi tangga (o = optrede/langkah naik dan a = antrede/langkah datar), serta jumlah optrede dan antrede.
2. menentukan kemiringan tangga (α).
$$\tan \alpha = \text{Tinggi tangga/panjang tangga}$$

3. Menghitung kombinasi beban W_u dari beban mati dan beban hidup pada tangga dan bordes.
 - Beban mati pada tangga : berat profil anak tangga, berat pelat pada anak tangga, beban spesi serta beban keramik.
 - Beban mati pada bordes : Berat pelat pada bordes, beban spesi serta beban keramik.
 - Beban hidup pada tangga dan bordes : 300 kg/m^2 .
4. Menentukan dimensi dari balok tangga
5. Menentukan gaya dalam yang terjadi pada balok tangga menggunakan *software* SAP 2000 serta balok bordes.
6. Memeriksa kekuatan balok tangga dan balok bordes yang telah ditentukan.
 - Cek kekuatan penampang
 - Cek Kelangsingan penampang
Batasan kelangsingan penampang berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 7.6.4 untuk balok I-WF ditentukan dengan :
 - a. Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{t} \quad (2.6)$$

$$\lambda_p = 170 / \sqrt{f_y} \quad (2.7)$$

$$\lambda_r = 370 / \sqrt{f_y - f_r} \quad (2.8)$$
 - b. Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} \quad (2.9)$$

$$\lambda_p = 1680 / \sqrt{f_y} \quad (2.10)$$

$$\lambda_r = 2550 / \sqrt{f_y - f_r} \quad (2.11)$$
 - Penampang kompak : $\lambda < \lambda_p$

$$M_n = M_p = F_y \times Z \quad (2.12)$$

Dimana : F_y = Tegangan leleh baja
 Z = Modulus plastis penampang
 - Penampang non-kompak: $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (2.13)$$

Dimana : M_p = Momen plastis penampang
 M_r = Momen batas tekuk = $S (f_y - f_r)$
 S = Modulus elastis penampang
 f_r = tegangan sisa.

➤ Penampang langsing : $\lambda > \lambda_r$

$$M_n = M_r \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 \quad (2.14)$$

Dimana : M_r = Momen batas tekuk = $S (f_y - f_r)$
 S = Modulus elastis penampang
 f_r = tegangan sisa.

– Cek pelat badan dibutuhkan perkakuan/tidak

Pelat badan dibutuhkan perkakuan/tidak, berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 8.7.1 ditentukan dengan :

Ketebalan pelat badan yang tidak diperkaku dan dibatasi di kedua sisi

memanjangnya oleh pelat sayap harus memenuhi : $\left(\frac{h}{tw} \right) \leq 6,36 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ (2.15)

dengan h adalah tinggi bersih pelat badan di antara kedua pelat sayap. Sedangkan jika pada salah satu sisi memanjang dibatasi oleh tepi bebas

maka harus memenuhi : $\left(\frac{h}{tw} \right) \leq 3,18 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ (2.16)

– Cek bentang pengekangan

Kuat komponen struktur dalam menerima momen lentur tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan (L_b).

Batas-batas pengekangan lateral berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 8.3.2 ditentukan dengan:

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.17)$$

$$L_r = r_y \cdot \frac{X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}} \quad (2.18)$$

Dimana : $F_L = F_y - F_r$

G = Modulus geser

$$I_w = \text{konstanta puntir lengkung (cm}^6\text{)} = \frac{r_y \cdot h^2}{4} \quad (2.19)$$

$$J = \text{Konstanta puntir torsi (cm}^4\text{)} \left(2 \frac{B \cdot t^3}{3} \right) + \left(\frac{1}{3} \cdot d_w \cdot t_w^3 \right) \quad (2.20)$$

$$X_1 = \frac{\pi}{W_x} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} \text{ kg/cm}^2 \quad (2.21)$$

$$X_2 = 4 \cdot \frac{I_w}{I_y} \cdot \left(\frac{W_x}{G \cdot J} \right)^2 \quad (2.22)$$

$L_b \leq L_p \rightarrow$ bentang pendek

$L_p < L_b < L_r \rightarrow$ bentang menengah

$L_r \leq L_b \rightarrow$ bentang panjang

– Cek kapasitas penampang terhadap momen

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 8.3.3 – 8.3.5 ditentukan bahwa :

➤ Balok Bentang Pendek

Untuk balok yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal penampang terhadap lentur adalah : $M_n = M_p$

➤ Balok Bentang Menengah

Untuk balok yang memenuhi $L_p \leq L \leq L_r$ kuat nominal penampang terhadap lentur adalah :

$$M_{nx} = C_b \cdot \left[M_r + \left((M_p - M_r) \cdot \frac{(L_r - L_b)}{(L_r - L_p)} \right) \right] \leq M_p \quad (2.23)$$

$$\text{Dimana : } C_b = \frac{12,5 \cdot M_{\max}}{2,5 \cdot M_{\max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \leq 2,3 \quad (2.24)$$

M_{\max} = Nilai absolut momen maximum pada bentang yang ditinjau

M_A = Nilai absolut momen pada $\frac{1}{4}$ bentang

M_B = Nilai absolut momen pada $\frac{1}{2}$ bentang

M_C = Nilai absolut momen pada $\frac{3}{4}$ bentang

➤ Balok Bentang Panjang

Untuk balok yang memenuhi $L \leq L_r$ kuat nominal penampang terhadap lentur adalah : $M_n = M_{cr} \leq M_p$

$$\text{Dimana : } M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y I_w} \quad (2.25)$$

– Cek terhadap tekuk

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 7.6.2 untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecildaripada nilai λ_c , daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut :

$$N_n = A_g \cdot F_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad (2.26)$$

$$\text{dan } \phi N_n = 0,85 x N_n \quad (2.27)$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{Lk}{r} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \quad (2.28)$$

$$\text{Untuk } \lambda_c \leq 0,25 \quad : \omega = 1$$

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad : \omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 x \lambda_c)}$$

$$\lambda_c \geq 1,2 \quad : \omega = 1,25 \cdot \lambda_c^2$$

keterangan : A_s = luas penampang bruto

f_{cr} = tegangan kritis penampang

f_y = tegangan leleh material

– Cek penampang terhadap tekan dan lentur

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$\frac{Nu}{\phi N_n} < 0,2 \quad : \quad \frac{Nu}{2\phi N_n} + \left[\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right] \leq 1 \quad (2.29)$$

$$\frac{Nu}{\phi N_n} \geq 0,2 \quad : \quad \frac{Nu}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right] \leq 1 \quad (2.30)$$

Dimana : M_{ux} = momen lentur terfaktor terhadap sumbu x dari analisa struktur.

M_{uy} = momen lentur terfaktor terhadap sumbu.

N_u = gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor.

N_n = kuat nominal penampang terhadap tekan atau tarik.

M_{nx} = kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu x.
 M_{ny} = kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu y.
 ϕ = faktor reduksi kekuatan (0,90 untuk tarik, 0,85 untuk tekan)

- Cek Tegangan geser

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 8.8 pelat badan yang memikul gaya geser rencana (V) harus memenuhi : $V \leq \phi V_n$

Di mana : ϕ = faktor reduksi kekuatan

V_n = kuat geser plat badan nominal

Kuat geser nominal pelat badan nominal pelat badan (V_n) harus diambil seperti ketentuan di bawah ini :

$$\text{Untuk : } \frac{h}{tw} < 1,1 \times \sqrt{\frac{kn \cdot E}{fy}} \quad (2.31)$$

Dimana : $K_n = 5 + 5/(a/h)$

a = jarak antar pengaku

h = lebar flens

Maka kuat nominal plat badan harus diambil terhadap kuat leleh geser.

$$V_n = 0,6 \times fy \times A_w \text{ dimana } A_w = \text{luas bruto plat badan} \quad (2.32)$$

Setelah selesai perencanaan untuk tangga dan bordes, maka dilakukan perhitungan untuk sambungan pada tangga dan bordes yang meliputi sambungan balok tangga dengan balok bordes, sambungan balok bordes dengan pelat pada bordes, sambungan detail anak tangga, sambungan balok tangga dengan segitiga anak tangga, sambungan anak tangga dengan pelat di atasnya, serta sambungan balok bordes dengan balok pada gedung utama dan kolom pada gedung utama. Sambungan pada tangga dan bordes ini menggunakan sambungan baut dan sambungan las.

2.3.6.3. Perencanaan Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dari satu tingkat ke tingkat lainnya. Disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai bangunan (12 lantai) dan perkiraan jumlah pengguna *lift* maka pada struktur gedung perkantoran

ini digunakan 2 buah *lift*. Kapasitas lift disesuaikan dengan jumlah penumpang yang diperkirakan akan menggunakan lift dengan beban rencana 900 kg (13 orang untuk satu lift).

Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang digunakan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan perhitungan balok penggantung katrol lift. Perhitungan mekanika lift tidak direncanakan karena sudah merupakan suatu paket dari pabrik dengan spesifikasi. Pada dasarnya lift terdiri dari tiga komponen yaitu :

- a. Mesin – mesin penarik dengan kabel dan perlengkapannya.
- b. Trace atau traksi kereta penumpang yang digunakan untuk menyangkut penumpang beserta beban pengimbang serta perangkatnya.
- c. Ruang dan landasan serta konstruksi penopang untuk mesin, kereta, beban pengimbang beserta perangkatnya.

Hal - hal pokok yang harus diperhatikan dalam hal konstruksi lift dan berkaitan dengan struktur bangunan itu sendiri.

⊗ Ruang tempat mesin lift

Mesin lift pengangkut kereta dan pengimbangnya seperti pada prinsip kerja katrol, dengan demikian mesin lift diletakkan dibagian teratas dari bangunan .

⊗ Dinding ruang luncur kereta

Dinding terbuat dari pasangan batu bata, beban – beban yang ada ditahan oleh balok dan disalurkan ke kolom kemudian ke pondasi.

⊗ Ruang terbawah

Ruang dibawah harus diberi kelonggaran, sehingga pada saat kereta mencapai pada posisi paling bawah tidak menumbuk dasar lantai. Tempat tersebut juga perlu diberi perlengkapan tumpuan untuk pegas yang menahan lift pada saat bekerja.

⊗ Type lift

Semua tipe *lift* yang digunakan sesuai dengan spesifikasi sebagai berikut :

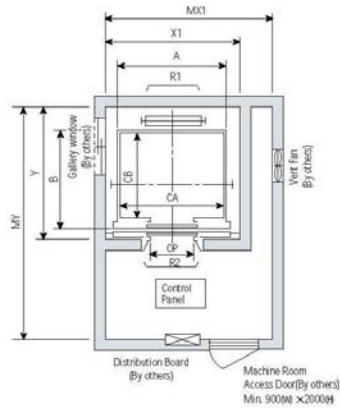
- *Capacity* :

- Person : 13
- Weight : 900 kg
- *Speed* : 50 m/menit
- *Entrance* :
 - Type : JP050 Type basic
 - Height : 2100 mm
- *Car Dimension* :
 - Internal (CA x CB) : 1600 mm x 1350 mm
 - External (A x B) : 1660 mm x 1505 mm
- *Hoistway Internal Dimension* :
 - X2 x Y : 4200 x 2000
 - PP : 1500
 - Overhead (OH) : 4600
- *Machine Room* :
 - MX1 x MY : 2000 x 3600
 - R1 : 5100 kg
 - R2 : 3750 kg

Layout Plan

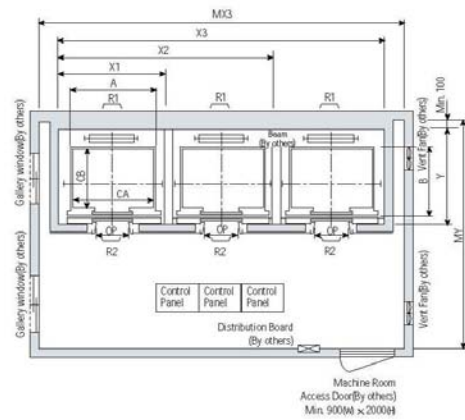
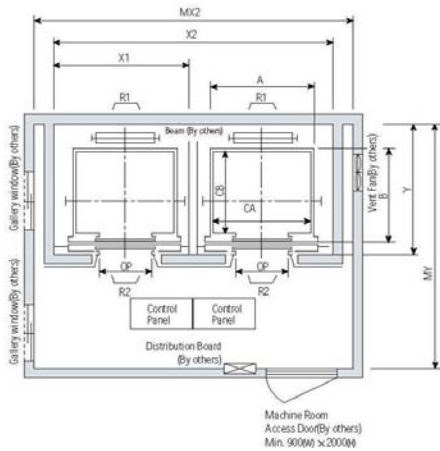
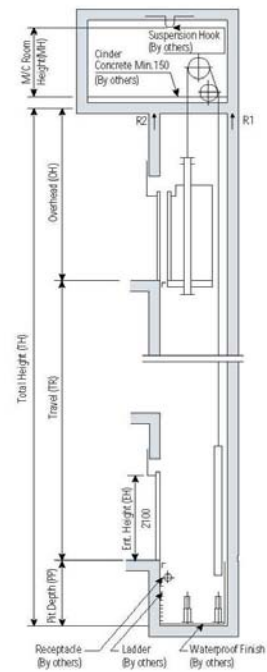
General Type 45~120m/min

Plan of Hoistway & Machine Room



Note : Machine room temperature should be maintained below 40°C with ventilating fan and /or air conditioner(if necessary) and humidity below 90%.

Section of Hoistway



Gambar 2.6. Tampak dan Potongan Lift

2.3.6.4. Perhitungan Portal

2.3.6.4.1. Perhitungan Balok

1. Analisa penampang komposit

a. Lebar Efektif

Untuk menghitung sifat penampang komposit secara praktis, konsep lebar efektif perlu diterapkan. Lebar efektif merupakan lebar dari lempeng beton yang turut aktif dalam aksi komposit. Menurut Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002), lebar efektif pelat lantai yang membentang pada masing-masing sisi dari sumbu balok tidak boleh melebihi :

- Seperdelapan dari bentang balok (jarak antara tumpuan)
- Setengah jarak bersih antara sumbu balok-balok yang bersebelahan
- Jarak ke tepi pelat

b. Perhitungan Momen Kapasitas penampang komposit

Tegangan-tegangan pada penampang komposit biasanya dihitung dengan menggunakan metode transformasi luas, disini salah satu dari luas material yang dipakai ditransformasikan menjadi luas yang ekuivalen terhadap luas material lainnya. Biasanya luas efektif beton yang ditransformasikan menjadi luas baja yang ekuivalen. Dengan menganggap bahwa pada jarak yang sama dari sumbu netral besarnya regangan yang terjadi pada kedua material adalah sama, maka besarnya unit tegangan pada salah satu material adalah sama dengan perkalian antara regangan yang terjadi dengan modulus elastisitasnya. Unit tegangan baja dengan demikian bisa dinyatakan sebagai E_s / E_c dikalikan dengan unit tegangan beton.

Dengan memisahkan perbandingan E_s / E_c sebagai perbandingan modulus n , gaya yang ditahan oleh beton seluas satu satuan luas adalah setara dengan gaya yang ditahan oleh baja seluas satu satuan luas. Dengan demikian luas efektif beton ($A_c = b_e f \times t$), bisa digantikan dengan luas

$$\text{transformasi : } A_{\text{transformasi}} = \frac{A_c}{n} \quad (2.39)$$

dimana :

A_c adalah luas *flens* beton efektif

n adalah perbandingan modulus baja dengan modulus beton

Pada balok komposit yang berpenampang kompak kapasitas momen penampang harus dianalisis dengan distribusi tegangan plastis, sedangkan yang berpenampang tak kompak dianalisis dengan distribusi tegangan elastis. Pada balok komposit yang berdasarkan distribusi tegangan plastis. Besarnya gaya tekan C pada pelat beton adalah nilai terkecil dari :

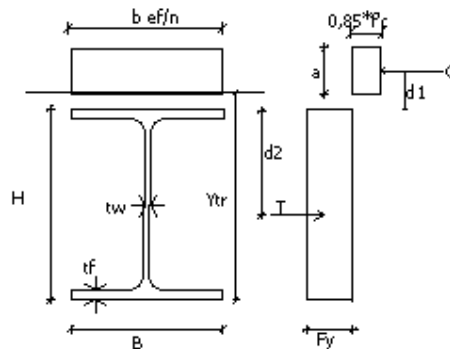
$$C = A_s \times f_y \quad (2.40)$$

$$C = 0,85 \times f'_c \times A_c \quad (2.41)$$

$$C = \sum_{n=1}^n Q_n : Q_n = \text{kapasitas tarik penghubung geser (hanya untuk balok komposit parsial)} \quad (2.42)$$

Posisi sumbu netral plastis pada penampang komposit akan dipengaruhi oleh nilai C . Setelah sumbu netral dari penampang transformasi ditentukan, kemudian momen inersianya I_{tr} dapat dihitung.

- Untuk sumbu netral (N-A) yang berada di pelat lantai



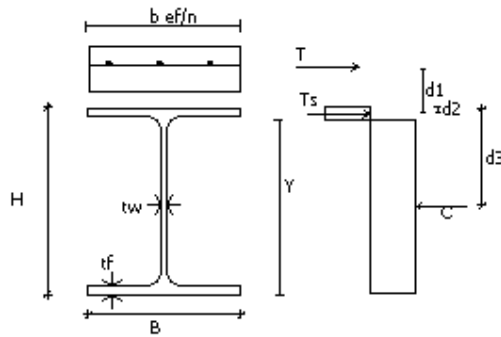
Gambar 2.7 Penampang komposit untuk sumbu netral berada pada pelat lantai

$$P_y (T) = A_s \times F_y \quad (2.43)$$

$$M_n = C (d_1 + d_2) \quad (2.44)$$

c. Perencanaan Balok Pada Daerah Momen Negatif

Menurut *Composite Concruction Design For Buildings, ASCE*, pada daerah momen negatif, penampang balok dianggap tidak mengalami aksi komposit. Asumsi yang digunakan pada perencanaan ini adalah bahwa beton tidak memiliki kekuatan terhadap tarik, terjadi pengurangan penampang baja pada balok dan tulangan baja pada pelat tanpa memperhatikan lebar efektif pelat. Hal tersebut perlu dilakukan untuk mengatasi tekuk lokal yang mungkin terjadi pada penampang baja. Oleh karena itu, diperlukan tulangan pelat pada daerah yang mengalami tarik dan perlu dilengkapi dengan penggunaan penghubung geser yang cocok.



Gambar 2.9 Distribusi tegangan plastis pada daerah momen negatif

Dari gambar di atas besarnya T , yaitu kuat tarik pada tulangan pelat beton bertulang adalah :

$$T = A_r \cdot F_{y_r} \quad (2.48)$$

$$T = \sum Q_n \quad (2.49)$$

Ket :

A_r = luas tulangan tarik di daerah lebar efektif pelat beton

F_{y_r} = tegangan leleh tulangan plat (kg/cm^2)

d_1 = jarak dari centroid tulangan pelat longitudinal ke tepi atas penampang baja (cm)

d_3 = jarak dari C ke tepi atas penampang baja (cm)

d_2 = jarak dari pusat gaya tarik di penampang baja ke tepi atas penampang baja (cm)

Y = titik berat penampang pada momen negatif (cm)

I = Momen Inersia penampang pada momen negatif (cm^4)

ΣQ_n = Total kekuatan penghubung geser pada daerah di antara momen negatif maksimum dan momen nol

Kapasitas momen nominal dapat ditentukan dengan persamaan:

$$M_n = T(d_1 + d_2) + P_y(d_3 - d_2) \quad (2.50)$$

d. Kekuatan Balok Komposit Dengan Penghubung Geser

Menurut SNI-03-1729-2002 pasal 12.6.1 penghubung geser jenis paku stud dalam kondisi terpasang harus mempunyai panjang yang lebih besar dari 4 kali diameternya. Untuk aksi komposit dimana dimana beton mengalami gaya tekan akibat lentur, gaya horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi titik-titik momen positif maksimum dan momen nol harus diambil sebesar nilai C. Secara matematik dapat dinyatakan dengan :

$$V_h = C$$

Dan untuk gaya horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi titik-titik momen negatif di tumpuan dan momen nol terdekat harus diambil sebesar nilai T.

Menurut SNI-03-1729-2002 pasal 12.6.3 kekuatan nominal satu penghubung geser jenis paku adalah :

$$Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times \sqrt{f_c \times E_c} \leq A_{sc} \times f_u \quad (2.51)$$

Dimana : A_{sc} = Luas penampang penghubung geser jenis paku (mm^2)

f_u = tegangan putus penghubung geser jenis paku (Mpa)

Q_n = Kekuatan nominal untuk satu penghubung geser (N)

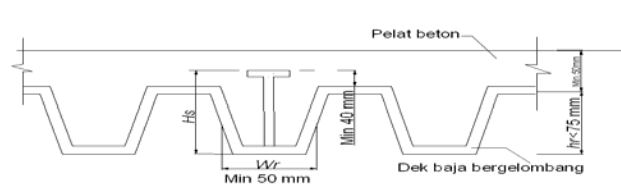
E_c = modulus elastisitas beton Mpa, untuk beton dengan berat normal besarnya ($E_c = 4700\sqrt{f'_c}$)

Pada tugas akhir ini digunakan dek baja. Dek baja bergelombang merupakan salah satu jenis material baru yang digunakan untuk membuat pelat lantai. Dalam pembuatan pelat tersebut, dek baja bergelombang dipadukan dengan beton sehingga akan membentuk pelat komposit. Keuntungan yang dimiliki oleh pelat komposit ini dibandingkan dengan pelat beton bertulang biasa adalah : kekakuan dek baja cukup tinggi sehingga

memerlukan lebih sedikit penyangga pada waktu pengecorannya, dapat menghemat jumlah pemakaian adukan beton karena memiliki ketebalan yang tipis, menghemat biaya dan waktu karena dek baja berfungsi sebagai formwork untuk pengecoran adukan beton, dan dek baja bergelombang dapat dimanfaatkan sebagai tulangan tarik sehingga kebutuhan akan tulangan tarik dapat dikurangi atau dihilangkan. Aksi komposit antara beton dan dek baja bergelombang terbentuk melalui adanya mekanisme tahanan geser yang bersumber dan lekatan natural antara kedua bahan, gaya gesekan antara kedua bahan, dan bentuk profil dek baja bergelombang.

Menurut SNI 03-1729-2002, persyaratan dek baja yang diletakkan di bawah pelat beton adalah: Tinggi nominal gelombang dek baja tidak boleh lebih dari 75 mm. Lebar rata-rata dari gelombang w_r , tidak boleh kurang dari 50 mm, dan tidak boleh lebih besar dari lebar bersih minimum pada tepi atas dek baja.

1. Pelat beton harus disatukan dengan balok baja melalui penghubung geser jenis paku yang dilas yang mempunyai diameter tidak lebih dari 20 mm. Penghubung geser jenis paku dapat dilas pada dek baja atau langsung pada balok baja. Setelah terpasang, ketinggian penghubung geser jenis paku tidak boleh kurang dari 40 mm di atas sisi dek baja yang paling atas.
2. Ketebalan pelat di atas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm.



Gambar 2.10 Persyaratan untuk dek baja bergelombang

Berdasarkan persyaratan-persyaratan tersebut maka tipe dek baja yang digunakan adalah *Union Floor Deck W-1000*

a) Gelombang Dek Baja Yang Arahnya Tegak Lurus Terhadap Balok Penumpu

Untuk gelombang-gelombang dek baja yang arahnya tegak lurus terhadap balok penumpu, tebal beton yang berada di bawah tepi atas dek baja harus diabaikan dalam perhitungan karakteristik penampang komposit dan dalam penentuan luas pelat beton A_c , yang diperlukan untuk kapasitas gaya geser horizontal balok komposit. Jarak antara penghubung geser tidak boleh lebih dari 900 mm. Kuat nominal penghubung geser jenis paku dikalikan dengan suatu faktor reduksi, r_s , yaitu:

$$r_s = \frac{0.85}{\sqrt{N_r}} \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left[\left(\frac{H_s}{h_r} \right) - 1,0 \right] \leq 1,0 \quad (2.52)$$

Keterangan :

r_s = faktor reduksi

N_s = Jumlah penghubung geser jenis paku pada setiap gelombang pelat berprofil di perpotongannya dengan balok

H_s = Tinggi penghubung geser jenis paku $\leq (h_r + 75 \text{ mm})$

h_r = Tinggi nominal gelombang pelat baja berprofil

w_r = Lebar efektif gelombang pelat baja berprofil

b) Gelombang Dek Baja Yang Arahnya Sejajar Terhadap Balok Penumpu

Untuk gelombang dek baja yang arahnya sejajar dengan balok baja, tebal pelat beton yang berada di bawah tepi atas dek baja dapat diperhitungkan dalam penentuan karakteristik penampang komposit dan juga dalam luas penampang pelat beton A_c , yang diperlukan untuk perhitungan kapasitas gaya geser horizontal balok.

Jika tinggi nominal dek baja lebih besar atau sama dengan 40 mm maka lebar rata-rata dari gelombang yang ditumpu w_r , tidak boleh kurang dari 50 mm + 4(n_s-1) d_s untuk penampang dengan jumlah penghubung geser jenis

paku sama dengan n_s pada arah melintang; dengan d_s adalah diameter penghubung geser jenis paku tersebut.

Kuat nominal penghubung geser jenis paku dikalikan dengan suatu faktor reduksi, r_s , yaitu

$$r_s = 0,6 \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left[\left(\frac{H_s}{h_r} \right) - 1,0 \right] \leq 1,0 \quad (2.53)$$

Jumlah penghubung geser pada daerah yang dibatasi titik-titik momen maksimum dan momen nol adalah :

$$N_1 = \frac{Vh}{Qn} \quad (2.54)$$

Dimana : N_1 = jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah diantara momen maksimum dan momen nol

Untuk penempatan dan jarak penghubung geser, berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.6, penghubung geser yang diperlukan pada daerah yang dibatasi oleh titik-itik momen lentur maksimum dan momen nol yang berekatan harus didistribusikan secara merata pada daerah tersebut. Ketentuan jarak antar penghubung adalah sebagai berikut :

1. Tebal minimum selimut beton pada arah lateral 25 mm
2. Jarak minimum antar penghubung geser pada arah sejajar sumbu balok > 6 x diameter
3. Jarak minimum antar penghubung geser pada arah tegak lurus sumbu balok > 4 x diameter
4. Jarak maksimum antar penghubung geser < 8 x diameter

e. Perhitungan Lenturan / Lendutan

Untuk perhitungan lenturan/lendutan dari gelagar dengan perletakan jepit-jepit yang menahan beban baik merata dan beban terpusat digunakan rumus sebagai berikut :

1. Akibat beban merata

$$\delta_1 = \frac{q * L^4}{384 * E * I} \leq \delta_{ijin} \quad (2.55)$$

2. Akibat beban terpusat

$$\delta_2 = \frac{P * L^3}{192 * E * I} \leq \delta_{ijin} \quad (2.56)$$

Dimana :

δ = besarnya lendutan yang terjadi

δ_{ijin} = besarnya lendutan yang diijinkan = $L/360$

q = beban merata

P = beban terpusat

L = bentang/panjang gelagar/balok yang ditinjau

E = modulus elastisitas

I = momen inersia

2.3.6.4.2. Perencanaan Kolom

a. Perencanaan Kolom Komposit

Kolom komposit biasa digunakan dalam sistem bangunan komposit terbuat dari baja yang diberi selubung beton di sekelilingnya atau penampang baja berongga yang diisi dengan beton struktural, yang keduanya bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Dalam perencanaan Gedung Indosat ini, kolom komposit yang digunakan adalah yang terbuat dari baja yang diberi selubung beton.

Perhitungan kolom komposit tersebut menggunakan analisa perhitungan kolom komposit berdasarkan *SNI 2002*.

b. Batasan

Kriteria untuk kolom komposit bagi komponen struktur tekan:

1. Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas penampang komposit total;
2. Selubung beton untuk penampang komposit yang berintikan baja harus diberi tulangan baja longitudinal dan tulangan pengekang lateral. Tulangan baja longitudinal harus menerus pada lantai struktur portal, kecuali untuk tulangan longitudinal yang hanya berfungsi memberi kekangan pada beton. Jarak antar pengikat lateral tidak boleh melebihi $2/3$ dari dimensi terkecil penampang kolom komposit. Luas

minimum penampang tulangan transversal (atau longitudinal) tidak boleh kurang dari 0,18 mm² untuk setiap mm jarak antar tulangan transversal (atau longitudinal) terpasang. Tebal bersih selimut beton dari tepi terluar tulangan longitudinal dan transversal minimal sebesar 40 mm;

3. Mutu beton yang digunakan tidak lebih tinggi daripada 55 MPa dan tidak kurang dari 21 MPa untuk beton normal dan tidak kurang dari 28 MPa untuk beton ringan.
4. Tegangan leleh profil dan tulangan baja yang digunakan untuk perhitungan kekuatan kolom komposit tidak boleh melebihi 380 MPa;

c. Kuat Tekan Rencana Yang Menumpu Beban Aksial

Kuat rencana kolom komposit yang menumpu beban aksial adalah $\phi_c N_n$, dengan $\phi_c = 0,85$.

$$N_n = A_s f_{cr} \tag{2.57}$$

Dan $f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega}$ (2.58)

Untuk $\lambda_c < 0,25$ maka $\omega = 1$ (2.59)

Untuk $0,25 < \lambda < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{(1,6 - 0,67 \lambda_c)}$ (2.60)

Untuk $\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25 \lambda_c^2$ (2.61)

Dengan :

- **Parameter Kelangsingan Kolom (λ_c) :**

$$\lambda_c = \frac{k_c L}{r_m \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \tag{2.62}$$

- **Tegangan Leleh Untuk Perhitungan Kolom Komposit (f_{my})**

$$f_{my} = f_y + \frac{c_1 f_{yr} A_r}{A_s} + \frac{c_2 f'_c A_c}{A_s} \tag{2.63}$$

- **Modulus Elastisitas Untuk Perhitungan Kolom Komposit (E_m)**

$$E_m = E_s + \frac{c_3 E_c A_c}{A_s} \tag{2.64}$$

$$E_c = 0,041w^{1,5} \sqrt{f'_c} \quad (2.65)$$

Dimana

- A_s adalah luas penampang profil baja, mm²
- f_{cr} adalah tegangan tekan kritis, MPa.
- f_{my} adalah tegangan leleh untuk perhitungan kolom komposit
- k_c adalah factor efektif panjang kolom
- L adalah panjang unsur struktur, mm
- r_m adalah jari-jari girasi kolom komposit, mm
- Nn adalah kuat aksial nominal, N
- w adalah berat jenis beton, kg/m³
- λ_c adalah parameter kelangsingan
- ϕ_c adalah faktor reduksi beban aksial tekan
- ω adalah faktor tekuk
- E_m adalah modulus elastisitas untuk perhitungan kolom komposit, MPa
- f_y adalah tegangan leleh profil baja, MPa
- f_{yr} adalah tegangan leleh minimum batang tulangan longitudinal, MPa
- A_r adalah luas penampang tulangan longitudinal, mm²
- A_s adalah luas penampang profil baja, mm²
- A_c adalah luas penampang beton, mm²
- f'_c adalah kuat tekan karakteristik beton, MPa
- E_s adalah modulus elastisitas baja, MPa
- E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa

c_1, c_2, c_3 adalah koefisien yang besarnya diperlihatkan di bawah ini

a. Untuk pipa baja yang diisi beton:

$$c1=1,0, c2 = 0,85, dan c3 = 0,4$$

b. Untuk profil baja yang diberi selubung beton:

$$c1 = 0,7, c2 = 0,6, dan c3 = 0,2.$$

- **Faktor Panjang Tekuk (k_c)**

Nilai faktor panjang tekuk diperoleh dari nomogram nilai k_c untuk struktur bergoyang (SNI 03 – 1729 -2002 halaman 33), dengan memasukkan nilai G (perbandingan kekakuan pada portal). Nilai G struktur pada rangka portal dapat ditentukan sebagai berikut:

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b} \quad (2.66)$$

$$\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c : \text{kekakuan kolom} \quad (2.67)$$

$$\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b : \text{kekakuan balok} \quad (2.68)$$

- **Jari-Jari Girasi Kolom Komposit (r_m)**

$$r_y = \sqrt{\left(\frac{I_y}{A} \right)} \quad (2.69)$$

d. Analisa Momen

Untuk komponen struktur komposit yang menderita momen lentur, nilai M_n ditentukan berdasarkan :

- $\frac{Nu}{\phi N_n} < 0,2$: $\frac{Nu}{2 \phi N_n} + \left[\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right] \leq 1$ (2.70)

- $\frac{Nu}{\phi N_n} \geq 0,2$: $\frac{Nu}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right] \leq 1$ (2.71)

- Jika $\frac{Nu}{\phi c N_n} \geq 0,3$ (2.72)

$$M_n = M_p Z * f_y + \frac{1}{3} (h_2 - 2 * cr) * A_r * f_{yr} + \left(\frac{h_2}{2} - \frac{A_w * f_y}{1,7 * f'c * h_1} \right) * A_w * f_y \quad (2.73)$$

Dimana :

M_{ux} = momen lentur terfaktor terhadap sumbu x

M_{uy} = momen lentur terfaktor terhadap sumbu y

- Nu = gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor.
- Nn = kuat nominal penampang terhadap tekan atau tarik.
- Mnx = kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu x.
- Mny = kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu y.
- ϕ = faktor reduksi kekuatan (0,90 untuk tarik 0,85 untuk tekan)
- Aw = luas badan penampang baja, Aw = 0 untuk penampang berongga
- h2 = dimensi penampang sejajar bidang lentur
- h1 = dimensi penampang tegak lurus bidang lentur
- cr = tebal selimut beton rata-rata terhadap tulangan longitudinal

2.3.6.5. Perencanaan Semi Basement

Gedung Indosat yang terletak di Jalan Pandanaran Semarang ini tidak cocok dibangun *basement* karena daerah Pandanaran merupakan daerah rawan banjir. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan lahan parkir, direncanakan *semi basement*, yaitu dimana ketinggian pelat *lantai semi basement* sama dengan ketinggian permukaan jalan. Pada perencanaan ini struktur *semi basement* yang direncanakan meliputi pelat lantai, dan dinding semibasement. Untuk perencanaan *lantai semi basement* beban yang diperhitungkan adalah beban dari daya dukung tanah dan air dibawah *semi basement*, sedang untuk perencanaan dinding *semi basement* beban yang diperhitungkan adalah beban dari daya dukung tanah dan air disamping kanan dan kiri dinding *semi basement*.

Berdasarkan “ Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung (SNI 03 - 1728 - 2002 pasal 16.5(3)), ketebalan dinding luar ruang bawah tanah dan dinding pondasi tidak boleh kurang daripada 190 mm. Beban yang bekerja pada dinding semi basement adalah beban tanah dan air.

Untuk perhitungan momen pada dinding semi basement dihitung dengan mengandaikan dinding semi basement sebagai pelat per meter panjang dengan beban segitiga berupa tekanan total (tanah + air). Sedang momen untuk pelat lantai dan pelat atap basement dicari dengan rumus mengacu pada Buku CUR 1 seperti pada perencanaan pelat lantai bangunan di atas, yaitu :

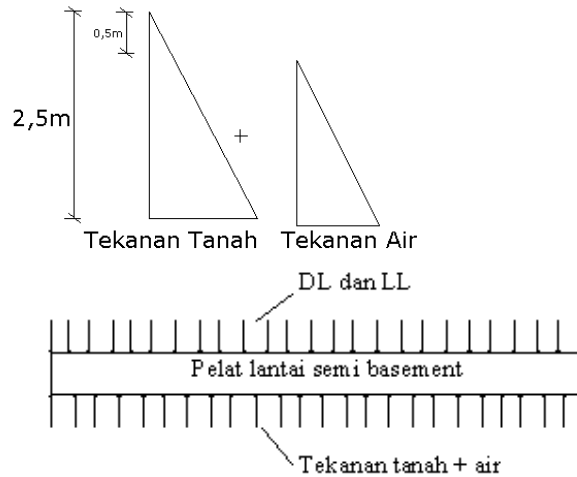
$$a. \text{ Momen lapangan arah x (Mlx) = koef x Wu x lx}^2 \quad (2.74)$$

$$b. \text{ Momen lapangan arah y (Mly) = koef x Wu x ly}^2 \quad (2.75)$$

c. Momen tumpuan arah x (M_{tx}) = koef x W_u x l_x^2 (2.76)

d. Momen tumpuan arah y (M_{ty}) = koef x W_u x l_y^2 (2.77)

Untuk penulangan dinding, dan pelat lantai basement dapat mengikuti prosedur yang sama dengan penulangan pelat lantai bangunan yang mengacu pada rumus-rumus dalam Buku CUR 1



Gambar 2.11 Sketsa Pembebanan Pada Dinding dan Lantai *Semi Basement*

2.3.7. Perencanaan Struktur Bawah

Dalam pemilihan struktur bawah harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Keadaan tanah pondasi

Keadaan tanah ini berhubungan dengan pemilihan tipe pondasi yang sesuai, yaitu jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman lapisan tanah keras.

2. Batasan akibat struktur di atasnya

Keadaan struktur sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi, yaitu kondisi beban dari struktur di atasnya (besar beban, arah beban, penyebaran beban).

3. Keadaan lingkungan disekitarnya

Meliputi: lokasi proyek, dimana pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan di sekitarnya.

4. Biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan

Pekerjaan pondasi harus mempertimbangkan biaya dan waktu pelaksanaannya sehingga proyek dapat dilaksanakan dengan ekonomis dan memenuhi faktor keamanan. Pelaksanaan juga harus memenuhi waktu yang relatif singkat agar pekerjaan dapat dilaksanakan dengan efektif dan efisien.

Dengan mempertimbangkan hal-hal di atas, maka pondasi untuk struktur gedung Indosat ini direncanakan pondasi tiang pancang. Selain itu, pemilihan sistem pondasi tiang pancang ini didasarkan atas pertimbangan:

1. Beban yang bekerja cukup besar.
2. Pondasi tiang pancang dibuat dengan sistem sentrifugal, menyebabkan beton lebih rapat sehingga dapat menghindari bahaya korosi akibat rembesan air.

2.3.7.1 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 dari 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.

2.3.7.2. 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 P_{ult} . Daya dukung ini merupakan kemampuan tanah mendukung beban, dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan. Besarnya daya dukung yang

dijijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, rumusnya adalah:

$$P_{\text{all}} = \frac{P_{\text{ult}}}{FK} \quad (2.78)$$

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.

2.3.7.3. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

2.3.7.3.1 Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

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

1. Berdasarkan kekuatan bahan

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

$$\sigma_b = 0.33 \times f'c \quad : f'c = \text{kekuatan karakteristik beton} \dots \dots \dots (2.79)$$

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

$$P_{\text{tiang}} = \sigma_b * A_{\text{tiang}} \dots \dots \dots (2.80)$$

- 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/*End Bearing* (q) dan tahanan selimut/*Friction Pile* (c) sepanjang tiang. Tes sondir ini biasanya dilakukan pada tanah - tanah kohesif dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung keras. Persamaan untuk menghitung daya dukung tiang pancang menurut data CPT adalah:

$$P_{tiang} = \frac{A_{tiang} * p}{3} + \frac{O * JHP}{5} \quad (2.81)$$

Dimana :

P_{tiang} = Daya dukung keseimbangan tiang (kg)

P = Nilai conus (kg/cm²)

Nilai conus yang dipakai untuk menentukan daya dukung ini sebaiknya digunakan rata-rata dari nilai conus pada kedalaman 4D di atas ujung bawah tiang dan 4D di bawah ujung bawah tiang.

O = Keliling tiang pancang (cm)

JHP = Total friction (kg/cm)

3. Berdasarkan hasil SPT

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan menggunakan data SPT dapat digunakan menurut *Japan Road Association*. *Japan Road Association* mengusulkan cara untuk menentukan tahanan friksi batas dan tahanan ujung batas untuk precast pile dan cast in place pile. Tahanan friksi/gaya geser pada dinding tiang adalah seperti tertera pada tabel 2.10. Tahanan ujung untuk precast pile ditentukan dengan menggunakan gambar 2.15. Tahanan ujung (qd) untuk tiang yang dicor di tempat dapat diambil/diperkirakan dari tabel 2.11 dengan mengabaikan perbandingan dalamnya lapisan tanah pendukung. Langkah-langkah untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan metode *Japan Road Association* adalah :

➤ Menentukan panjang penetrasi

Panjang Penetrasi Ditentukan Berdasarkan gambar pada masing-masing hasil data SPT. Untuk menentukan panjang penetrasi langkah-langkahnya adalah :

- Menentukan nilai SPT pada ujung tiang (N1)
- Menentukan nilai SPT rata-rata untuk 4D ke atas dari ujung tiang (N2)
- Menentukan nilai SPT rata-rata dari N1 dan N2 (\bar{N})
- Menentukan jarak antara nilai SPT ujung tiang dengan nilai SPT rata-rata (\bar{N})

- Membuat bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata yang seimbang dengan bidang luasan di bawah nilai SPT rata-rata
 - Menentukan jarak antara nilai SPT rata-rata dengan nilai SPT teratas dari bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata
 - Panjang penetrasi adalah jumlah dari jarak antara nilai SPT ujung tiang dengan nilai SPT rata-rata (N) dan jarak antara nilai SPT rata-rata dengan nilai SPT teratas dari bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata
- Menentukan tahanan ujung (qd)
Langkah-langkahnya yaitu :
- Membagi panjang penetrasi (l) dengan diameter tiang (D)
 - Menentukan nilai qd/N dari gambar 2.12, kemudian qd didapat
 - Menghitung tahanan ujung (qd) dari nilai qd dikalikan luas tiang
- Menentukan tahanan friksi (qf)
Berdasarkan tabel 2.10 diketahui faktor reduksi untuk tahanan friksi. Tahanan friksi merupakan hasil kali antara keliling tiang dengan jumlah nilai SPT tiap lapisan tanah
- Menentukan daya dukung tiang pancang
- $$P_{\text{tiang}} = Q_d + Q_f \quad (2.82)$$

Tabel 2.10 Nilai tahanan friksi/gaya geser dinding tiang

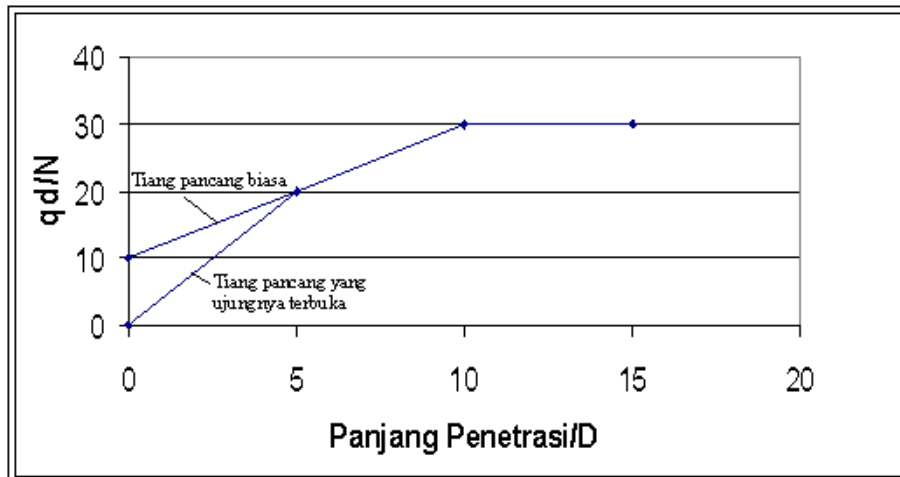
Jenis Tiang Jenis Tanah Pondasi	Tiang Pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah Berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah kohesif	$C \text{ or } N (\leq 12)$	$\frac{C}{2} \text{ or } \frac{N}{2} (\leq 12)$

Sumber : Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi

Tabel 2.11 Metode untuk menghitung Qd pada cast-in- place pile

Intensitas daya dukung ultimate pada ujung tiang (qd)	Lapisan Kerikil 1)	$N \geq 50$	750
		$50 > N \geq 40$	525
	Lapisan Pasir 1)	$40 > N \geq 30$	300
		$N \geq 30$	300
	Lapisan lempung keras	3 qu 2)	
<p>1) Perbedaan antara lapisan kerikil dengan lapisan berpasir dapat dipertimbangkan berdasarkan hasil penyelidikan pada sejumlah kecil tanah tersebut. Lapisan berpasir yang bercampur dengan kerikil dianggap sama dengan lapisan berpasir tanpa kerikil. Harga N diperoleh dari penyelidikan.</p> <p>2) Pada lapisan lempung keras, intensitas daya dukung ditetapkan berkenaan dengan "Kriteria perencanaan pondasi kaison qu adalah kekuatan geser <i>unconfined</i> (t/m^2)"</p>			

Sumber : Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi



Gambar 2.12 Grafik perhitungan dari intensitas daya dukung ultimate tanah pondasi pada ujung tiang

4. Berdasarkan Pelaksanaan

$$P = \frac{e_f \cdot x \cdot W \cdot x \cdot H}{s + 0,5x(c_1 + c_2 + c_3)} \left(\frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p} \right) \quad (2.83)$$

Dimana :

- P = kapasitas beban pada tiang
- W = berat hammer dalam kg (= 0,5*Wp + 600 kg)
- 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 = 0,2
- c_2 = simpangan tiang akibat tekanan elastis sementara = 0,4
- c_3 = tekanan elastis sementara pada tanah = 0,1
- e_f = efisiensi hammer = 85 % untuk double acting hammer
= 100 % untuk drop hammer
- n = koefisien restitusi (0 s/d 0,5)
- W_p = berat tiang pancang

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

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

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

$$Eff = 1 - \frac{\varphi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m * n} \right] \dots\dots\dots(2.84)$$

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

$$P_{all\ group} = Eff \times P_{all\ tiang} \text{ (daya dukung tiang tunggal)} \dots\dots\dots(2.85)$$

a. Pmax Yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P_{\max} = \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{\max}}{n_x \Sigma y^2} \pm \frac{M_y * X_{\max}}{n_y \Sigma x^2} \dots\dots\dots(2.85)$$

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

b. Kontrol Gaya Horisontal

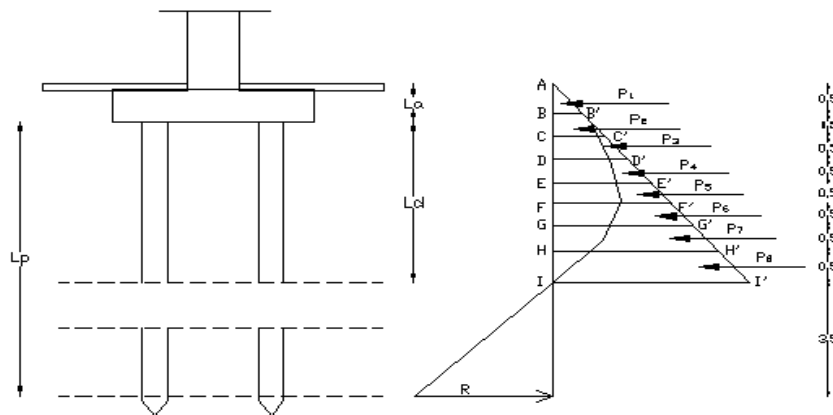
Perhitungan menurut *Foundation of Structure* oleh Dun Hanma, tiang akan terjepit sempurna pada kedalaman (L_d) = 1/4 s/d 1/3 L_p .

Dimana : L_d = kedalaman titik jepitan dari muka tanah

L_p = panjang tiang yang masuk tanah

B = lebar poer L_a = tinggi pile cap

1. Perhitungan Diagram Tekanan Tanah Pasif



Gambar 2.13 Diagram Tekanan Tanah Pasif

a. Tekanan Tanah Pasif

$$BB' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot 0,5 B \quad (2.86)$$

$$CC' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot 1 B \quad (2.87)$$

$$DD' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot 1,5 B \quad (2.88)$$

$$EE' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot (2B + 0,5.5 D) \quad (2.89)$$

$$FF' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot (2,5B + 0,5.5 D) \quad (2.90)$$

$$GG' = Kp_2 \cdot \gamma_2 \cdot (3B + 0,5.5 D) \quad (2.91)$$

$$HH' = Kp_2 \cdot \gamma_2 \cdot (3,5B + 0,5.5 D) \quad (2.92)$$

$$II' = Kp_2 \cdot \gamma_2 \cdot (4B + 0,5.5 D) \quad (2.93)$$

b. Gaya Lateral yang terjadi pada tiang pancang

$$P1 = \frac{1}{2} \cdot AB \cdot BB' \quad (2.94)$$

$$P2 = \frac{1}{2} \cdot BC \cdot (BB' + CC') \quad (2.95)$$

$$P3 = \frac{1}{2} \cdot CD \cdot (CC' + DD') \quad (2.96)$$

$$P4 = \frac{1}{2} \cdot DE \cdot (DD' + EE') \quad (2.97)$$

$$P5 = \frac{1}{2} \cdot EF \cdot (EE' + FF') \quad (2.98)$$

$$P6 = \frac{1}{2} \cdot FG \cdot (FF' + GG') \quad (2.99)$$

$$P7 = \frac{1}{2} \cdot GH \cdot (GG' + HH') \quad (2.100)$$

$$P8 = \frac{1}{2} \cdot HI \cdot HH' \quad (2.101)$$

$$P_{tot} = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7 + P8 \quad (2.102)$$

2. Gaya Lateral yang diijinkan

Ditinjau dari titik L, maka

$$P_{tot} \cdot L_z = P1 \cdot L1 + P2 \cdot L2 + P3 \cdot L3 + P4 \cdot L4 + P5 \cdot L5 + P6 \cdot L6 + P7 \cdot L7 + P8 \cdot L8 \quad \rightarrow \text{didapatkan } L_z$$

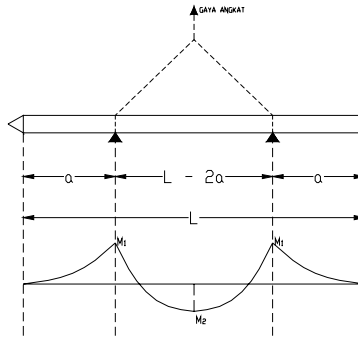
Gaya horizontal yang diijinkan (Hall)

$$\sum M_1 = 0 \rightarrow H_{ult} \cdot L_h - P_{tot} \cdot L_z = 0 \quad \rightarrow \text{didapatkan } H_{ult}$$

Tiang akan mampu menahan beban horizontal jika H yang terjadi lebih kecil dari H_{ult}, sehingga tidak diperlukan tiang pancang miring.

c. Penulangan Tiang Pancang
 · Akibat Pengangkatan

Kondisi I



Gambar 2.14 Pengangkatan Tiang Pancang dengan 2 Titik

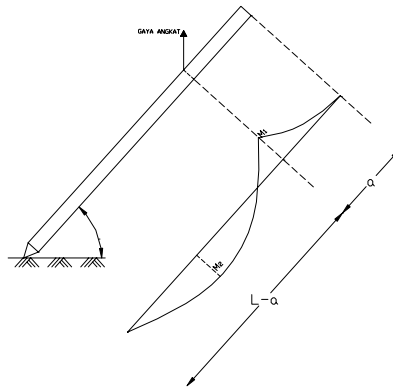
$$M_1 = \frac{1}{2} q \cdot a^2 \dots\dots\dots(2.103)$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot \left(q(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} q \cdot a^2 \right) \dots\dots\dots(2.104)$$

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

$$4a^2 + 4aL - L^2 = 0 \dots\dots\dots(2.105)$$

Kondisi II



Gambar 2.15 Pengangkatan Tiang Pancang dengan 1 Titik

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a \dots\dots\dots(2.106)$$

$$R_1 = \frac{1}{2} q(L - a) - \left(\frac{\frac{1}{2} L^2 - 2aL}{(L - a)} \right)^2 = \left(\frac{qL^2 - 2q \cdot a \cdot L}{2(L - a)} \right) \dots\dots\dots(2.107)$$

$$Mx = R_1 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2 \dots\dots\dots(2.108)$$

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

$$R_1 - qx = 0$$

$$x = \frac{R_1}{q} = \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \dots\dots\dots(2.109)$$

$$\begin{aligned} M \text{ max} &= M_2 = R \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right) - \frac{1}{2} q \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot q \frac{(L^2 - 2aL)^2}{2(L-a)} \dots\dots\dots(2.110) \end{aligned}$$

$$M_1 = M_2$$

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

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

$$2a^2 - 100a + 784 = 0 \dots\dots\dots(2.111)$$

Dari dua kondisi di atas dipilih kondisi dimana momen yang terjadi maksimum sebagai kondisi yang menentukan untuk menghitung tulangan.

2.3.7.4. Perencanaan Sloof

Pada bagian dasar dari kolom-kolom suatu struktur diperlukan adanya balok-balok penghubung yang berfungsi untuk menyeragamkan penurunan yang terjadi pada struktur maupun untuk mengantisipasi tarikan/tekanan yang terjadi pada kolom yang bergoyang. Balok tersebut dinamakan sebagai sloof.

- **Perhitungan beban pada sloof**

Beban yang bekerja pada sloof adalah daya dukung tanah yang dapat dihitung sebagai berikut :

$$q_{ult} = (c \cdot N_c (1 + 0,3B/L) + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (1 - 0,2B/L)) \quad (2.112)$$

Dimana :

$$P_{ult} = \text{ daya dukung ultimate tanah dasar (t/m}^2\text{)}$$

$$c = \text{ kohesi tanah}$$

$$\gamma = \text{ berat isi tanah dasar}$$

$$B=D = \text{ lebar pondasi}$$

Df = kedalaman pondasi

$N\gamma, Nq, Nc$ = faktor daya dukung *Terzaghi*

Ap = luas dasar pondasi

L = panjang sloof

sehingga

$$M \text{ tumpuan} = 1/12 \cdot q_{ult} \cdot L^2 \quad (2.113)$$

$$M \text{ lapangan} = 1/24 \cdot q_{ult} \cdot L^2 \quad (2.114)$$

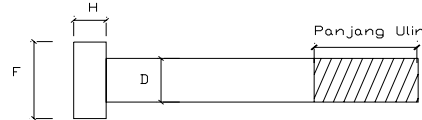
Setelah diketahui M lapangan dan M tumpuannya, maka dilakukan perhitungan tulangan pada daerah tumpuan dan lapangan.

2.3.8. Perhitungan Sambungan

Pada analisa *joint* ini dibatasi hanya memperhitungkan kekuatan *joint* terhadap gaya lintang dan momen, meskipun terdapat gaya aksial, hal ini disebabkan gaya aksial biasanya terlalu kecil sehingga dapat diabaikan.

2.3.8.1. Sambungan baut

➤ Jenis baut yang digunakan:



Gambar 2.16 Ukuran Baut Mutu Tinggi A325

Tabel 2.12 Ukuran Baut Mutu Tinggi A325

Ukuran Nominal (d) mm ²	Dimensi Kepala + Badan A325(inch)			Ukuran Mur A325 (Inch)		Kuat tarik A325(KN)
	F	H	Pjg Ulir	W	H	
12,7	7/8	5/16	1	1	7/8	53
16	17/16	25/64	5/4	17/16	39/64	85
19	5/4	15/32	11/8	5/4	47/64	125
22	23/16	35/64	3/2	23/16	55/64	173
25,4	13/8	39/64	7/4	13/8	63/64	227
29	29/16	11/16	2	29/16	1 7/64	249
32	2	25/32	2	2	1 7/32	316
35	35/16	27/32	9/4	35/16	1 11/32	378
38	11/8	15/16	9/4	11/8	1 15/32	458

- Kuat nominal satu buah baut tipe tumpu yang memikul kombinasi geser dan tarik berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 13.2.2.3 adalah :

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n A_b} \leq r_1 \phi_f f_u^b m \quad (2.115)$$

$$f_{dv} = 0,5 \times \phi_f \times f_u^b \times A_b \times m \quad (2.116)$$

$$f_t \leq f_1 - r_2 f_{uv} \leq f_2 \quad (2.117)$$

Dimana : $\phi_f = 0,75$: faktor reduksi kekuatan untuk kondisi fraktur

n = jumlah baut

m = jumlah bidang geser

Untuk baut mutu tinggi A325 :

$$f_1 = 807 \text{ MPa}, f_2 = 621 \text{ MPa}$$

$r_2 = 1,9$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

$r_2 = 1,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

- Kuat tumpu baut

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 13.2.2.4 untuk sambungan baut dengan jarak :

Lubang tepi dengan tepi pelat terdekat $> 1,5 d$

Jarak antar lubang baut $> 3 d$

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u$$

Dimana : $\phi_f = 0,75$: faktor reduksi kekuatan untuk kondisi fraktur

d_b = diameter baut pada daerah tak berulir

t_p = tebal pelat

f_u = tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat

- Jarak antar baut :

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 13.4 untuk sambungan harus mengikuti tata letak sebagai berikut :

$$1,5 d < \text{Lubang tepi dengan tepi pelat terdekat} < 4 t_p + 100 < 200 \text{ mm}$$

$$3 d < \text{Jarak antar lubang baut} < 15 t_p < 200 \text{ mm}$$

2.3.8.2. Sambungan las

1. Las sudut

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 13.5.3 ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki (t_w). Ukuran minimum las sudut ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.13 Ukuran minimum las sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, t_w (mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Sumber : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung
(SNI 03-1729-2002)

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh.

Panjang efektif las sudut minimum 4 kali ukuran las.

Kekuatan las sudut yang memikul gaya terfaktor persatuan panjang :

$$\phi_f R_n w = 0,75 t_l (0,6 x f_u w) \dots\dots\dots \text{ las} \quad (2.118)$$

$$\phi_f R_n w = 0,75 t_l (0,6 x f_u w) \dots\dots\dots \text{ bahan dasar} \quad (2.119)$$

Dimana : ϕ_f = 0,75 : faktor reduksi kekuatan untuk kondisi fraktur

$f_u w$ = tegangan tarik putus logam las, MPa

f_u = tegangan tarik putus bahan dasar, MPa

2. Las tumpul penetrasi penuh

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 pasal 13.5.2 ukuran las tumpul penetrasi penuh adalah jarak antara permukaan luar las (tidak termasuk perkuatannya) terhadap kedalaman penetrasinya yang terkecil. Untuk tebal las tumpul penetrasi penuh adalah ukuran las. Panjang efektif las tumpul penetrasi penuh adalah panjang las ukuran penuh yang menerus.

Kekuatan las tumpul penetrasi penuh yang memikul gaya terfaktor persatuan panjang :

a. Gaya tarik atau tekan aksial terhadap luas efektif :

$$\phi_y Rnw = 0,9 t_i f_y w \dots\dots\dots \text{ las} \quad (2.120)$$

$$\phi_y Rnw = 0,9 t_i f_y \dots\dots\dots \text{ bahan dasar} \quad (2.121)$$

b. Gaya geser terhadap luas efektif :

$$\phi_y Rnw = 0,9 t_i (0,6 x f_u w) \dots\dots\dots \text{ las} \quad (2.122)$$

$$\phi_y Rnw = 0,9 t_i (0,6 x f_y) \dots\dots\dots \text{ bahan dasar} \quad (2.123)$$

Dimana : $\phi_f = 0,75$: faktor reduksi kekuatan untuk kondisi fraktur

$f_u w$ = tegangan tarik putus logam las, MPa

f_u = tegangan tarik putus bahan dasar, MPa