

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

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

1. Kemampuan Layan (Serviceability)

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

2. Nilai Efisiensi Bangunan

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

3. Pemilihan Konstruksi dan Metode Pelaksanaan

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

4. Biaya (Cost)

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

2.2. Pedoman Perencanaan

Dalam perencanaan struktur gedung IKIP PGRI Semarang , pedoman yang digunakan sebagai acuan adalah :

- a. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SKSNI T – 15 – 1991 – 03).
- b. Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SNI 1727 – 1989 – F)
- c. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 1729 – 2002)
- d. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI – 1726 – 2002)
- e. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI 03 – xxxx – 2002)

2.3. Aspek-aspek Perencanaan

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

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

Adapun faktor yang menentukan dalam pemilihan jenis struktur sebagai berikut :

1. Aspek arsitektural

2. Aspek fungsional
3. Kekuatan dan kestabilan struktur
4. Faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan
5. Faktor kemampuan struktur mengakomodasi sistem layan gedung
6. Aspek lingkungan

Sedangkan pemilihan jenis pondasi (*sub structure*) yang digunakan didasarkan kepada beberapa pertimbangan, yaitu :

1. Keadaan tanah pondasi
2. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya
3. Batasan-batasan di lingkungan sekelilingnya
4. Waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan

2.3.1. Elemen-elemen Utama Struktur

Pada perencanaan struktur gedung ini digunakan balok dan kolom sebagai elemen-elemen utama struktur. Balok dan kolom merupakan struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal di atas elemen kaku vertikal. Balok memikul beban secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya kemudian meneruskannya ke tanah / pondasi.

2.3.2. Material / Bahan Struktur

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

1. Struktur Baja (*Steel Structure*)
2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)
3. Struktur Kayu (*Wooden Structure*)
4. Struktur Beton Bertulang (*Reinforced Concrete structure*)
5. Struktur Beton Pracetak (*Precast Concrete Structure*)
6. Struktur Beton Prategang (*Prestress Concrete Structure*)
7. Struktur Pasangan Bata (*Mansory Structure*)

Dari jenis-jenis material struktur yang tersedia, struktur perencanaan Gedung IKIP PGRI Semarang menggunakan material struktur :

1. **Struktur Baja (*Steel Structure*)**

Struktur baja sangat sesuai digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi (*highrise building*), karena material baja mempunyai kekuatan serta tingkat daktilitas yang tinggi dibandingkan dengan material-material struktur lainnya. Selain itu material baja mempunyai kekuatan tarik dan kekuatan tekan yang sama besar, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai elemen struktur yang memikul beban dinamik yang berarah bolak-balik. Di beberapa negara, struktur baja tidak banyak dipergunakan untuk struktur bangunan rendah dan menengah, karena ditinjau dari segi biaya penggunaan material baja dianggap tidak ekonomis maka, struktur baja hanya digunakan untuk konstruksi kuda-kuda.

2. **Struktur Beton Bertulang (*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. Struktur beton bertulang lebih murah dan lebih monolit dibandingkan dengan struktur baja maupun struktur komposit, maka struktur ini mempunyai perilaku yang baik di dalam memikul beban gempa. Agar beton bertulang bekerja sesuai dengan perencanaan perlu diperhatikan adanya detail penulangan yang baik.

2.4. Konsep Desain atau Perencanaan Struktur

Konsep tersebut merupakan dasar teori perencanaan dan perhitungan struktur, yang meliputi desain denah dan konfigurasi bangunan, pemilihan material, konsep pembebanan, faktor reduksi terhadap kekuatan bahan, konsep perencanaan struktur atas dan struktur bawah.

2.4.1. 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.

2.4.2. Pemilihan Material

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

- Bahan atap

Bahan yang digunakan untuk rangka atap yaitu baja profil 2L atau dobel siku dan untuk gording menggunakan profil C dobel.

- Bahan struktur beton bertulang

Beton : $f'_c = 30 \text{ Mpa}$ $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$

Baja :

- Tul. Utama : $f_y = 400 \text{ Mpa}$ $E_s = 210000 \text{ Mpa}$
- Tul. Geser : $f_y = 240 \text{ Mpa}$ $E_s = 210000 \text{ Mpa}$

2.5. Konsep Pembebanan

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

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

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan dapat berupa kombinasi dari beberapa beban yang terjadi secara bersamaan. Secara garis besar beban pada struktur dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu beban statik dan beban dinamik. Beban statik yaitu jika perubahan intensitas beban berjalan perlahan sehingga pengaruh waktu tidak dominan. Beban dinamik yaitu jika perubahan intensitas beban bervariasi secara cepat terhadap waktu. Untuk memastikan bahwa suatu struktur bangunan dapat bertahan selama umur rencananya, maka pada

proses perancangan dari struktur perlu ditinjau beberapa kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi.

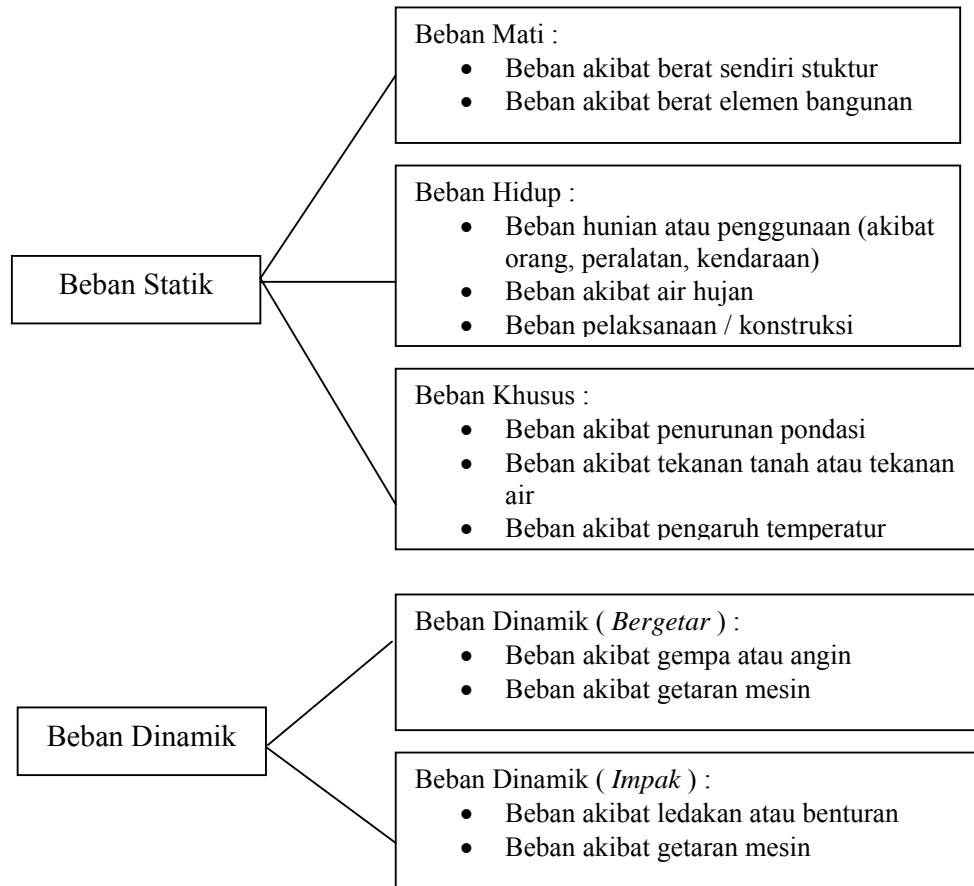
2.5.1. Jenis-jenis Beban

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

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

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

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



Gambar 2.1 Bagan pembagian beban

2.5.1.1. Beban - Beban Pada Struktur

1. Beban Statis

Jenis-jenis beban statis menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SNI 1727 – 1989 – F) adalah sebagai berikut:

- Beban Mati (*Dead Load*/DL)

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

Tabel 2.1. Beban mati pada struktur

Beban Mati	Besar Beban
Baja	7850 kg / m ³
Beton Bertulang	2400 kg / m ³
Dinding pasangan 1/2 Bata	250 kg / m ²
Atap genting, usuk, dan reng	50 kg / m ²
Kaca setebal 12 mm	30 kg / m ²
Langit-langit + penggantung	18 kg / m ²
Lantai ubin semen Portland	24 kg / m ²
Spesi per cm tebal	21 kg / m ²
Pertisi	130 kg / m ²

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

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan-lahan pada struktur. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban - beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati

Tabel 2.2. Beban hidup pada lantai bangunan

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

2. Beban Gempa (*Earthquake Load/E*)

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. 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. Besar beban gempa tersebut bergantung pada banyak faktor yaitu: massa struktur, kekakuan struktur, kondisi tanah dasar, wilayah kegempaan.

Perhitungan besarnya beban gempa dasar menurut Standart Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI – 1726 – 2002).

Kekuatan geser tanah rata-rata (S rata-rata)

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 niralir 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		

Dalam Tabel 2.3, \bar{v}_s , \bar{N} dan \bar{S}_u adalah nilai rata-rata berbobot besaran itu dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya yang harus dihitung menurut persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / v_{si}}$$

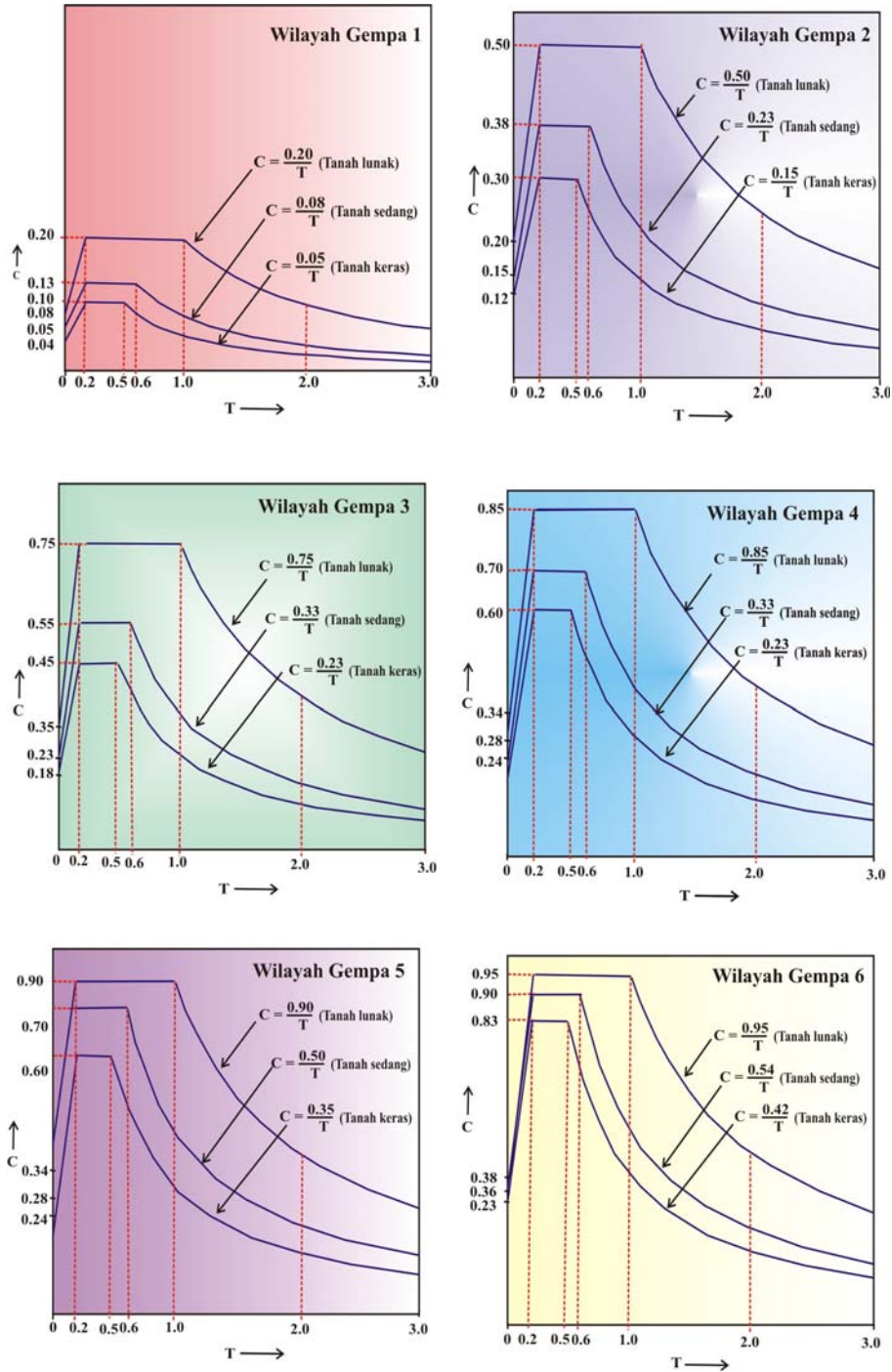
$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / N_i}$$

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / S_{ui}}$$

dimana t_i adalah tebal lapisan tanah ke-i, v_{si} adalah kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i, N_i adalah nilai hasil Test Penetrasi Standar lapisan tanah ke-i, S_{ui} adalah kuat geser niralir lapisan tanah ke-i dan m adalah jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar.

PI adalah Indeks Plastisitas tanah lempung, w_n adalah kadar air alami tanah, dan S_u adalah kuat geser niralir lapisan tanah yang ditinjau.

Grafik 2.1. Pembagian wilayah gempa dan respons spektrum gempa rencana.



Koefisien dasar gempa (C) dapat ditentukan dari diagram spektrum respon gempa rencana

Tabel 2.4. Faktor Keutamaan untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I ₁	I ₂	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Dari tabel diatas $I = I_1 \times I_2$

Dimana I₁ adalah faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung, sedangkan I₂ adalah faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut.

Tabel 2.5. Parameter daktilitas struktur gedung

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R
Elastis penuh	1,0	1,6
Daktil 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	
Daktil penuh	5,3	8,5

2.5.1.2. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Untuk keperluan desain, analisis dan sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap kemungkinan terjadinya kombinasi pembebanan (*Load Combination*) dan beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Terdapat dua 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 angin. Nilai-nilai beban tersebut di atas dikalikan dengan suatu faktor magnifikasi yang disebut faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

Faktor beban memberikan nilai kuat perlu bagi perencanaan pembebanan pada struktur. SKSNI T 15-1991-03 sub bab 3.2.2 halaman 13-14 menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

1. Kuat perlu U yang menahan beban mati D dan beban hidup L paling tidak harus sama dengan

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

2. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai U harus diambil sebagai

$$U = 1,05 (D + LR \pm E) \text{ atau } U = (0,9D \pm E)$$

Keterangan :

- D : Beban mati
- L : Beban hidup
- LR : Beban hidup yang telah direduksi

- E : Beban gempa

2.5.1.3. Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan tidak sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya. SKSNI T-15-1991-03 pada halaman 15 menetapkan berbagai nilai ϕ untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dari perhitungan struktur.

Tabel 2.6 Reduksi kekuatan

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi (ϕ)
Beban lentur tanpa gaya aksial	0,80
Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur	0,80
Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur <ul style="list-style-type: none"> • Dengan tulangan spiral • Dengan tulangan biasa 	0,70 0,65
Lintang dan Torsi	0,60
Tumpuan pada Beton	0,70

2.5.2. Distribusi dan Penyaluran Beban pada Struktur

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

2.6. Analisis Perencanaan Struktur

Struktur atas adalah struktur bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah, yang terdiri dari struktur atap dan struktur portal utama yaitu

kesatuan antara balok, kolom dan struktur sekunder seperti pelat, tangga, lift, balok anak.

2.6.1 Perencanaan Atap

Perencanaan atap yang digunakan yaitu atap baja dengan bentuk atap limas dengan bentang 20 m. Perencanaan struktur atap dibuat berdasarkan Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung (SNI 03-1729-2002)

Berdasarkan Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung, tegangan yang digunakan sebagai dasar perhitungan dalam perencanaan ini yakni dari jenis baja BJ 37:

- Tegangan leleh : $f_y = 240 \text{ MPa}$
- Tegangan putus : $f_u = 370 \text{ Mpa}$
- Modulus Elastisitas baja : $E = 210.000 \text{ MPa}$

Sedangkan pembebanan yang diberikan untuk perencanaan atap ini meliputi :

- Beban mati terdiri dari berat penutup atap, gording, dan berat sendiri konstruksi rangka.
- Beban hidup yang berupa beban pekerja di atas konstruksi maupun orang pemadam kebakaran.
- Beban angin

Untuk muatan angin, koefisien angin untuk sudut kemiringan atas (α) < 65° adalah :

- Angin masuk c : $+ 0.02 \alpha - 0.4$ (2.1)

- Angin keluar c : $- 0.4$ (2.2)

Langkah-langkah perencanaan gording :

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan panjang bentang dan dimensi profil yang akan digunakan.
2. Melakukan analisa pembebanan
3. Menghitung kombinasi momen yang terjadi akibat pembebanan (M_x dan M_y).
4. Melakukan pengecekan terhadap gaya angin hisap.

5. Melakukan pengecekan kekuatan

$$f = f_x + f_y \quad \rightarrow \quad f \leq f_y \dots\dots\dots (2.3)$$

$$f = \left(\frac{Mx}{\phi Wx} \right) + \left(\frac{My}{\phi Wy} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

6. Melakukan pengecekan kekakuan

$$\delta \leq \bar{\delta} \quad \rightarrow \quad \bar{\delta} = L/240 \quad (\text{SNI 03-1729-2002 tabel 6.4-1})$$

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\delta_x = \frac{5}{384} x \frac{qy.L^4}{E.Ix} + \frac{1}{48} x \frac{Py.L^3}{E.Ix} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\delta_y = \frac{5}{384} x \frac{qx.L^4}{E.Iy} + \frac{1}{48} x \frac{Px.L^3}{E.Iy} \dots\dots\dots (2.7)$$

7. Cek terhadap tegangan geser

$$V_u = V_y = V_y d + V_y l \dots\dots\dots (2.8)$$

Syarat – syarat kuat geser nominal (Vn)

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\phi = 0.9 \quad \rightarrow \quad (\text{SNI 03-1729-2002 tabel 6.4-2})$$

a. $\left(\frac{h}{t_w} \right) \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad \text{di mana : } k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2}$

maka : $V_n = 0.6 \times f_y \times A_w \dots\dots\dots (2.10)$

b. $1.10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w} \right) \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$

maka : $V_n = 0.6 \times f_y \times A_w \left[1.10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \right] \left(\frac{1}{\left(\frac{h}{t_w} \right)} \right) \dots\dots\dots (2.11)$

atau

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1.15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2}} \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

di mana : $C_v = 1.10 \frac{\sqrt{k_n E / f_y}}{h / t_w}$

c. $1.37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w} \right)$

maka : $V_n = \frac{0.9 \times A_w k_n E}{\left(\frac{h}{t_w} \right)} \dots\dots\dots (2.13)$

atau

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1.15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2}} \right] \dots\dots\dots (2.14)$$

di mana : $C_v = 1.5 \frac{k_n E}{f_y} \times \frac{1}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2}$

Langkah-langkah perencanaan rangka atap :

- o Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan panjang bentang dan dimensi profil yang akan digunakan.
- o Melakukan analisa pembebanan

Pembebanan yang ditimpakan pada struktur atap sama persis dengan beban yang diterima pada saat perencanaan gording, hanya ada penambahan pada berat sendiri konstruksi rangka atap.

Sedangkan kombinasi beban yang diberikan pada analisa struktur atap ini adalah :

Kombinasi 1 : 1.4 DL

Kombinasi 2 : 1.2 DL + 1.6 LL

Kombinasi 3 : 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 WL (angin kiri)

Kombinasi 4 : 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 WL (angin kanan)

Kombinasi 5 : 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 WL (angin depan)

Kombinasi 6 : 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 WL (angin belakang)

Kombinasi 7: Envelope (Komb. 1 + Komb. 2 + Komb. 3 + Komb. 4 +
Komb. 5 + Komb. 6)

Di mana :

DL : Dead Load

LL : Live Load

WL : Wind Load

- o Melakukan pengecekan kekakuan

$$\delta \leq \bar{\delta} \rightarrow \bar{\delta} = L/360 \quad (\text{SNI 03-1729-2002 tabel 6.4-1})$$

$$\delta = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

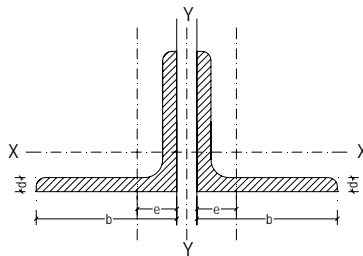
di mana :

U1 : Lendutan arah sumbu X

U2 : Lendutan arah sumbu Y

U3 : Lendutan arah sumbu Z

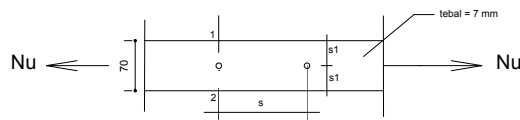
- o Melakukan pengecekan kekuatan pada profil majemuk



Gambar 2.2 Penampang profil siku ganda

$$A_g = 2 \times A \rightarrow A = \text{luas penampang batang tunggal}$$

Cek terhadap batang Tarik :



Gambar 2.3 Batang yang mengalami gaya tarik

Syarat penempatan baut menurut SK SNI 03 – 1729 – 2002 halaman 104 :

$$s_1 \geq 1,5d_b$$

$$s_1 \leq 12t_p$$

$$s_1 \leq 150 \text{ mm}$$

$$s \geq 3d_b$$

$$s \leq 15t_p$$

$$s \leq 200 \text{ mm}$$

Kuat tarik rencana menurut SK SNI 03 – 1729 – 2002 halaman 70 :

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$\phi N_n = 0,9 \times A_g f_y \quad \dots \dots \dots (2.16)$$

$$\phi N_n = 0,75 \times A_e f_u$$

$$A_e = A \times U \quad \rightarrow \quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0,9$$

$$\bar{x} = \frac{b}{2} - e$$

$$A = A_{nt} \quad \rightarrow \quad \text{Pot. 1 - 2} \quad \rightarrow \quad A_{nt} = A_g - n \times d \times t$$

Cek terhadap batang Tekan :

$$N_u \leq \phi N_n \quad \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\phi N_n = \phi \times A_g \times \frac{f_y}{\omega} \quad \dots \dots \dots (2.18)$$

di mana :

$$a. \omega = 1 \quad \rightarrow \quad \lambda_c \leq 0,25 \quad \dots \dots \dots (2.19)$$

$$b. \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad \rightarrow \quad 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \dots \dots \dots (2.20)$$

$$c. \omega = 1,25\lambda_c^2 \quad \rightarrow \quad \lambda_c \geq 1,2 \quad \dots \dots \dots (2.21)$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Kestabilan batang majemuk :

$$\lambda_{iy} < \lambda_x \quad \rightarrow \quad \text{tekuk terjadi pada sumbu X}$$

$\lambda_{iy} < \lambda_y$ → tekuk terjadi pada sumbu Y

Syarat kestabilan struktur :

$$\lambda_x \geq 1,2\lambda_1$$

$$\lambda_{iy} \geq 1,2\lambda_1 \quad (\text{SNI 03-1729-2002 pers. 9.3-7})$$

$$\lambda_1 \leq 50$$

$$\lambda_1 = \frac{kL_i}{i_{\min}} \quad L_i = \text{jarak kopel}$$

Estimasi jarak kopel:

$$\frac{kL_i}{i_{\min}} = 0,75 \frac{kL_k}{i_x} \Rightarrow \frac{L_i}{i_{\min}} = 0,75 \frac{L_k}{i_x} \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

di mana :

$$L_i = \frac{L_k}{\text{jumlah batang}} \rightarrow \text{jumlah batang harus berjumlah ganjil dan minimal 3 buah}$$

k = faktor tekuk → (SNI 03-1729-2002 gambar 7.6-1)

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \rightarrow \lambda_y = \frac{kL_y}{i_y}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \rightarrow I_y = 2 (I_{y1} + A_1 (e_x + \frac{1}{2} d)^2)$$

$$A_g = 2 \times A_1$$

$$\lambda_x = \frac{kL_x}{i_x}$$

Kontrol tekuk lokal :

$$\lambda_f \leq \lambda_r \quad \text{SNI 03-1729-2002 tabel 7.5-1}$$

pada profil siku ganda dengan pelat kopel sebagai penyokong :

$$\lambda_f = \frac{b}{t} \text{ dan } \lambda_r = \frac{200}{\sqrt{f_y}}$$

di mana :

m = jumlah batang yang disatukan

b = lebar profil siku

t = tebal profil siku

5) Merencanakan pelat kopel pada profil ganda

$$\text{Syarat} = \frac{I_p}{a} \geq 10 \frac{I_i}{L_i} \quad (\text{SNI 03-1729-2002 pers. 9.3-5})$$

di mana:

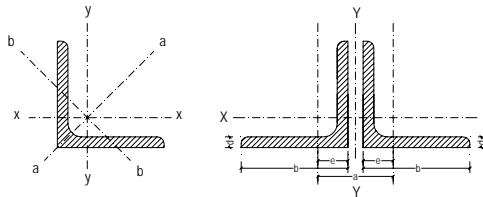
I_p = Momen kelembaman pelat kopel.

a = jarak sumbu elemen batang tersusun.

I_i = Momen kelembaman elemen batang tunggal terhadap sumbu b-b

L_i = Jarak pelat kopel

a = $2 \cdot e$ + pelat pengisi



Gambar 2.4 Dimensi penampang profil siku

$$V_u \leq \phi V_n \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Gaya lintang yang dipikul (D)

$$D = V_u = 2 \% * N_u \quad (\text{SNI 03-1972-2002 pers. 9.3-8})$$

N_u = gaya batang yang terjadi

V_n = gaya geser nominal sama seperti persamaan sebelumnya

6) Perhitungan sambungan baut pada buhul

$$R_u \leq \phi R_n \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

a. Kekuatan baut terhadap geser (SNI 03-1729-2002, pasal 13.2.2.1)

$$V_d = \phi_f r_1 f_u^b A_b \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

ϕ_f = 0,75, faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

r_1 = 0,50, untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

r_1 = 0,40, untuk baut dengan ulir pada bidang geser

f_u^b = tegangan tarik putus baut

A_b = luas penampang bruto baut pada daerah yang tak berulir

- b. Kekuatan baut yang memikul tarik (SNI 03-1729-2002, pasal 13.2.2.2)

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f \times 0,75 f_u^b A_b \dots\dots\dots (2.26)$$

- c. Kuat tumpu dalam lubang baut (SNI 03-1729-2002, pasal 13.2.2.4)

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \times \phi_f d_b t_p f_u \dots\dots\dots (2.27)$$

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

d_b = diameter baut nominal pada daerah tak berulir = 16 mm

t_p = tebal pelat = 7 mm

f_u^p = tegangan tarik putus pelat

f_u^b = tegangan tarik putus dari baut

f_u = tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat

Dari ketiga nilai di atas diambil nilai yang terendah sebagai bahan perencanaan pendimensian sambungan. Dan jika tebal pelat pengisi (t) $\Rightarrow 6 \text{ mm} < t < 20 \text{ mm}$, maka kuat geser nominal satu baut yang ditetapkan harus dikurangi 15 %-nya. (SNI 03-1729-2002, pasal 13.2.2.5)

Sehingga :

$$R_u \leq 0,85 \times \phi R_n \dots\dots\dots (2.28)$$

dan jumlah baut dapat dihitung : $n = \frac{Nu}{0,85 \times \phi R_n}$

7) Perhitungan angkur

Pendimensian angkur didasarkan terhadap reaksi horizontal yang terjadi pada tumpuan tersebut, di mana :

$$R_{AH} = \sqrt{R_{AHX}^2 + R_{AHY}^2} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$\text{Jumlah angkur (n)} = \frac{R_{AH}}{\phi V_n}$$

$$V_n = 0,6 f_y A_w \rightarrow \text{(SNI 03-1729-2002 pasal 8.8.3)}$$

8) Perhitungan pelat andas

Pendimensionian angkur didasarkan terhadap reaksi vertikal yang terjadi pada tumpuan tersebut. Dan dasar perencanaannya diambil dari dimensi pelat andas (panjang dan lebar), akibat kebutuhan ruang penempatan angkur.

Sehingga :

$$f = \frac{P}{A} \leq f'_c \quad \text{di mana :}$$

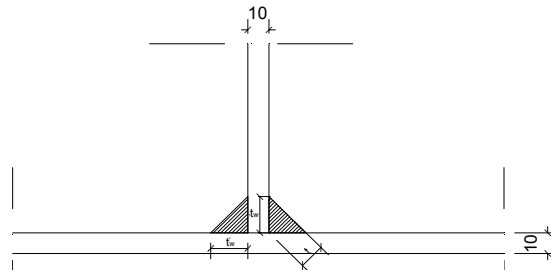
P = Reaksi vertikal yang terjadi

A = Luas permukaan bidang pelat andas (panjang x lebar)

f'_c = mutu beton konstruksi di bawah pelat andas

9) Perhitungan Las pada pelat andas

Syarat ukuran las sudut:



Gambar 2.5 Ukuran las pelat andas

Tabel 2.7 Ukuran minimum las sudut

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

(SNI 03-1729-2002 tabel 13.5-1 hal 108)

Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi komponen yang disambung:

a. $t_p < 6,4 \text{ mm}$ → $t_{maks} = t_p$

b. $t_p \geq 6,4 \text{ mm}$ → $t_{maks} = t_p - 1,6 \text{ mm}$

Kuat las sudut :

$$R_u \leq \phi R_{nw} \dots\dots\dots (2.31)$$

dengan :

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_t (0,6 f_u) \text{ (bahan dasar)} \quad (\text{SNI 03-1729-2002 pers. 13.5-3b})$$

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_t (0,6 f_{uw}) \text{ (bahan las)}$$

di mana :

$\phi_f R_{nw}$ = gaya terfaktor per satuan panjang las

ϕ_f = 0,75, faktor reduksi kekuatan saat fraktur

f_u = tegangan tarik putus bahan dasar, MPa

f_{uw} = tegangan tarik putus bahan las, MPa

t_t = tebal rencana las, mm

$$\text{Panjang las} = L_n = \frac{R_u}{\phi_f R_{nw}} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$L_n \geq 4 t_t$$

$$L_{\text{bruto}} = L_n + 3 t_t$$

2.6.2 Perencanaan Pelat Beton

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.

(Sumber : STRUKTUR, Daniel L. Schodek: hal 338)

Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat menjadi suatu pelat yang melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat

balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan apabila panjang pelat tidak sama dengan lebarnya, maka balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar dari pada balok yang pendek.

Langkah perencanaan penulangan pelat adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan syarat - syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal pelat. Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 maka tebal ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

$$h \geq \frac{\ln\left(0,8 \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$h \leq \frac{\ln\left(0,8 \frac{f_y}{1500}\right)}{36}$$

Dimana:

$$\beta = L_y / L_x$$

L_n = panjang bersih pelat

3. Memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada pelat lantai.
4. Tentukan L_y/L_x
5. Tentukan momen yang menentukan (M_u)
 - M_{lx} (momen lapangan arah-X)
 - M_{tx} (momen tumpuan arah-X)
 - M_{ly} (momen lapangan arah-Y)
 - M_{ty} (momen tumpuan arah-Y)
6. Hitung penulangan arah-X dan arah-Y

Data – data yang diperlukan :

- Tebal pelat (h)
- Tebal selimut beton
- Momen (M_u)
- Tinggi efektif (dx dan dy)

$$-\left(\frac{Mu}{bxd^2}\right) = \rho \cdot \phi \cdot fy \cdot \left(1 - 0,588 \cdot \rho \cdot \frac{fy}{f'c}\right) \dots\dots\dots(2.34)$$

Dari persamaan di atas , maka dengan menggunakan rumus abc nilai ρ dapat diketahui.

- Pemeriksaan rasio penulangan ($\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$)

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \dots\dots (\text{SK - SNI T - 15 - 1991 - 03, Bab 3.3.5 butir 1})$$

$$\rho_{max} = \frac{\beta x 450}{600 + fy} \times \frac{0,85 x f'c}{fy} \dots\dots\dots(2.35)$$

Nilai ρ_{min} dan ρ_{max} juga dapat dicari dari tabel CUR 1, hal 50 dan 52.

$$- As = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(2.36)$$

Pengecekan momen nominal penampang

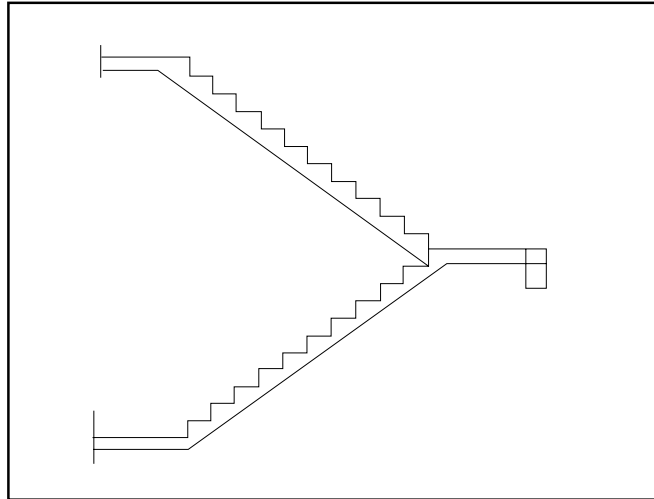
$$\rho_{aktual} = \frac{As}{b \cdot h} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$\text{Lengan momen dalam } a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) , Mn \text{ aktual} > Mn \text{ perlu} \dots\dots\dots (2.39)$$

2.6.3 Perencanaan Tangga

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



Gambar 2.18 Tangga tampak samping

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

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

Perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur tangga seluruhnya dilakukan dengan menggunakan program *SAP 2000*. Untuk perhitungan penulangan pelat tangga dapat mengikuti prosedur yang sama dengan penulangan pelat lantai setelah didapat gaya - gaya dalam yang ada dalam output *SAP 2000*.

2.6.4 Perencanaan Lift

- Kapasitas dan Jumlah Lift

Kapasitas dan jumlah lift disesuaikan dengan perkiraan jumlah pemakai lift. Jumlah lift direncanakan 2 buah dengan kapasitas beban satu liftnya 1000 kg. Lift dengan kapasitas ini dengan jumlah 2 (dua) buah diambil dengan pertimbangan bahwa jumlah tersebut sudah mampu memenuhi kapasitas yang dibutuhkan.

- Perencanaan Konstruksi

- a. Mekanikal

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

b. Konstruksi Ruang dan Tempat Lift

Lift terdiri dari 3 komponen utama yaitu :

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

Ruang dan landasan lift direncanakan berdasarkan kriteria sebagai berikut:

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

2.6.5 Perencanaan Struktur

Perencanaan struktur yang dimaksud meliputi perencanaan balok maupun perencanaan kolom .

Perhitungan momen yang bekerja baik pada balok maupun kolom menggunakan bantuan program *SAP 2000* dengan memasukan input:

1. Karakteristik bahan
 - a. Karakteristik material
 - Berat jenis beton
 - Modulus elastisitas beton
 - f'_c

- f_y
- b. Dimensi rencana elemen struktur
 - Balok
 - Kolom
 - tumpuan
- 2. Beban-beban yang diderita oleh elemen struktur
 - a. Beban-beban sendiri elemen struktur
Langsung masuk input *SAP 2000*
 - b. Beban-beban mati
 - ▲ Beban area pada pelat
 - Beban penutup lantai
 - Beban spesi
 - Beban plafond
 - ▲ Beban merata
 - Dinding
 - ▲ Beban Terpusat
 - Beban atap
 - Balok anak
 - Beban lift
 - c. Beban hidup

Dari perhitungan di atas didapatkan momen – momen atau gaya – gaya yang bekerja pada kolom maupun balok yang dapat digunakan untuk perhitungan penulangan.

2.6.5.1 Perencanaan balok

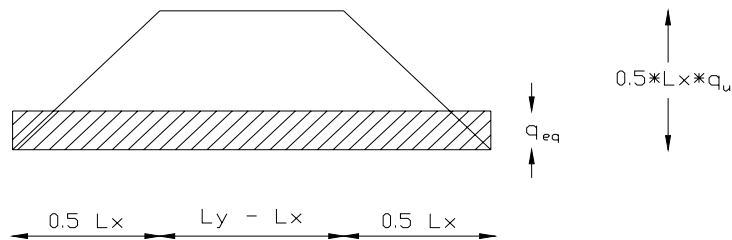
Dalam pradesain tinggi balok menurut SKSNI T-15 1991-03 merupakan fungsi dan bentang dan mutu baja yang digunakan. Secara umum pradesain tinggi balok direncanakan $L/10 - L/15$, dan lebar balok diambil $1/2H - 2/3H$ dimana H adalah tinggi balok (*CUR 1 hal.104*).

Pada perencanaan struktur ini beban pelat diberikan apa adanya sebagai beban pelat dan tidak dilakukan konversi ke dalam model amplop. Namun

untuk mempermudah perencanaan balok anak maka pelat dihitung sebagai beban di mana 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 plat pada perhitungan balok anak

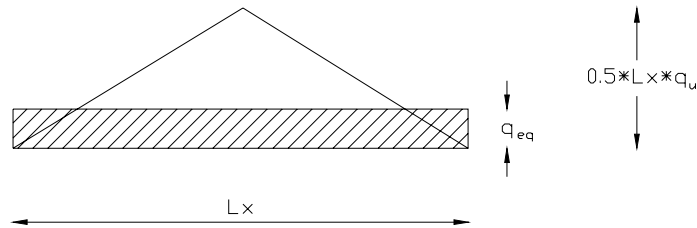
- Perataan Beban Trapesium



Gambar 2.6 Perataan beban trapesium

$$\begin{aligned}
 R_A = R_B &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} (l_y + l_x - l_x) \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x \\
 &= q \cdot l_x \cdot (2l_y - l_x) / 8 \\
 M_{\max \text{ trapezium}} &= R_a \cdot \frac{1}{2} l_y - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} l_x \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x (\frac{1}{2} l_y^2 - \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} l_x) - \frac{1}{2} (l_y - l_x) \\
 &= \frac{1}{16} q \cdot l_x (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2) \\
 M_{\max \text{ beban merata}} &= \frac{1}{8} q_{ek} \cdot l_y^2 \\
 M_{\max \text{ trapezium}} &= M_{\max \text{ segi empat}} \\
 \frac{1}{8} q_{ek} \cdot l_y^2 &= \frac{1}{16} q \cdot l_x (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2) \\
 q_{ek} &= \frac{1}{2} q \cdot (l_x/l_y^2) (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2) \dots\dots\dots (2.40)
 \end{aligned}$$

- Perataan beban segitiga



Gambar 2.7 Perataan baban segitiga

$$\begin{aligned}
 R_A = R_B &= \frac{1}{2} l_x \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8} q \cdot l_x^2 \\
 M_{\max \text{ segi tiga}} &= M_A \text{ max} = \frac{q \cdot l_x^3}{24} \\
 M_{\max \text{ beban merata}} &= \frac{1}{8} q_{ek} \cdot l_x^2 \\
 M_{\max \text{ segitiga}} &= M_{\max \text{ segi empat}} \\
 \frac{1}{8} q_{ek} \cdot l_x^2 &= \frac{q \cdot l_x^3}{24} \\
 \mathbf{q_{ek}} &= \frac{1}{3} \mathbf{q \cdot l_x} \dots\dots\dots (2.41)
 \end{aligned}$$

Perencanaan penulangan balok

Perhitungan penulangan balok menurut buku buku CUR, sebagai berikut :

Mu didapat dari hasil analisa struktur

$$- \left(\frac{Mu}{bxd^2} \right) = \rho \cdot \phi \cdot f_y \cdot \left(1 - 0,588 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f'c} \right) \dots\dots\dots(2.42)$$

Dari persamaan di atas , maka dengan menggunakan rumus abc nilai p dapat diketahui.

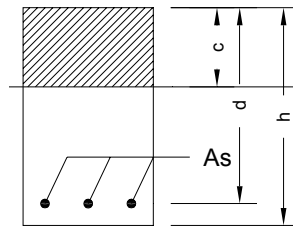
- Pemeriksaan rasio penulangan ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots (\text{SK - SNI T - 15 - 1991 - 03, Bab 3.3.5 butir 1})$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta x 450}{600 + f_y} \cdot \frac{0,85 x f'c}{f_y} \dots\dots\dots(2.43)$$

Nilai ρ_{\min} dan ρ_{\max} juga dapat dicari dari tabel CUR 1, hal 50 dan 52.

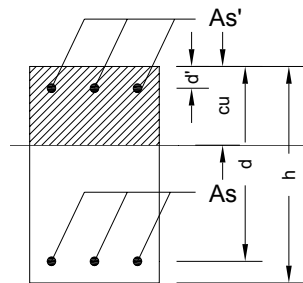
Jika $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$, maka pendimensian tulangan dilakukan sebagai tulangan tunggal :



Gambar 2.8 Balok dengan Tulangan Tunggal

- $A_s = \rho \times b \times d$ (2.44)

Namun dalam kenyataannya, walaupun kita mendesain penampang sebagai tulangan tunggal, pada akhirnya akan dipasang sebagai tulangan ganda. Sehingga bagaimanapun juga untuk efisiensi besi tulangan, walaupun desainnya hanya diperlukan tulangan tunggal, dalam analisa penulangannya dilakukan dengan tulangan ganda.



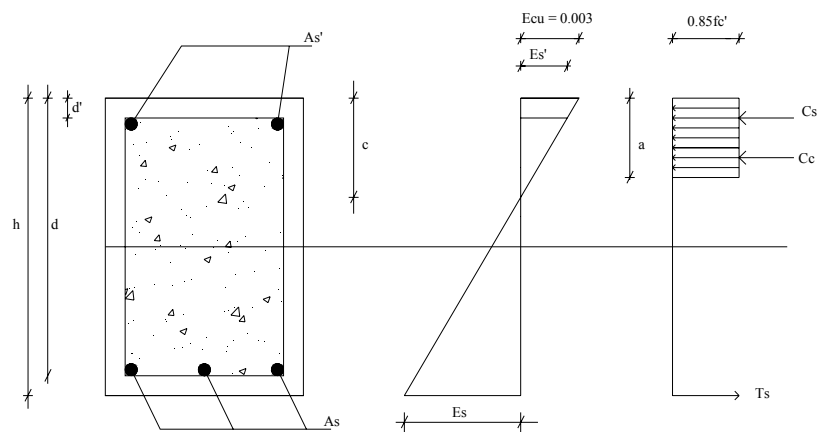
Gambar 2.9 Balok dengan Tulangan Ganda

$$A'_s = \frac{M_u - M_{ul}}{\phi f_y (d - d')}$$

$$M_{ul} = A_s \cdot \phi \cdot f_y \cdot Z$$

$$Z = (d - 0,405 C)$$

$$\frac{c}{d} = 1,384 \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c}$$



Gambar 2.10 Diagram regangan dan tegangan penampang beton bertulang

Dan untuk cek kapasitas penampang pada tulangan tekan digunakan persamaan sebagai berikut :

Persamaan keseimbangan :

$$\epsilon_s = (d - c) \frac{0.003}{c} \rightarrow f1(c)$$

$$\epsilon_{s'} = (c - d') \frac{0.003}{c} \rightarrow f2(c)$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$C_c = 0.85 \times f'_c \times a \times b$$

$$C_s = \epsilon_s' \times E_s \times A_s'$$

$$T = \epsilon_s \times A_s \times E_s$$

$$T = C_c + C_s$$

$$\Sigma H = 0$$

- Kesetimbangan momen :

$$M_n = C_c \times z + C_s \times z_1$$

$$M_u = M_n \times \phi$$

Perencanaan tulangan geser

Perhitungan tulangan geser menurut buku buku CUR, sebagai berikut :

V_u didapat dari hasil perhitungan

$$v_u = \frac{V_u}{b.d} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$\phi.v_c = 0,6 \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.46)$$

Pengecekan = $v_u > \phi.v_c$, maka harus diberi tulangan geser.

$$\frac{V_u d}{M_u} = \text{nilai kelangsingan struktur} < 1 \quad (\text{CUR 1, hal : 124}) \quad \dots\dots(2.47)$$

$$\phi.v_s = (v_u - \phi.v_c) < \phi.v_{s \max} \quad (\text{CUR 1, hal : 125}) \quad \dots\dots(2.48)$$

Dari tabel CUR seri 4, A_s sengkang didapat tergantung pemakaian mutu baja sengkang (f_y').

$$\text{Jarak tulangan sengkang maksimum, } S_{\max} = \frac{d}{2} \quad \dots\dots\dots(2.49)$$

Tulangan sengkang juga dapat dicari :

V_u dan M_u didapat dari hasil perhitungan

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.50)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b.o.d \dots\dots\dots (2.51)$$

Bila nilai $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$ diperlukan pemasangan sengkang

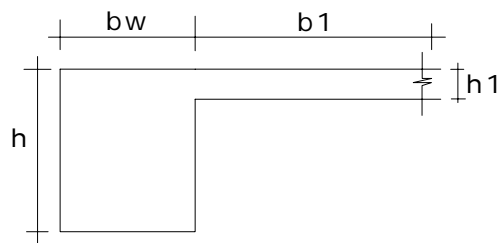
$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \dots\dots\dots(2.52)$$

Diameter sengkang yang direncanakan A_v .

$$s = \frac{A_v, fy, d}{V_s} \dots\dots\dots(2.53)$$

$$S_{max} = \frac{d}{2}$$

Perencanaan tulangan torsi



Gambar 2.11 Penampang balok L

Untuk balok yang berbentuk L ditetapkan $b = b_w + b_1$, dengan b_1 adalah harga terkecil dari :

$$b_1 = \frac{1}{12} l ;$$

$$b_1 = 6 h ;$$

$$b_1 = \frac{1}{2} L$$

$$\sum x^2 y = b_w^2 h + b_1^2 h_1$$

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

$$x_1 = b_w - 2(p + \frac{1}{2} \phi_{tul.sengkang})$$

$$y_1 = h - 2(p + \frac{1}{2} \phi_{tul.sengkang})$$

$$\alpha_t = \frac{1}{3} (2 + y_1 / x_1)$$

Merencanakan tulangan sengkang :

▪ **Sengkang tumpuan :**

$$V_c = \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b \cdot d}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,5 \cdot C_t \cdot T_u}{V_u} \right)^2}}$$

$$V_s = V_n - V_c$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d}$$

$$T_c = \frac{\left[\frac{\sqrt{f'_c}}{15} \right] \sum x^2 y}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}}$$

$$T_s = T_n - T_c$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{\alpha_t x_1 y_1 f_y}$$

Sengkang gabungan antara torsi dengan geser :

$$\frac{A_v}{s} = \frac{2A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

$$s = \frac{A_{s_{terpasang}}}{(A_v/s)}$$

$$s_{\max} = \frac{1}{4}(x_1 + y_1)$$

▪ **Tulangan torsi memanjang**

Untuk tujuan praktis, maka nilai T_c dan V_c konstan di sepanjang balok.

$$T_s = T_n - T_c$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_c = \frac{\left[\frac{\sqrt{f'_c}}{15} \right] \sum x^2 y}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{0,4 V_u}{C_t T_u} \right)^2 \right]}}$$

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

2.6.5.2 Perencanaan Struktur Kolom

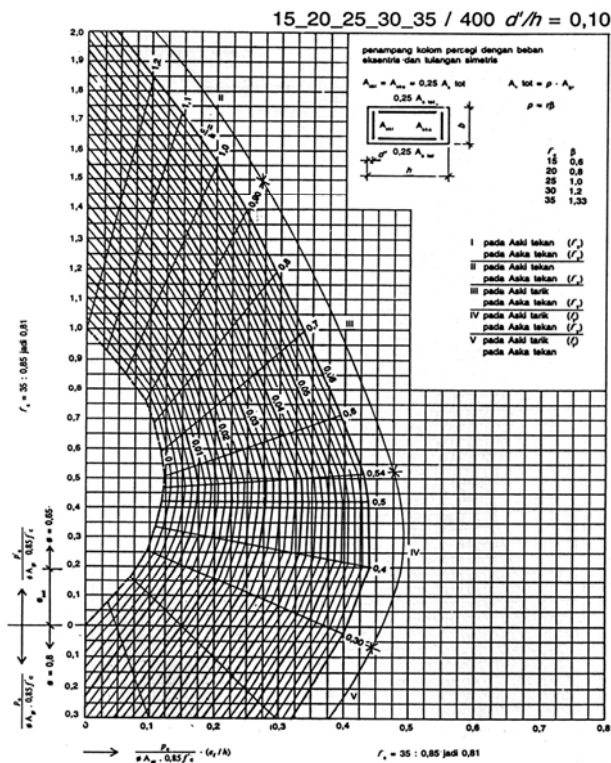
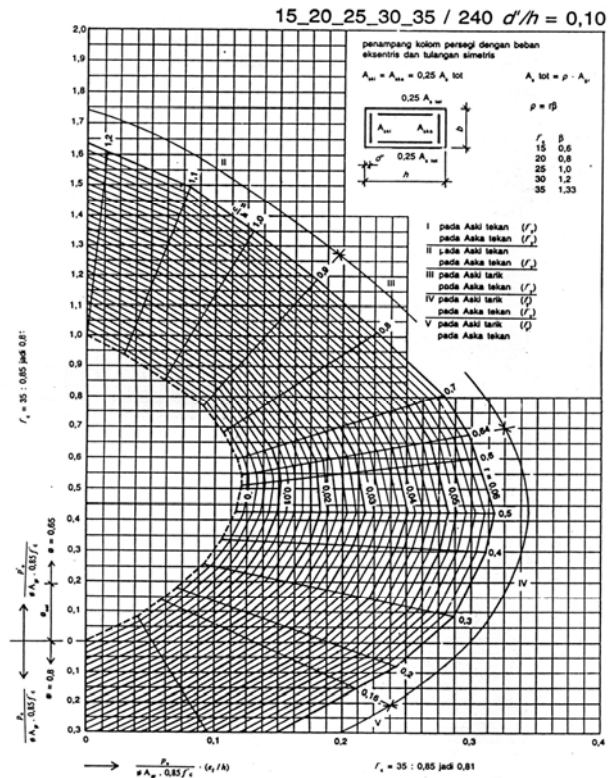
Perhitungan tulangan kolom menurut buku CUR Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang, berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 , sebagai berikut :

Untuk mutu beton f'_c = 15, 20, 25, 30 dan 35 Mpa

Mutu baja = 240 dan 400 Mpa

Mencari harga $\frac{d'}{h}$ = 0,10; 0,15 dan 0,12

Contoh grafik penulangannya sebagai berikut :



Gambar 2.12 Grafik penulangan kolom

- Sumbu vertikal dengan nilai = $\frac{Pu}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot F'_c}$ (2.54)

- Sumbu horisontal dengan nilai = $\frac{Pu}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot F'_c} \cdot \left(\frac{e_1}{h}\right)$ (2.55)

Dimana e_1 merupakan harga eksentrisitas = $\left(\frac{Mu}{P}\right)$ (2.56)

Besaran pada kedua sumbu dapat dipetakan dalam bentuk grafik-grafik untuk mencari r sesuai dengan besaran perbandingan antara d'/h dan mutu bajanya.

$A_{s\ tot} = \beta \cdot r$; dimana β tergantung pada mutu beton(2.57)

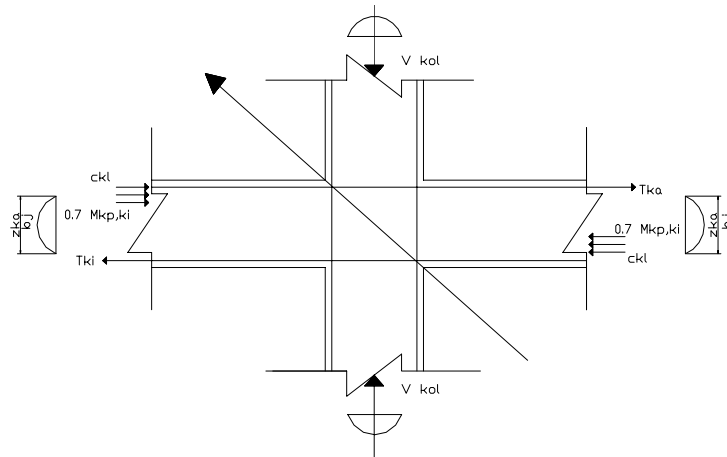
Tabel 2.8 Nilai β

f'_c	β
15	0,6
20	0,8
25	1,0
30	1,2
35	1,33

Dan, $A_s = \rho A_{gr}$

2.6.5.3 Perencanaan Pertemuan Balok dan Kolom

Perhitungan pertemuan balok kolom dilakukan menurut buku CUR Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang, berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 , sebagai berikut.



Gambar 2.13 Pertemuan balok dan kolom

1. Perhitungan gaya dalam

$$V_{\text{kolom}} = \frac{0.7 * \left(\frac{L_{ki}}{L_{ki'}} * M_{\text{kap, bki}} + \frac{L_{ka}}{L_{ka'}} * M_{\text{kap, bka}} \right)}{\frac{1}{2} (h_{ka} + h_{kb})}$$

dengan :

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

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

h_{ka} dan h_{kb} = bentang as ke as kolom atas dan bawah joint

$M_{\text{kap, bki}}$ dan $M_{\text{kap, bka}}$ = Momen kapasitas balok di sebelah kiri dan kanan joint

V_{kolom} = Gaya aksial yang diterima kolom akibat pengaruh dari momen di tumpuan balok

$$C_{ki} = T_{ki} = 0,7 \left(\frac{M_{\text{kap,ki}}}{Z_{ki}} \right)$$

$$T_{ka} = C_{ka} = 0,7 \left(\frac{M_{\text{kap,ka}}}{Z_{ka}} \right)$$

$$V_{j,h} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol}$$

$$V_{j,v} = \left(\frac{d}{h_c} \right) V_{j,h}$$

2. Kontrol tegangan geser horizontal minimal

$$V_{j,h} = \frac{V_{j,h}}{(b_j \cdot h_c)} \leq 1.5 f_c'$$

di mana :

b_j = lebar efektif joint, mm

h_c = tinggi total penampang kolom dalam arah geser yang ditinjau, mm

3. Penulangan geser horizontal

$$V_{c,h} = 2/3 \sqrt{[(N_{u,k}/A_g) - 0.1f'_c]} \cdot bh$$

$$V_{j,h} = V_{c,h} + V_{s,h}$$

$$A_{j,h} = \frac{V_{s,h}}{f_y}$$

di mana himpunan sengkang horizontal ini harus didistribusikan secara merata di antara tulangan balok longitudinal atas dan bawah.

4. Penulangan geser vertikal

$$V_{c,v} = A_s' c \frac{V_{j,h}}{A_{s,c}} \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f'_c} \right)$$

di mana :

$A_s' c$ dan $A_{s,c}$ adalah luas tulangan longitudinal tarik dan tekan kolom.

$$V_{s,v} = V_{j,v} - V_{c,v}$$

$$A_{j,v} = \frac{V_{s,v}}{f_y}$$

Tulangan geser vertical ini harus terdiri dari tulangan kolom antara yang terletak pada bidang lentur antara ujung tulangan sisi luar; atau terdiri dari sengkang pengikat vertical atau tulangan vertical khusus yang diletakkan dalam kolom dan dijangkarkan secukupnya untuk meneruskan gaya tarik yang disyaratkan ke dalam joint.

2.6.6 Perencanaan Struktur Bawah (Pondasi)

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

- a. Keadaan tanah, seperti parameter tanah, daya dukung tanah, dll.
- b. Jenis struktur atas (fungsi bangunan).
- c. Anggaran biaya yang dibutuhkan.
- d. Waktu pelaksanaan yang direncanakan.

- e. Keadaan lingkungan sekitar.

2.6.4.1 Parameter Tanah

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

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

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

Hasil penyelidikan tanah di lokasi dimana bangunan ini akan didirikan, yakni di Jalan Sidodadi Semarang dapat dilihat secara lengkap pada lampiran Laporan Pekerjaan Penyelidikan Tanah yang terletak pada bagian akhir tugas akhir ini.

2.6.4.2 Analisa Daya Dukung Tanah

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

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

(Sumber : Diktat Kuliah, Rekayasa Pondasi II: hal 10)

2.6.4.3 Pemilihan Tipe Pondasi

Berdasarkan data-data hasil penyelidikan tanah dilokasi perencanaan yang telah dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas teknik Teknologi Universitas Diponegoro Semarang, untuk lokasi di Jalan Sidodadi Semarang telah ditentukan bahwa pada kedalaman lebih dari -10 m tepatnya pada kedalaman -30 m belum menemukan lapisan tanah keras, dengan nilai tahanan ujung (q_c) sebesar 64 kg/cm², dan nilai Total friction 1544 kg/cm. Dari nilai yang didapat tersebut, tanah diklasifikasikan sebagai tanah lunak. Sehingga dalam hal ini diputuskan untuk menggunakan jenis pondasi dalam, yaitu pondasi Tiang Pancang.

2.6.4.4 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Berdasarkan data tanah hasil penyelidikan, beban-beban yang bekerja dan kondisi sekitar proyek, telah dipilih menggunakan pondasi tiang namun dengan sistem tiang pancang yang berfungsi sebagai *end bearing*.

Pemilihan sistem pondasi ini didasarkan atas pertimbangan :

1. Beban yang bekerja cukup besar.
2. Pelaksanaan yang cepat di lapangan.

2.6.4.5 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 segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (*Ultimate Bearing Capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah dan biasanya diberi symbol q_{ult} . Daya dukung ini merupakan

kemampuan tanah mendukung beban, dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan. Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, rumusnya adalah :

$$q_a = q_{ult} / FK \dots\dots\dots(2.58)$$

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.

2.6.4.6 Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

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

- a. Berdasarkan kekuatan bahan

$$P_{tiang} = f'_c \cdot A_{tiang} \dots\dots\dots(2.59)$$

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

f'_c = tegangan tekan tiang terhadap penumbukan

A_{tiang} = luas penampang tiang pancang

- b. Berdasarkan hasil sondir

Tes sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) pada dasarnya adalah untuk memperoleh tahanan ujung (q) dan tahanan selimut (C) sepanjang tiang. Tes sondir ini biasanya dilakukan pada tanah-tanah kohesif dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung keras. Berdasarkan faktor pendukungnya, daya dukung tiang bor dapat digolongkan sebagai berikut :

1. End Bearing Pile

Tiang yang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras dibawahnya

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

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \cdot P}{SF} \dots\dots\dots (2.60)$$

Kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan :

$$P_{\text{tiang}} = \text{bahan} \cdot A_{\text{tiang}} \dots\dots\dots (2.61)$$

Dengan :

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

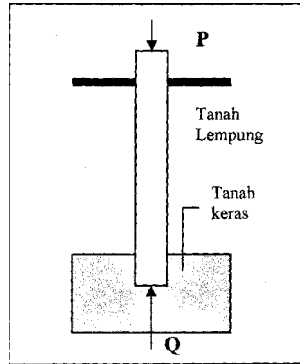
A_{tiang} = luas permukaan tiang (m²)

P = nilai conus hasil sondir (kN/m²)

SF = faktor keamanan(diambil 3)

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

A_{tiang} = luas tekan ijin bahan tiang (cm²)



Gambar 2.14 Bearing pile

2. Friction Pile

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

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah :

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{O \cdot JHP}{SF} \dots\dots\dots (2.62)$$

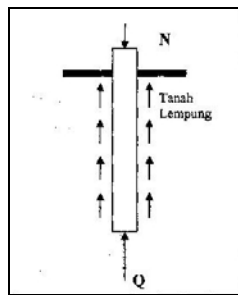
Dimana :

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

O = keliling tiang pancang (m)

JHP = Total Friction (kN/m)

SF = faktor keamanan (diambil 5)



Gambar 2.15 Friction pile

2.6.4.7 Daya Dukung Ijin Tiang Group (P all Group)

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

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

Pall group = Eff x jumlah tiang dalam group x Pall 1 tiang

$$Eff = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{(m+n)} \right] \dots\dots\dots (2.63)$$

Dengan :

m = jumlah baris

n = jumlah tiang satu baris

θ = \tan^{-1} (d/s) dalam derajat

d = diameter tiang (cm)

s = jarak antar tiang (cm)

2.6.4.8 Pmax yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M(x).Y_{max}}{n_x \cdot \sum y^2} \pm \frac{M(y).X_{max}}{n_y \cdot \sum x^2} \dots\dots\dots (2.64)$$

Dimana :

Pmax = beban maksimum yang diterima oleh tiang pancang (kg)

$\sum V$ = jumlah total beban normal

M(x) = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x (kg.cm)

M(y) = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y (kg.cm)

n = banyaknya tiang pancang dalam kelompok tiang pancang (pile group)

Xmax = absis terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

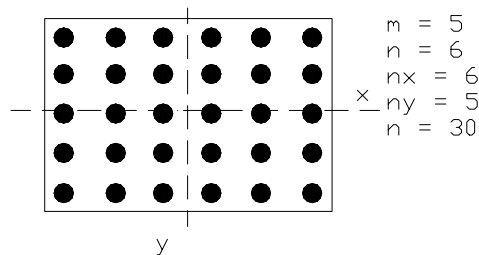
Ymax = ordinat terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

n_x = banyaknya tiang pancang dalam satu baris dalam arah sumbu x

n_y = banyaknya tiang pancang dalam satu baris dalam arah sumbu y

$\sum x^2$ = jumlah kuadrat absis-absis tiang pancang (cm²)

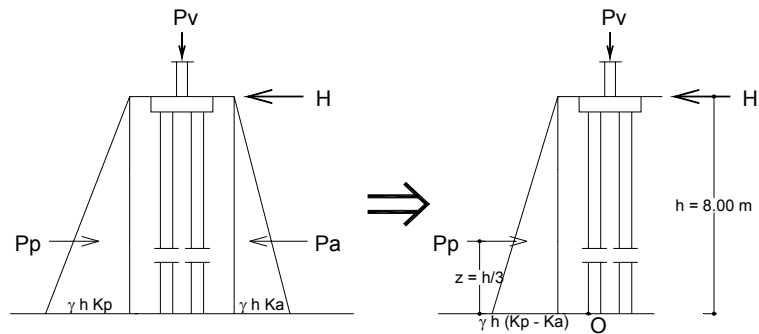
$\sum y^2$ = jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang pancang (cm²)



Gambar 2.16 Contoh penempatan tiang pancang

2.6.4.9 Kontrol Gaya Horizontal

Kontrol gaya horizontal dilakukan untuk mencari gaya horizontal yang dapat didukung oleh tiang.



Gambar 2.17 Pembebanan pada pondasi

dimana :

$$k_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \text{ dan } k_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

di mana ϕ adalah sudut geser dalam tanah dasar pondasi

Gaya horizontal (H)

$$H = R_x + R_y$$

$$P_p = 0.5 \times \gamma \times h^2 \times (k_p - k_a) b$$

$$z = h/3$$

$$M_o = H \times h - P_p \times z \times n$$

Di mana :

R_x, R_y = Reaksi horizontal pada tumpuan pada arah X dan Y

γ = Berat jenis tanah dasar

b = lebar pondasi

h = jarak antara posisi gaya H dan ujung bawah pondasi

n = jumlah pondasi tiang dalam grup

2.6.4.10 Penulangan pondasi tiang pancang

Penulangan tiang bor didesain terhadap gaya dalam yang timbul akibat pembebanan. Dengan M_u , V_u dan N_u didapat dari hasil analisa struktur, maka :

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0.85 \times f'_c}{f_y}$$

Dikarenakan bentuk tiang bulat, maka dalam perhitungan penampang tiang dikonversikan ke dalam bentuk bujur sangkar dengan $b = 0.88 D$.

$$\frac{M_u}{bd^2} = \rho \phi f_y \left(1 - 0.588 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

Dengan rumus a,b,c didapat nilai ρ

Cek rasio penulangan

$$\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max}$$

Sehingga, $A_s = \rho b d$

Perhitungan Tulangan Spiral

Rasio penulangan spiral (ρ_s)

$$\rho_s = 0.45 \times \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$$

$$A_s = 2 \times \rho_s \times A_g$$

Jarak Sengkang / Spacing (s) :