

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Pada tahap perencanaan struktur gedung Perpustakaan dan Laboratorium Terpadu ini, perlu dilakukan tinjauan pustaka untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan direncanakan untuk digunakan. Disamping itu juga untuk mengetahui dasar-dasar teorinya.

Pada jenis struktur gedung tertentu, perencanaan sering kali diharuskan menggunakan suatu pola akibat dari syarat-syarat fungsional maupun strukturnya. Pola-pola yang dibentuk oleh konfigurasi fungsional akan berpengaruh secara implisit pada desain struktur yang digunakan. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menentukan, misalnya pada situasi yang mengharuskan bentang ruang yang besar serta harus bebas kolom, sehingga akan menghasilkan beban yang harus dipikul oleh balok yang lebih besar pula.

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

2.2. Konsep Pemilihan Jenis Struktur

Pemilihan jenis struktur atas (*upper structure*) mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional gedung. Dalam proses

desain struktur perlu dicari kedekatan antara jenis struktur dengan masalah-masalah seperti arsitektural, efisiensi, *service ability*, kemudahan pelaksanaan dan juga yang tidak kalah penting adalah biaya yang diperlukan. Adapun faktor yang menentukan dalam pemilihan jenis struktur sebagai berikut :

1. Aspek arsitektural

Aspek arsitektural dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan jiwa manusia akan sesuatu bentuk yang indah. Bentuk-bentuk struktur yang direncanakan sudah semestinya diharapkan dapat mengacu pada pemenuhan kebutuhan yang dimaksud.

2. Aspek fungsional

Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi dari bangunan tersebut. Dalam kaitannya dengan penggunaan ruang, aspek fungsional sangat mempengaruhi besarnya dimensi dan juga beban dari bangunan yang direncanakan.

3. Kekuatan dan kestabilan struktur

Kekuatan dan kestabilan struktur mempunyai kaitan yang erat dengan kemampuan struktur untuk menerima beban-beban yang bekerja, baik beban vertikal maupun beban lateral, dan kestabilan struktur baik arah vertikal maupun lateral.

4. Faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Biasanya dari suatu gedung dapat digunakan beberapa sistem struktur yang bisa digunakan, maka faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang dipilih.

5. Faktor kemampuan struktur mengakomodasi sistem layan gedung

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

Keselamatan adalah hal penting pada perencanaan struktur gedung terutama dalam penanggulangan bahaya kebakaran, maka dilakukan usaha-usaha sebagai berikut :

- Perencanaan *outlet* yang memenuhi persyaratan
 - Penggunaan material tahan api terutama untuk instalasi-instalasi penting
 - Fasilitas penanggulangan (*warning system*) api dan asap disetiap lantai
 - Pengaturan ventilasi yang memadai.
6. Aspek lingkungan

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

Sedangkan pemilihan jenis pondasi (*sub-structure*) yang digunakan menurut Suyono (1984) didasarkan kepada beberapa pertimbangan, yaitu :

1. Keadaan tanah pondasi

Jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah erat kaitannya dengan jenis pondasi yang dipilih.
2. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya

Keadaan struktur atas sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tertentu, kekakuan dan sebagainya).
3. Batasan-batasan dilingkungan sekelilingnya

Hal ini menyangkut lokasi proyek, pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada disekitarnya.
4. Waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan

Suatu proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan. Hal ini disebabkan karena sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi ekonomis dalam pembangunan.

2.2.1. Elemen-Elemen Struktur Utama

Pada perencanaan struktur gedung ini digunakan balok dan kolom sebagai elemen-elemen utama struktur. Balok dan kolom merupakan struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal diatas elemen kaku vertikal. Balok memikul beban secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh balok dan mentransfer beban itu ke tanah / pondasi.

2.2.2. Material / Bahan Struktur

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

1. Struktur Baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat tepat digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi, karena material baja mempunyai kekuatan serta daktilitas yang tinggi apabila dibandingkan dengan material-material struktur lainnya. Di beberapa negara, struktur baja tidak banyak dipergunakan untuk struktur bangunan rendah dan menengah, karena ditinjau dari segi biaya, penggunaan material baja untuk bangunan ini dianggap tidak ekonomis / mahal.

2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)

Struktur komposit merupakan struktur gabungan yang terdiri dari dua jenis material atau lebih. Umumnya struktur komposit yang sering dipergunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Struktur komposit ini memiliki perilaku diantara struktur baja dan struktur beton bertulang, digunakan untuk struktur bangunan menengah sampai tinggi .

3. Struktur Kayu (*Wooden Structure*)

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan cukup baik terhadap pengaruh gempa, dan mempunyai harga yang ekonomis. Kelemahan daripada struktur kayu ini adalah tidak tahan terhadap kebakaran dan digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah.

4. Struktur Beton Bertulang Cor Di Tempat (*Cast In Situ reinforced Concrete structure*)

Struktur beton bertulang ini banyak digunakan untuk struktur bangunan tingkat menengah sampai tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan struktur lainnya.

5. Struktur Beton Pracetak (*Precast Concrete Structure*)

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen pracetak. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

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

Penggunaan sistem prategang pada elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi daripada struktur dan akan mempengaruhi karakteristik respon terhadap gempa. Struktur ini digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai menengah. Sistem prategang yang digunakan ada dua cara, yaitu :

▪ Sistem *Post-Tensioning*

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

▪ Sistem *Pre-Tensioning*

Pada sistem ini beton telah dicetak dan sebelumnya diberi gaya prategang di pabrik dan kemudian dipasang di lokasi. Sistem ini biasa digunakan untuk komponen balok, pelat dan tangga.

2.3. Konsep Desain / Perencanaan Struktur

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

2.3.1. Desain Terhadap Beban Lateral (Gempa)

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

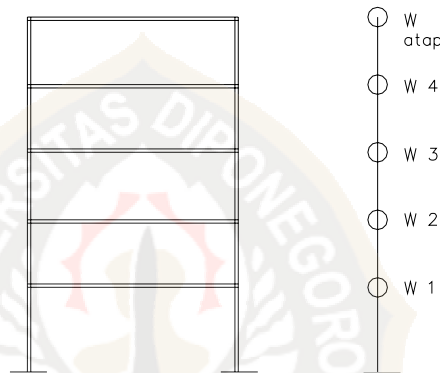
Beban lateral yang paling berpengaruh terhadap struktur adalah beban gempa dimana efek dinamisnya menjadikan analisisnya lebih kompleks. Tinjauan ini dilakukan untuk mengetahui pemilihan metode dan kriteria dasar perancangannya.

A. Pemilihan Cara Analisis

Pemilihan metode analisis untuk perencanaan struktur ditentukan berdasarkan konfigurasi struktur dan fungsi bangunan berkaitan dengan tanah dasar dan wilayah kegempaan. Untuk struktur bangunan kecil dan tidak bertingkat, elemen struktural dan non struktural tidak perlu didesain khusus terhadap gempa, tetapi diperlukan detail struktural yang baik. Untuk struktur bangunan sedang digunakan metode Analisis Beban Statik Ekuivalen, sebaiknya memeriksa gaya gempa yang bekerja dengan menggunakan Spektrum Respon Gempa Rencana sesuai kondisi struktur. Untuk struktur bangunan yang cukup besar menggunakan analisis dinamik, metode Analisis Ragam Spektrum respon. Sedang untuk struktur bangunan tidak merata ke arah vertikal dengan menggunakan Analisis Modal.

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

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



Gambar 2.1 Pemodelan Struktur dan Model Lump Mass

2.3.2. Denah Dan Konfigurasi Bangunan

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

2.3.3. Konsep Pembebanan

A. Beban - Beban Pada Struktur

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

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

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

1. Beban Statis

Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut:

- Beban Mati (*Dead Load/ DL*)

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

Tabel 2.1 Beban Mati Pada Struktur

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

- Beban hidup (*Live 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 terjadi fluktuasi beban hidup secara bervariasi, tergantung dari banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban-beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati

Tabel 2.2 Beban Hidup Pada Lantai Bangunan

| Beban Hidup Lantai Bangunan | Besar Beban |
|------------------------------------|-------------------------|
| Lantai Perpustakaan dan Lab. | 250 kg / m ² |
| Tangga dan Bordes | 300 kg / m ² |
| Lantai Ruang Alat dan Mesin | 400 kg / m ² |
| Beban Pekerja | 100 kg / m ² |

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

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu faktor yang utama adalah benturan pergerakan atau gesekan pada kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Lokasi gesekan ini terjadi disebut *fault zone*. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dan gerakan. Gaya yang timbul disebut gaya inersia. Besar gaya tersebut bergantung pada banyak faktor yaitu:

- Massa dari bangunan
- Pendistribusian massa bangunan
- Kekakuan struktur
- Jenis tanah lokasi bangunan
- Mekanisme redaman dan struktur
- Perilaku dan besar getaran itu sendiri secara alami

- Wilayah kegempaan
- Periode getar alami

Besarnya Beban Gempa Dasar Nominal horizontal akibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002), dinyatakan sebagai berikut:

$$V = W_t \cdot C^* \quad (2.1)$$

$$C^* = C \cdot I \cdot K \cdot Z \quad (2.2)$$

Dimana:

V = Beban Gempa Dasar Nominal (didapatkan dengan mengalikan beban gempa rencana dengan koefisien gempa dasar nominal)

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

C* = Koefisien Gempa Dasar Nominal

C = Spektrum Respon Nominal Gempa Rencana, yang besarnya tergantung dari jenis tanah dasar dan waktu getar struktur T

I = Faktor Keutamaan Struktur

K = Faktor Jenis Struktur

Z = Faktor Wilayah, dimana Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa

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

$$\tau = c + \sum \sigma_1 \tan \phi \quad (2.3)$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 + h_1 \quad (2.4)$$

dimana:

τ = Tegangan geser tanah (kg/cm²)

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

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

- γ_1 = Berat jenis masing-masing lapisan tanah (kg/cm)
 h = Tebal masing-masing lapisan tanah
 ϕ = Sudut geser pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

Tabel 2.3 Definisi Jenis Tanah

| Jenis Tanah | Tanah Keras | Tanah Sedang | Tanah Lunak |
|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------|
| Kedalaman Lap. Keras (Meter) | Nilai Rata-rat Kekuatan Geser Tanah | | |
| 5 | $S > 55$ | $45 \leq S \leq 55$ | $S < 45$ |
| 10 | $S > 110$ | $90 \leq S \leq 110$ | $S < 90$ |
| 15 | $S > 220$ | $180 \leq S \leq 220$ | $S < 180$ |
| ≥ 20 | $S > 330$ | $270 \leq S \leq 330$ | $S < 270$ |

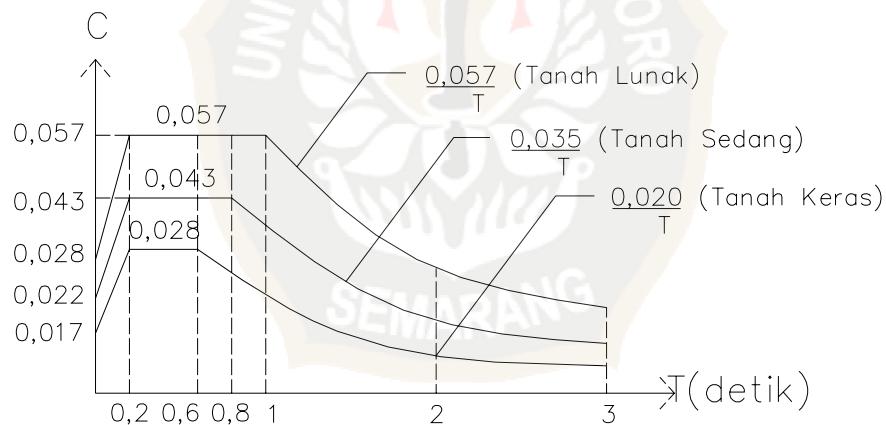
Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Struktur

| Jenis Struktur Bangunan Gedung | I |
|---|-----|
| Bangunan monumental untuk dilestarikan | 1.9 |
| Bangunan penting yang harus tetap berfungsi setelah terjadi gempa, seperti rumah sakit, instalasi air minum, pembangkit listrik | 1.4 |
| Bangunan tempat menyimpan gas, minyak, asam dan bahan beracun instalasi nuklir | 1.6 |
| Bangunan rendah untuk perumahan, pertokoan, dan Hotel s.d 10 tingkat | 0.9 |
| Bangunan rendah untuk perumahan, pertokoan, dan Hotel 10-30 tingkat | 1.0 |
| Bangunan tinggi untuk perumahan, pertokoan dan Hotel dengan tinggi lebih dari 30 tingkat | 1.2 |

Tabel 2.5 Faktor Wilayah Gempa

| Wilayah Gempa Indonesia | Percepatan Tanah Maksimum Pada Tanah Keras (g) | Z |
|----------------------------|---|-----|
| 1 | 0.26 | 2.6 |
| 2 | 0.18 | 1.8 |
| 3 | 0.14 | 1.4 |
| 4 | 0.10 | 1.0 |
| 5 | 0.06 | 0.6 |
| 6 | 0.00 | 0.0 |

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



Gambar 2.2 Respon Spektrum Gempa Rencana

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

Konsep desain kapasitas dipakai untuk merencanakan kolom-kolom pada struktur agar lebih kuat dibanding dengan elemen-elemen balok

(*Strong Column Weak Beam*). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

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

Pada prinsipnya dengan konsep desain kapasitas elemen-elemen utama penahan gempa dapat dipilih, direncanakan dan detail sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan energi gempa yang cukup besar tanpa mengalami keruntuhan struktur secara total, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

3. **Beban Angin (*Wind Load/WL*)**
Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983 pasal 4.4.2. pada gedung tertutup dengan tinggi 16 meter dapat diberikan pembebanan atas pengaruh angin.

B. Faktor Beban Dan Kombinasi Pembebanan

Untuk keperluan desain, analisis dan sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap kemungkinan terjadinya kombinasi pembebanan (*Load Combination*) dan beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1983, ada 2 kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu Kombinasi Pembebanan Tetap dan Kombinasi Pembebanan Sementara. Disebut pembebanan tetap karena beban dianggap dapat bekerja terus menerus pada struktur selama umur rencana.

Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*).

Kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus menerus pada struktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup dan beban gempa. Nilai - nilai beban tersebut di atas dikalikan dengan suatu faktor magnifikasi yang disebut faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

Faktor beban memberikan nilai kuat perlu bagi perencanaan pembebanan pada struktur.

SNI 03-2847-2002 sub bab 11.2 menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

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

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

$$U = 1.2D + 1.6L \quad (2.5)$$

$$U = 1.2D + 1.0L \pm 1.0E \quad (2.6)$$

dimana:

D = Beban Mati (*Dead Load*)

L = Beban Hidup (*Live Load*)

E = Beban Gempa (*Earthquake Load*)

2.3.4. Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya. SNI 03-2847-2002 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dan perhitungan struktur.

Tabel 2.6 Reduksi Kekuatan

| Kondisi Pembebanan | Faktor Reduksi |
|---|----------------|
| Beban lentur tanpa gaya aksial | 0.80 |
| Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur | 0.80 |
| Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur <ul style="list-style-type: none"> • Dengan tulangan spiral • Dengan tulangan biasa | 0.70 0.65 |
| Geser dan Torsi | 0.75 |
| Tumpuan Pada Beton | 0.65 |

2.4. Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

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

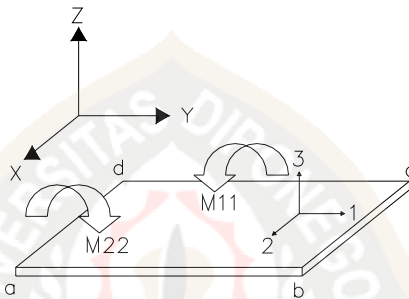
Perencanaan struktur portal utama direncanakan dengan menggunakan prinsip *strong column weak beam*, dimana sendi-sendi plastis diusahakan terletak pada balok- balok.

2.4.1. Perencanaan Pelat

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

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap lebar kurang dari 2, maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban

pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat menjadi suatu pelat yang melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya pula penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan apabila panjang tidak sama dengan lebar, balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar dan balok yang pendek (penulangan satu arah). Dimensi bidang pelat L_x dan L_y dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Arah sumbu lokal dan sumbu global pada elemen pelat

Langkah perencanaan penulangan pelat adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan syarat - syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal pelat. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 maka tebal ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

$$h \geq \frac{\ln\left(0.8 \frac{f_y}{1500}\right)}{36+9\beta} \quad (2.7)$$

$$h \leq \frac{\ln\left(0.8 \frac{f_y}{1500}\right)}{36} \quad (2.8)$$

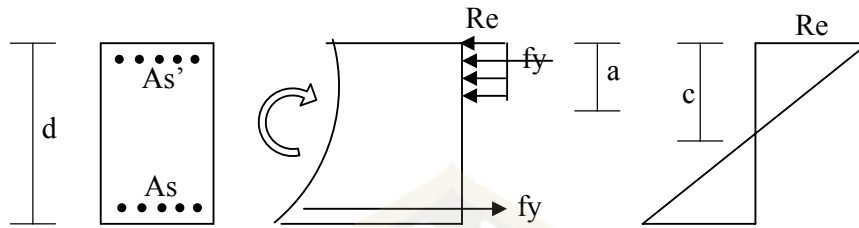
Dimana: $\beta = L_y / L_x$

L_n = panjang bersih pelat

3. Memperhitungkan beban - beban yang bekerja pada pelat.
4. Tentukan L_x / L_y .
5. Tentukan momen yang menentukan (M_u) dengan bantuan program SAP 2000

6. Hitung penulangan (arah-x dan arah-y)

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

2.4.2. Penulangan Balok Penampang Persegi Tulangan *Double*

Gambar 2.4 Diagram Tegangan & Regangan Penampang Persegi dengan Tulangan *Double*

Dari diagram tegangan dan regangan dapat dilihat bahwa :

$$\frac{c}{0,003} = \frac{d}{0,003 + \varepsilon_s} \quad (2.9)$$

Sedangkan besarnya c sendiri adalah a/β_1 , maka :

$$\begin{aligned} a &= \frac{\beta_1 \cdot d \cdot 0,003}{0,003 + \varepsilon_s} \\ &= \frac{\beta_1 \cdot d \cdot 0,003}{0,003 + \left(\frac{f_y}{E_s}\right)} \\ &= \frac{\beta_1 \cdot d \cdot 0,003 \cdot E_s}{0,003 E_s + f_y} ; \text{ di mana } E_s = 200.000 \text{ kg/cm}^2 \\ &= \frac{\beta_1 \cdot d \cdot 6000}{6000 + f_y} \quad (2.10) \end{aligned}$$

A. Prosedur Perhitungan

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

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2.11)$$

$$F_{maks} = \beta_1 \left(\frac{450}{600 + f_y} \right); \text{ dimana satuan dalam SI} \quad (2.12)$$

$$K_{maks} = \frac{1 - (1 - F_{maks})^2}{2} \quad (2.13)$$

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2 \cdot R_e} \quad (2.14)$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K} \quad (2.15)$$

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

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

$$A_s' = A_{s2} \quad (2.16)$$

$$M_2 = A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (2.17)$$

$$M_1 = M - M_2 \quad (2.18)$$

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

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

$$K = \frac{Mn}{b \cdot d^2 \cdot Re} \quad (2.19)$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K} \leq F_{maks} = \beta_1 \cdot \left(\frac{450}{600 + f_y} \right) \quad (2.20)$$

$$As_1 = F \cdot b \cdot d \cdot \frac{Re}{f_y} \quad (2.21)$$

$$As = As_1 + As_2 \quad (2.22)$$

Pemeriksaan tulangan :

$$\rho_1 = \frac{As_1}{b \cdot d} \leq \rho_{maks} \text{ tulangan } single \quad (2.23)$$

$$\left(\frac{d'}{d} \right) \leq \left(\frac{d'}{d} \right)_{maks}; \text{ dengan } F = F_{maks} \quad (2.24)$$

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

2. Jika $F > F_{maks}$

$$\text{Jika } F > F_{maks}, \text{ maka gunakan tulangan } double. \quad (2.25)$$

$$M_1 = K_{maks} \cdot b \cdot d^2 \cdot Re \quad (2.26)$$

$$M_2 = M - M_1 \quad (2.27)$$

$$As' = As_2 = \frac{M_2}{f_y \cdot (d - d')} \quad (2.28)$$

$$As_1 = (F_{maks} \cdot b \cdot d) \cdot \frac{Re}{f_y} \quad (2.29)$$

$$As = As_1 + As_2 \quad (2.30)$$

Pemeriksaan tulangan terpasang :

$$\rho_{\text{maks}} = \left(\beta_1 \frac{450}{600 + f_y} \cdot \frac{R_e}{f_y} \right) \quad (2.31)$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \leq \rho_{\text{maks}} \quad (2.32)$$

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

$$\rho_1 \text{ terpasang} \geq \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \text{ (tulangan single)} \quad (2.33)$$

2.4.3. Konsep Perhitungan Tulangan Geser Dengan Gaya Aksial

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

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (2.34)$$

A. Untuk Gaya Aksial Tekan

$$\frac{V_u \cdot d}{M_u} \leq 1 \quad (2.35)$$

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

$$V_c = 0,17 \left(1 + 0,073 \cdot \frac{N_u}{A_g} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right) \quad (2.36)$$

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

B. Untuk Gaya Aksial Tarik

$$V_c = \left(1 - 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b_w \cdot d \geq 0 \quad (2.37)$$

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

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

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

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

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

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

$$A_v = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \quad (2.38)$$

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

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

a) Sengkang

$$A_v = \frac{(V_n - V_c) \cdot s}{d \cdot f_y} \text{ di mana } s < \frac{d}{2} \text{ mm} \quad (2.39)$$

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

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

$$A_v = \frac{r \cdot (V_n - V_c) \cdot s}{d \cdot f_y (\sin \alpha + \cos \alpha)} \quad \text{di mana : } s \leq \frac{3}{8} \cdot d \cdot (1 + \text{Ctg } \alpha) \quad (2.40)$$

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

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

$$\text{Untuk } \alpha = 45^\circ, \text{ maka } A_v = r \cdot \frac{(V_n - V_c) \cdot s}{1,414 \cdot d \cdot f_y} \quad (2.41)$$

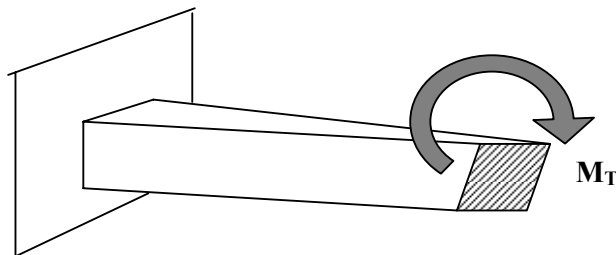
$$\text{Sengkanng : } A_v = \frac{(1-r)(V_n - V_c) \cdot s}{d \cdot f_y} \quad (2.42)$$

2.4.4. Konsep Perhitungan Puntir (torsi) dan Geser Lentur

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

lentur $\sigma_y = \frac{M \cdot y}{I}$ di man J analog dengan I dan terdefiniskan sebagai $J =$

$A \int r^2 dA$. Besaran J disebut sebagai momen inersia polar.



Gambar 2.5. Pengaruh Momen Puntir (M_T) pada Penampang Balok

Dalam SNI 03-2847-2002 dicantumkan cara perhitungan pengaruh-pengaruh torsi dimana dikatakan bahwa penampang yang dibebani torsi harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat :

$$\bullet T_u \leq \phi T_n \quad (2.43)$$

$$\bullet T_u = 1,2 T_d + 1,6 T_L \quad (2.44)$$

$$\bullet T_n = T_c + T_s \quad (2.45)$$

Di mana :

T_u : momen torsi terfaktor pada penampang yang ditinjau.

T_d : momen torsi akibat beban mati pada penampang.

T_L : momen torsi akibat beban hidup pada penampang.

T_n : kuat momen torsi nominal.

T_c : kuat torsi nominal yang disumbangkan oleh beton.

T_s : kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan torsi

ϕ : factor reduksi kekuatan

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

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

$$T_u = \frac{\phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{3} \right) \cdot \sum (x^2 \cdot y)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \quad (2.46)$$

$$C_t = \frac{b_w \cdot d}{\sum (x^2 \cdot y)} \quad (2.47)$$

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

$$T_c = \frac{\phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{15} \right) \cdot \sum (x^2 \cdot y)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \cdot \left(1 + \frac{0,3 \cdot N_u}{A_g} \right) \quad (2.48)$$

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

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

$$V_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left(\frac{C_t \cdot T_u}{0,4 \cdot V_u} \right)^2}} \cdot \left(1 + \frac{0,3 \cdot N_u}{A_g} \right) \quad (2.49)$$

Hitung geser lentur dan A_v (lihat bab geser lentur)

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

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

Luas penampang tulangan memanjang puntir total:

$$A_1 = \frac{2 \cdot A_t \cdot (x_1 + y_1)}{s} \quad (2.50)$$

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

$$T_s = \left(\frac{T_u}{\phi} - T_c \right) \leq 4 \cdot T_u \quad (2.51)$$

$$V_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left(\frac{C_t \cdot T_u}{0,4 \cdot V_u} \right)^2}} \quad (2.52)$$

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

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

$$A_t = \frac{\left(\frac{T_u}{\phi} - T_c \right) \cdot s}{a_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y} \quad (2.53)$$

$$\text{Luas penampang sebuah kaki sengkang} = \frac{(A_v + 2 A_t)}{2} \quad (2.54)$$

Luas penampang tulangan memanjang puntir total :

$$A_{l1} = \frac{2 \cdot A_t \cdot (x_1 + y_1)}{s} \quad \text{atau} \quad (2.55)$$

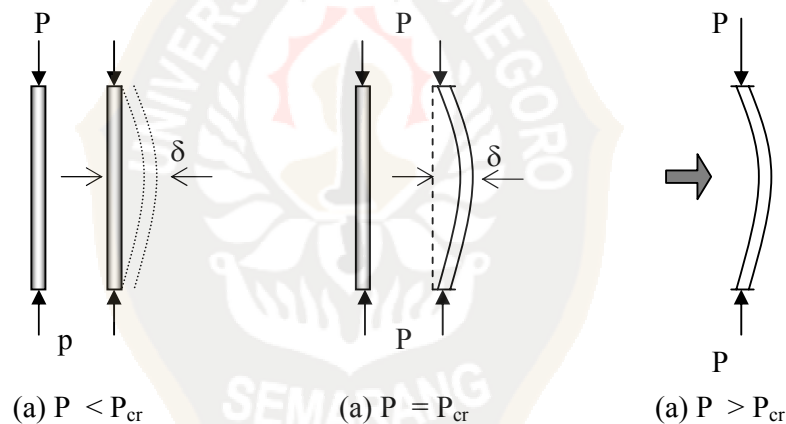
$$A_{l1} = \left[\left(\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \right) \left(\frac{T_u}{\left(T_u + \frac{V_u}{3 C_t} \right) - 2 \cdot a_t} \right) \right] \cdot \frac{(x_1 + y_1)}{s} \quad (2.56)$$

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

2.4.5. Perencanaan Kolom

A. Teori Tekuk pada Kolom

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



Gambar 2.6. Perilaku Kolom yang Dibebani

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

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad \text{Di mana :} \quad (2.57)$$

E : Modulus elastisitas

I : Momen inersia

L : Panjang kolom

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

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

B. Mendesain Tulangan Penampang Persegi dengan Gaya Tekan Eksentris

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

$$P = \frac{P_u}{\phi} < P_{maks} = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \quad (2.58)$$

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

1. Penampang Tulangannya Tidak simetris

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

Gunakan $a = ab$

$$P \cdot e = R_e \cdot b \cdot ab \cdot \left(d - \frac{ab}{2} \right) + f_y \cdot a_s' \cdot (d - d') \quad (2.59)$$

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

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

$$A_s = \frac{(R_e \cdot b \cdot a b) - P}{f_y} + A_s' \quad (2.60)$$

Periksa tulangan tekan :

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

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

Maka $e = 0,8 d$

$$A_s' = \frac{P - (0,8 \cdot R_e \cdot b \cdot d)}{f_y} \quad (2.61)$$

A_s tidak perlu dihitung.

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

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

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

$$a = d$$

$$A_s = \frac{P - (R_e \cdot b \cdot d)}{f_y} - A_s' \quad (2.62)$$

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

$$A_s' = \frac{(P \cdot e) - (0,5 \cdot R_e \cdot b \cdot d^2)}{f_y \cdot (d - d')} \quad (2.63)$$

2. Penampang Tulangannya Simetris

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

Bandingkan a dengan ab dan d atau b .

- **Jika $a < ab$**

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

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

$$A_s = A_s' = \frac{P \cdot \left(e - d + \frac{P}{2 \cdot Re \cdot b} \right)}{f_y \cdot (d - d')} \quad (2.64)$$

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

$$\begin{aligned} A_s = A_s' &= \frac{P \cdot e - \left(F_b \cdot b \cdot Re \cdot d^2 \cdot \left(d - \frac{F_b}{2} \right) \right)}{f_y \cdot (d - d')} \\ &= \frac{P \cdot e - (K_b \cdot Re \cdot b \cdot d^2)}{f_y \cdot (d - d')} \end{aligned} \quad (2.65)$$

Jika $A_s = a_s' = \text{masih negatif}$, maka $A_{s_{total}} = \frac{P - (Re \cdot Ag)}{f_y}$; seperti untuk

$a \geq b$.

Batasan luas penampang tulangan : $0 \% \leq \frac{A_{st}}{A_g} \leq 1\%$.

C. Analisis Penampang yang Mengalami Tekanan Axial dan Pelenturan Dua Arah (*Biaxial Bending*)

A. Pendimensian Kolom

Dalam buku *Menghitung Beton Bertulang*, perhitungan penulangan kolom apabila diketahui P_n , M_{nx} , M_{ny} , f_c' , f_y adalah sebagai berikut :

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

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

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

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

Untuk keadaan *balance* :

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

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

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

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

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

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

Jika $\frac{As}{Ag} < 3\%$, maka $As = 3\% \cdot Ag$

B. Tinjauan Lentur Arah X dan Y

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

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

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

$$d_x = b - p$$

$$d_y = h - p$$

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

$$cb_{x/y} = \frac{600 \cdot d_{x/y}}{600 + fy} \quad \text{dan} \quad ab_{x/y} = \beta_1 \cdot cb_{x/y}$$

$$Fb_{x/y} = \frac{ab_{x/y}}{d_{x/y}}$$

$$Kb_{x/y} = Fb \cdot \left(1 - \frac{Fb}{2}\right)$$

$$Mnb_{x/y} = (0,85 \cdot fc' \cdot Kb_{x/y} \cdot d_{x/y}^2) + (As' \cdot fy \cdot (d_{x/y} - d'))$$

$$Pnb_{x/y} = 0,85 \cdot fc' \cdot b_{x/y} \cdot ab_{x/y}$$

$$eb_{x/y} = \frac{Mnb_{x/y}}{Pnb_{x/y}}$$

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

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

$$P_o = 0,85 \cdot fc' \cdot (Ag - Ast) + fy \cdot Ast$$

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

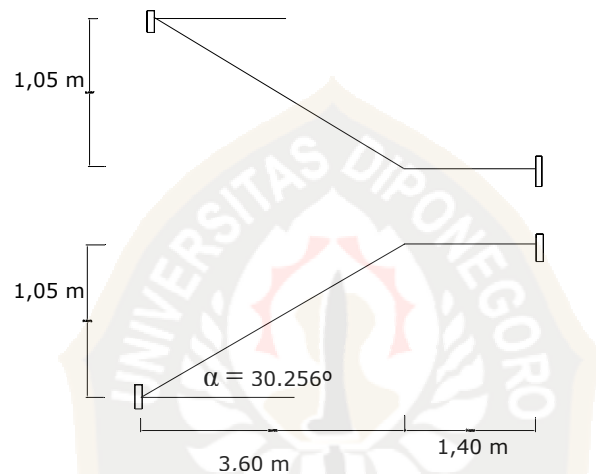
Tinjauan *Biaxial bending* :

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

$$\text{Syarat : } P_i \geq P_n$$

2.4.6. Perencanaan Tangga

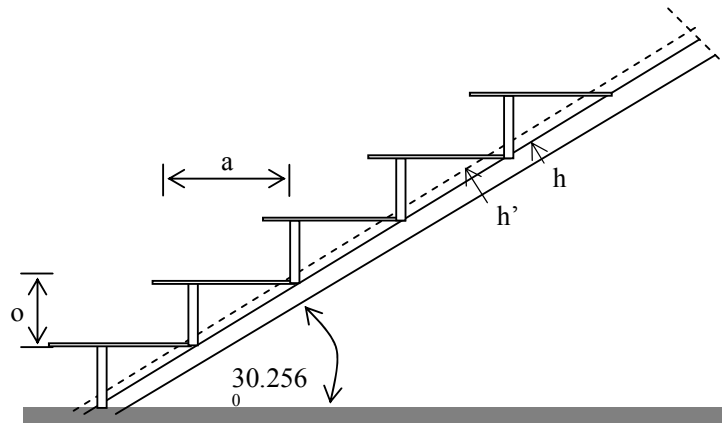
Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dan satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin.



Gambar 2.7 Model struktur tangga

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

- Tinggi antar lantai
- Tinggi Antrede
- Jumlah anak tangga
- Kemiringan tangga
- Tebal pelat beton
- Tinggi Optrede
- Lebar bordes
- Lebar anak tangga
- Tebal selimut beton
- Tebal pelat tangga



Gambar 2.8 Pendimensian struktur tangga

Langkah-langkah perencanaan tangga :

1. Menentukan dimensi tangga, sesuai dengan persamaan:

$$o = \tan \alpha \times a$$

$$2 \times o + a = 61 \sim 65$$
 dimana : o = oprtrade (langkah naik)
 a = antrede (langkah datar)
2. Menghitung kombinasi beban W_u dari beban mati dan beban hidup.
3. Menentukan tebal selimut beton, diameter tulangan rencana, dan tinggi efektif arah x (d_x) dan arah y (d_y).
4. Dari perhitungan SAP 2000, didapatkan momen pada tumpuan dan lapangan baik pada pelat tangga maupun pada bordes.
5. Menghitung penulangan pelat tangga dan bordes.

Berdasarkan Buku CUR 1, langkah-langkah perhitungan tulangan pada pelat tangga adalah sebagai berikut :

- a. Menetapkan tebal penutup beton menurut Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.
- 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 M_u dengan $b \times d^2 \left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right)$

dimana b = lebar pelat per meter panjang
 d = tinggi efektif

e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

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

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.17) \quad \rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y}$$

g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(A_s = \rho \times b \times d \times 10^6)$$

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.

2.5. Perencanaan Struktur Bawah (*Sub Structure*)

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

Pemilihan sistem pondasi ini didasarkan atas pertimbangan:

1. Kondisi tanah cukup mendukung dimana tanah keras terletak pada kedalaman yang tidak terlalu dalam atau dangkal yaitu pada kedalaman 1.20 – 6.60 m.
2. Beban yang bekerja tidak terlalu besar.

2.5.1. Penentuan Parameter Tanah

Kondisi tanah selalu mempunyai peranan penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah landasan pendukung suatu bangunan. Untuk dapat mengetahui susunan lapisan tanah yang ada, serta sifat - sifatnya secara mendetail, untuk perencanaan suatu bangunan yang akan

dibangun maka dilakukan penyelidikan dan penelitian. Pekerjaan penyelidikan dan penelitian tanah ini merupakan penyelidikan yang dilakukan di laboratorium dan lapangan.

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

2.5.2. Penentuan 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 dan tanah dan biasanya diberi simbol q_{ult} . Daya dukung q_{mi} merupakan kemampuan tanah mendukung beban, dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan. Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, rumusnya adalah:

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

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

2.5.3. Perencanaan Pondasi Sumuran

Perhitungan Daya Dukung Vertikal Pondasi Sumuran

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.

Kriteria desain bangunan dengan menggunakan pondasi sumuran antara lain adalah :

- Digunakan apabila daya dukung ijin tanah $> 3 \text{ kg/cm}^2$
- Diameter minimum 0.80 m
- Bebas dari pengaruh scouring vertikal

1. Berdasarkan kekuatan bahan

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

$$\sigma_b = 0.33 \times f_c \quad : f_c = \text{kekuatan karakteristik beton}$$

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

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

dimana:

- P_{tiang} = Kekuatan pikul tiang yang diijinkan
- σ_b = Tegangan tekan tiang terhadap penumbukan
- A_{tiang} = Luas penampang tiang pancang

2. Berdasarkan Hasil Pengujian Sondir

Tes Sondir atau *Dutch Cone Penetration Test* (DCPT) 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.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung ijin tanah adalah :

$$Q_{\text{ijin}} = \frac{q_c}{10} \quad (\text{ton/m}^2)$$

dimana : q_c = tahanan konus

Q_{ijin} = kapasitas dukung ijin tanah

2.5.4. Dasar Perhitungan Dan Pedoman Perencanaan

Dalam perencanaan pembangunan gedung Perpustakaan dan Laboratorium Terpadu FISIP UNS ini, pedoman peraturan serta buku acuan yang digunakan antara lain :

1. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)
2. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI-03-1726-2003)
3. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI-03-1729-2002)
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PIIG) 1983
5. Peraturan - peraturan lain yang relevan