

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Dalam menganalisa atau mendisain suatu struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai ukuran untuk menentukan apakah suatu struktur tersebut dapat diterima sesuai fungsi yang diinginkan atau untuk maksud disain tertentu (Daniel L. Schodek, 1992).

Untuk memenuhi kriteria-kriteria dalam mendesain suatu bangunan harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. **Arsitektural, Estetika, dan Fungsi Bangunan**

Aspek Arsitektural ini dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan dari jiwa manusia akan sesuatu hal yang terlihat indah. Bentuk-bentuk struktur yang direncanakan mengacu pada pemenuhan kebutuhan yang dimaksud dan sesuai dengan fungsinya.

2. **Kekuatan dan Kestabilan**

Struktur harus cukup kuat dan stabil dalam mendukung beban rencana yang bekerja dan penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya-gaya yang bekerja.

3. **Kemampuan Layan**

Komponen struktur harus memenuhi kemampuan layanan terhadap tingkat beban kerja dan kemampuan layanan bagi keamanan serta kenyamanan pengguna bangunan tersebut. Hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu lendutan, retak, korosi tulangan, rusaknya permukaan balok atau pelat beton bertulang.

4. Ekonomis dan mudah dilaksanakan,serta dampak terhadap lingkungan sekitar wilayah proyek, baik dampak dimasa pelaksanaan maupun dampak yang akan terjadi setelah masa pelaksanaan berakhir.

Agar bangunan dapat berfungsi sesuai dengan umur rencana maka harus diperhitungkan terhadap beban-beban yang bekerja baik beban luar maupun beban dari berat struktur itu sendiri.

2.2. Kriteria Dasar Perancangan

Beberapa kriteria dasar yang perlu diperhatikan antara lain:

2.2.1. Material Struktur

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

a. Struktur Kayu

Struktur kayu merupakan struktur yang ringan serta mempunyai kekuatan dan daktilitas yang tinggi, sehingga sangat baik digunakan untuk konstruksi bangunan di daerah rawan gempa. Kelemahan dari material ini adalah tidak tahan terhadap api dan pelapukan

b. Struktur Baja

Struktur baja sangat tepat digunakan pada bangunan bertingkat tinggi karena material baja mempunyai kekuatan dan tingkat daktilitas yang tinggi bila dibandingkan dengan material-material struktur yang lain

c. Struktur Komposit

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

d. Struktur Beton

Struktur beton ini biasanya digunakan pada bangunan tingkat menengah sampai dengan bangunan tingkat tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan bila dibandingkan dengan struktur lainnya karena struktur ini lebih monolit dan mempunyai umur rencana yang cukup panjang, mempunyai ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan struktur yang terbuat dari pasangan dinding bata. Struktur beton ini meliputi :

✚ Struktur Beton Bertulang Cor di tempat

Struktur beton bertulang yang dikerjakan, dibuat langsung di tempat. Beton terlebih diproduksi dengan menggunakan *mixer* atau *ready mix* dengan takaran material yang sesuai dengan kebutuhan karakteristik beton yang akan direncanakan. Kemudian beton tersebut dituangkan pada struktur tulangan yang telah siap.

✚ Struktur Beton Pracetak

Merupakan elemen-elemen structural pracetak hasil fabrikasi. Kelemahan dari struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanan terhadap gempa kurang baik. Umumnya digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai dengan menengah.

✚ Struktur Beton Prategang

Beton pratekan merupakan konstruksi beton yang ditegangkan terlebih dahulu sebelum beban hidup bekerja. Dengan demikian beton dalam keadaan tertekan awal sebelum memikul beban hidup. Tegangan dalam / internal yang disebabkan oleh gaya pratekan tersebut secara langsung meningkatkan kemampuan pemikulan beban.

Setiap jenis material mempunyai karakteristik tersendiri sehingga suatu jenis bahan bangunan tidak dapat digunakan untuk semua jenis bangunan. Sehingga harus menyesuaikan kebutuhan dari perencanaan struktur tersebut.

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

Beton : $f'_c = 30 \text{ MPa} = 300 \text{ kg/cm}^2$

Baja :

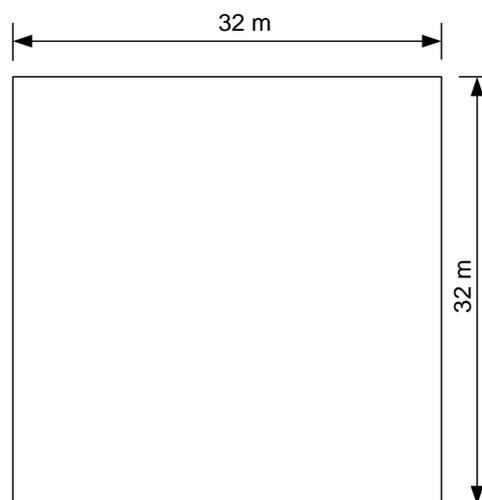
Tulangan Utama $\rightarrow f_y = 400 \text{ MPa} = 4000 \text{ kg/cm}^2$

Tulangan Geser $\rightarrow f_y = 240 \text{ MPa} = 2400 \text{ kg/cm}^2$

2.2.2. Konfigurasi Struktur Bangunan

a. Konfigurasi Horisontal

Denah bangunan diusahakan memiliki bentuk yang sederhana, kompak, dan simetris tanpa mengesampingkan unsur estetika. Hal tersebut bertujuan agar struktur mempunyai titik pusat kekakuan yang sama dengan titik pusat massa bangunan atau memiliki eksentrisitas yang tidak terlalu besar sehingga tidak terjadi torsi. Struktur dengan bagian yang menonjol dan tidak simetris perlu adanya dilatasi, untuk memisahkan bagian struktur yang menonjol dengan struktur utama.



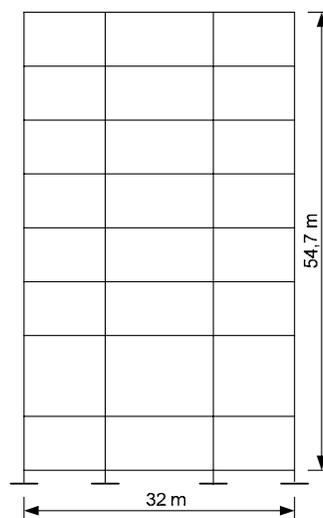
Gambar 2.1. Konfigurasi Denah Bangunan

b. Konfigurasi Vertikal

Pada konfigurasi struktur arah vertikal perlu dihindari adanya perubahan bentuk struktur yang tidak menerus. Hal ini dikarenakan apabila terjadi gempa maka akan terjadi pula getaran yang besar pada daerah tertentu suatu struktur. Gedung yang relatif langsing akan mempunyai kemampuan yang lebih kecil dalam memikul momen guling akibat gempa.

Ada dua macam Konfigurasi Rangka Struktur yaitu :

- ✚ Rangka Penahan Momen, yang terdiri dari konstruksi beton bertulang berupa balok dan kolom
- ✚ Rangka dengan Diafragma Vertikal, adalah rangka yang digunakan bila rangka struktural tidak mencukupi untuk mendukung beban horisontal gempa yang akan bekerja pada struktur. Dapat berupa dinding geser (*shear wall*) yang dapat juga berfungsi sebagai *core wall*.

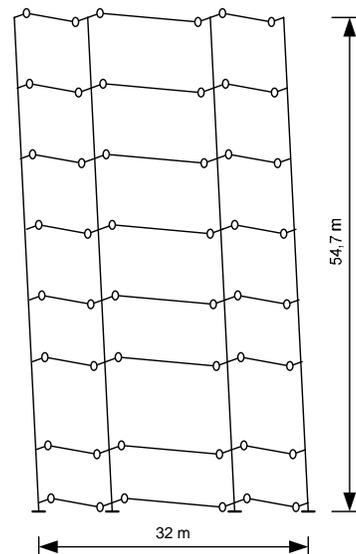


Gambar 2.2. Konfigurasi Denah Bangunan

Di dalam tugas akhir ini konstruksi rangka penahan momen terdiri dari konstruksi beton bertulang berupa balok, pelat lantai dan kolom yang bekerja bersama-sama dalam menahan gaya lateral akibat gempa.

c. Konfigurasi Keruntuhan Struktur

Perencanaan struktur di daerah gempa terlebih dahulu harus ditentukan elemen kritisnya. Mekanisme tersebut diusahakan agar sendi-sendi plastis terbentuk pada balok terlebih dahulu daripada kolom. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari adanya bahaya ketidakstabilan struktur akibat patahan pada kolom terjadi lebih dahulu dibandingkan balok strukturnya. Selain itu kolom lebih sulit untuk diperbaiki dibandingkan balok, sehingga harus dilindungi dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi. Konsep disain seperti ini sering disebut konsep disain *strong column weak beam*.



Gambar 2.3. Sendi-sendi plastis pada balok

2.2.3. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

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

a. Metode Analisis Statis

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

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- ✚ Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 meter.
- ✚ Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- ✚ Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- ✚ Sistem struktur bangunan gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang ataupun bukaan yang luasnya lebih dari 50 % seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu jumlahnya tidak boleh melebihi 20 % dari jumlah lantai seluruhnya.

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statis ekuivalen yang bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan. Disebut metode gaya lateral ekuivalen (*equivalent lateral force method*) dengan asumsi bahwa gaya-gaya gempa besarnya berdasar hasil perkalian suatu konstanta/massa dan elemen struktur tersebut.

b. Metode Analisis Dinamis

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan sebagaimana struktur gedung beraturan maka pengaruh gempa rencana harus diperhitungkan dengan analisa gempa dinamik. Analisis dinamik perlu dilakukan pada Gedung Apartemen Permata Berlian karena memiliki karakteristik sebagai berikut:

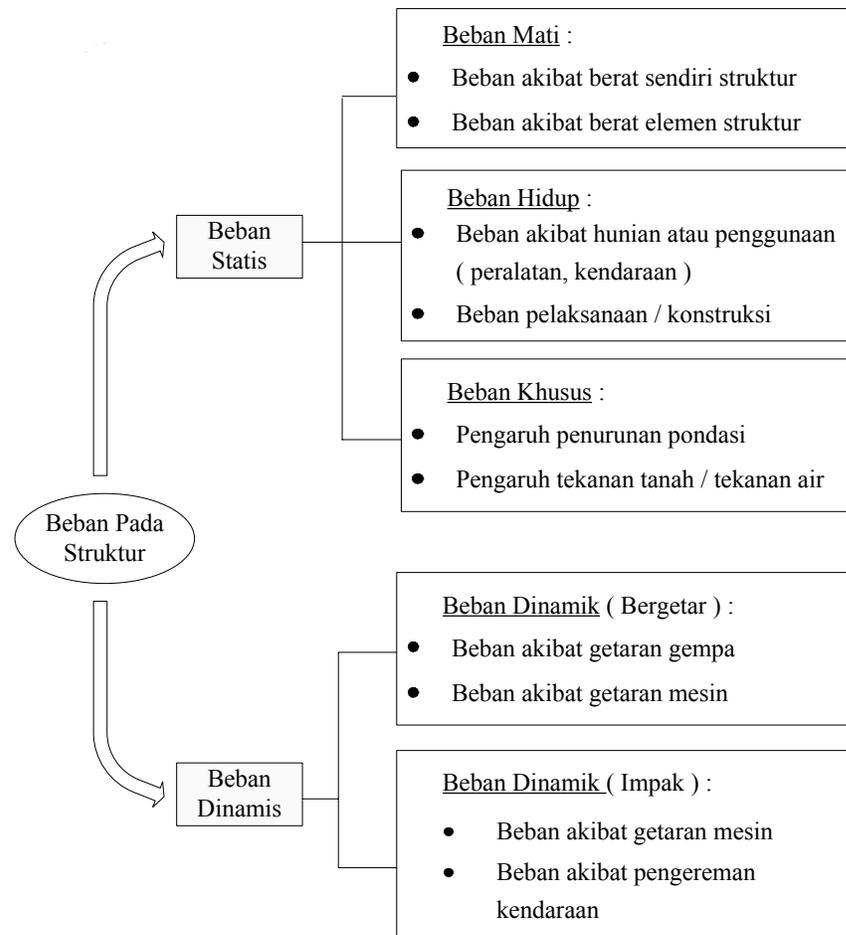
- ✚ Tinggi bangunan dari lantai *semi basement* sampai dengan lantai atap adalah 54,7 m
- ✚ Memiliki bukaan pada lantai 2 sebesar 31,25 %
- ✚ Sebagai analisis yang lebih akurat untuk memperhitungkan perilaku struktur akibat pengaruh gempa

Metode analisis dinamis ada dua jenis yaitu analisis respon dinamik riwayat waktu (*time history analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan analisis ragam spektrum respon (*spectrum modal analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dari spektrum respon rencana (*design spectra*).

2.3. Konsep Disain

2.3.1. Pembebanan

Secara umum, beban luar yang bekerja pada struktur Teknik Sipil dapat dibedakan menjadi beban statis dan beban dinamis.



Gambar 2.4. Beban pada Struktur Teknik Sipil

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada suatu struktur. Jenis dari beban statis adalah sebagai berikut :

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi. Berat satuan atau berat sendiri dari beberapa material konstruksi dan komponen

bangunan gedung dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 atau peraturan tahun 1987. Adapun berat satuan beberapa material disajikan pada tabel 2.1. dan tabel 2.2. sebagai berikut :

Tabel 2.1. Berat Material Konstruksi

Beban Mati	Besarnya Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Baja	7850 kg/m ³
Batu belah	1500 kg/m ³
Kayu	1000 kg/m ³

Tabel 2.2. Berat Sendiri Komponen Gedung

Beban Mati	Besarnya Beban
Atap genteng, usuk, dan reng	50 kg/m ²
Plafon dan Penggantung	18 kg/m ²
Adukan /cm tebal dari semen	21 kg/m ²
Pasangan bata setengah batu	250 kg/m ²
Penutup lantai dari keramik	24 kg/ m ²
Mekanikal dan elektrik	15 kg/m ²
Partisi	130 kg/m ²

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) dan beban ini bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau, bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat juga berarah horisontal. Beban hidup untuk bangunan gedung diberikan pada tabel 2.3. sebagai berikut.

Tabel 2.3. Beban Hidup pada lantai Struktur

Beban Hidup	Besarnya Beban
Lantai sekolah, perkantoran, apartemen, hotel, asrama, pasar, rumah sakit	250 kg/ m ²
Beban terpusat pekerja minimum	100 kg/m ²
Beban Hidup pada tangga dan bordes	300 kg/m ²
Lantai gedung parkir (Lantai bawah)	800 kg/m ²
Lantai ruang alat dan mesin	400 kg/m ²

3. Beban Tanah dan Air (*Soil and Water Load*)

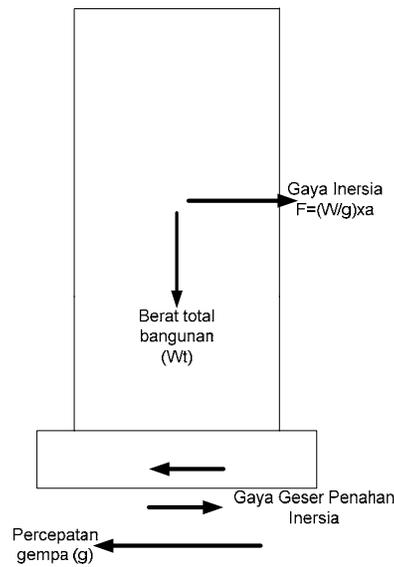
Struktur bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah seperti dinding penahan tanah, terowongan, dan ruang yang sebagian tertanam di tanah (*semi basement*), diperlukan penahan tekanan tanah lateral yang berupa tekanan tanah dan tekanan hidrostatik akibat dari pembebanan tanah dan air. Sedangkan pada pelat lantai *basement* akan mendapat pengaruh tekanan air ke atas (*uplift pressure*). Jika pada permukaan tanah di sekitar dinding *basement* tersebut dimuati, misalnya oleh kendaraan-kendaraan, maka akan terdapat tambahan tekanan lateral akibat beban kendaraan pada dinding.

Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya beban ini tidak bersifat tetap (*unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat.

1. Beban Dinamik/Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Pada saat bangunan bergetar akibat terkena gempa maka akan timbul gaya – gaya pada struktur bangunan gedung karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. Gaya – gaya yang timbul ini disebut inersia. Besar gaya – gaya tersebut tergantung pada beberapa faktor. Massa bangunan

merupakan faktor yang paling utama karena gaya tersebut terdistribusi, kekakuan struktur, kekakuan tanah, jenis pondasi, adanya mekanisme redaman pada bangunan dan tentu saja perilaku dan besar getaran itu sendiri (Daniel L. Schodek,1991).



Gambar 2.5. Gaya Inersia Akibat Gerakan Tanah Pada Benda Kaku

Meskipun konsep diatas pada awalnya telah membentuk dasar-dasar untuk disain terhadap gempa bumi, tetapi hanya merupakan penyederhanaan saja. Apabila fleksibilitas aktual yang dimiliki struktur diperhitungkan maka diperlukan model yang rumit untuk memprediksi gaya-gaya eksak yang timbul di dalam struktur sebagai akibat dari percepatan tanah.

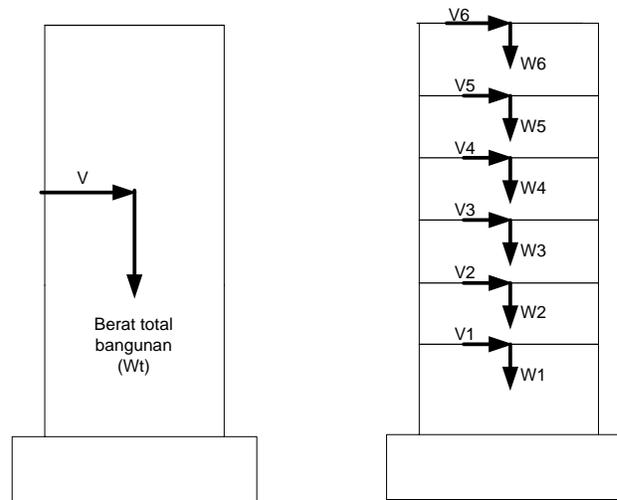
✚ Pengaruh Beban Gempa Horizontal

Pada bangunan gedung bertingkat, massa dari struktur dianggap terpusat pada lantai-lantai dari bangunan, dengan demikian beban gempa akan terdistribusi pada setiap lantai tingkat. Selain tergantung dari massa di setiap tingkat, besarnya gaya gempa pada suatu tingkat tergantung juga pada ketinggian tingkat tersebut dari permukaan tanah.

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

Berdasarkan pedoman yang berlaku di Indonesia yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002)., besarnya beban gempa horisontal V yang bekerja pada struktur bangunan yang dinyatakan sebagai berikut :



Gambar 2.6. Beban Gempa Pada Struktur Bangunan

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

Keterangan:

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

I : Faktor keutamaan struktur

R : Faktor reduksi gempa

W_t : Kombinasi dari DL + LL yang direduksi

✚ Pengaruh Beban Gempa Vertikal

Tinjauan perencanaan struktur terhadap pengaruh beban gempa arah vertikal dapat diabaikan, dengan anggapan bahwa elemen-elemen struktur telah direncanakan berdasarkan beban gravitasi yang arahnya vertikal ke bawah.

✚ Desain Kapasitas (*Capacity Design*)

Untuk mendapatkan struktur bangunan yang cukup ekonomis, tetapi tidak mengalami keruntuhan pada saat terjadi Gempa Kuat, maka sistem struktur harus direncanakan bersifat daktail dengan menggunakan cara Perencanaan Kapasitas. Pada prosedur Perencanaan Kapasitas ini, elemen-elemen dari struktur bangunan yang akan memancarkan energi gempa melalui mekanisme perubahan bentuk atau deformasi plastis. Pada struktur beton bertulang, tempat-tempat terjadinya deformasi plastis yaitu tempat-tempat dimana penulangan mengalami pelelehan, disebut daerah sendi plastis.

Terdapat dua jenis mekanisme kelelahan yang dapat terjadi pada sistem struktur portal akibat pembebanan gempa. Kedua jenis mekanisme kelelahan atau terbentuknya sendi-sendi plastis pada struktur portal adalah :

- a) Mekanisme Kelelahan Pada Balok (*Beam Sidesway Mechanism*), yaitu keadaan dimana sendi-sendi plastis terbentuk pada balok-balok dari struktur bangunan, akibat penggunaan kolom-kolom yang kuat (*Strong Column–Weak Beam*).
- b) Mekanisme Kelelahan Pada Kolom (*Column Sidesway Mechanism*), yaitu keadaan di mana sendi-sendi plastis terbentuk pada kolom-kolom dari struktur bangunan pada suatu tingkat, akibat penggunaan balok-balok yang kaku dan kuat (*Strong Beam–Weak Column*)

Pada perencanaan struktur portal daktail dengan metode Perencanaan Kapasitas, mekanisme kelelahan yang dipilih adalah *Beam Sidesway Mechanism*, karena alasan-alasan sebagai berikut:

- Pada *Column Sidesway Mechanism*, kegagalan dari kolom pada suatu tingkat akan mengakibatkan keruntuhan dari struktur bangunan secara keseluruhan.
- Pada struktur dengan kolom-kolom yang lemah dan balok-balok yang kuat (*strong beam- weak column*), deformasi akan terpusat pada tingkat-tingkat tertentu.

2.3.2. Perhitungan Beban Gempa pada Bangunan Gedung

1. Perhitungan Berat Bangunan (Wt)

Karena besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat dari struktur bangunan, maka perlu dihitung berat dari masing-masing lantai bangunan. Karena kemungkinan terjadinya gempa bersamaan dengan beban hidup yang bekerja penuh pada bangunan adalah kecil, maka beban hidup yang bekerja dapat direduksi besarnya.

Berdasarkan standar pembebanan yang berlaku di Indonesia, pengaruh beban gempa pada struktur bangunan gedung, beban hidup yang bekerja dapat dikalikan dengan faktor reduksi (ϕ) sebesar 0,5

2. Faktor Keutamaan Struktur (I)

Menurut SNI Gempa 2002, pengaruh Gempa Rencana harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan (I) menurut persamaan :

$$I = I_1 \cdot I_2 \quad (2.2)$$

I_1 = Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa selama umur rencana dari gedung.

I_2 = Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan umur rencana dari gedung tersebut.

Faktor keutamaan untuk berbagai kategori gedung / bangunan dapat diambil dari tabel 2.4. di bawah ini :

Tabel 2.4. Faktor Keutamaan untuk berbagai kategori gedung/bangunan

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I1	I2	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

3. Faktor Reduksi Gempa (R)

Faktor Reduksi Gempa yang besarnya dapat ditentukan menurut persamaan :

$$V_n = \frac{V_e}{R}, \text{ sehingga } R = \frac{V_e}{V_n} \quad (2.3)$$

Keterangan :

V_n = Pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur bangunan gedung

V_e = Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung elastik penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan.

R = Faktor reduksi, ($2,2 \leq R = \mu f_l \leq R_m$)

$R = 2,2$ merupakan faktor reduksi gempa untuk struktur bangunan gedung yang berperilaku elastik

f_l = Faktor kuat lebih beban dan bahan yang terkandung di dalam struktur gedung ($f \approx 1,6$)

μ = Faktor daktilitas struktur bangunan gedung

R_m = Faktor reduksi gempa maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur yang bersangkutan

Daktilitas Struktur adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Faktor Daktilitas Struktur adalah perbandingan/rasio antara simpangan maksimum dari struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisinya di ambang keruntuhan, dengan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan yang pertama pada elemen struktur.

Pada Tabel 2.5. dicantumkan nilai R untuk berbagai nilai μ yang bersangkutan, dengan ketentuan bahwa nilai μ dan R tidak dapat melampaui nilai maksimumnya.

Tabel 2.5. Parameter Daktilitas Struktur Gedung

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

Adapun nilai daktilitas maksimum (μ_m) dan faktor reduksi gempa maksimum (R_m) untuk beberapa sistem struktur gedung disajikan pada tabel 2.6. di bawah ini :

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

Tabel 2.6. Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f_1
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2,8	4,4	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3,6	5,6	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja	4,1	6,4	2,2
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4,0	6,5	2,8
	6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh	3,6	6,0	2,8
	7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8
3. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
	a. Baja	2,7	4,5	2,8
	b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8
4. Sistem ganda (Terdiri dari : 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral; 3) kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB saja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8
	2. RBE baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	c. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	4,0	6,5	2,8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	2,6	4,2	2,8
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
5. Sistem struktur gedung kolom kantilever (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	Sistem struktur kolom kantilever	1,4	2,2	2
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang biasa (tidak untuk Wilayah 3, 4, 5 & 6)	3,4	5,5	2,8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan)	1. Rangka terbuka baja	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3,3	5,5	2,8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh	4,0	6,5	2,8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8

4. Jenis Tanah Dasar

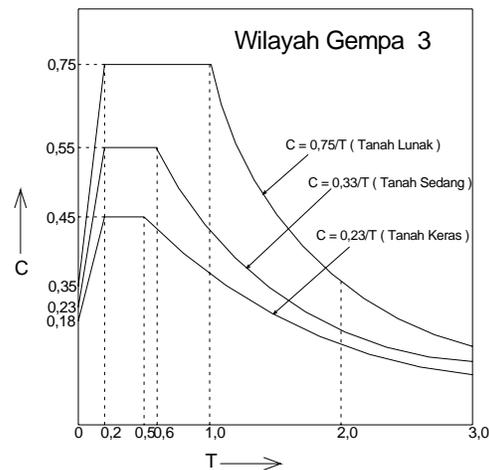
Menurut SNI Gempa 2002, jenis tanah ditetapkan sebagai Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak, apabila untuk lapisan setebal maksimum 30 m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam Tabel 2.7. sebagai berikut :

Tabel 2.7. 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		

5. Faktor Respon Gempa (C)

Setelah dihitung waktu getar dari struktur bangunan pada arah-X (T_x) dan arah-Y (T_y), maka harga dari Faktor Respon Gempa C dapat ditentukan dari Diagram Spektrum Respon Gempa Rencana



Gambar 2.7. Spektrum Respon Gempa Rencana untuk Wilayah Gempa 3

Berdasarkan SNI 03-1726-2002, Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun. Apartemen Berlian Jakarta berada pada wilayah gempa 3.

6. Beban Geser Dasar Nominal Akibat Gempa

Beban geser dasar nominal horisontal akibat gempa yang bekerja pada struktur bangunan gedung, dapat ditentukan dari rumus (2.1), sehingga didapatkan beban geser dasar dalam arah-X (V_x) dan arah-Y (V_y) adalah :

$$V_x = V_y$$

Selanjutnya beban gempa dasar (*base shear*) yang diperoleh didistribusikan ke struktur portal dan dilakukan analisis menggunakan program SAP 2000.

Asumsi yang dianut dalam perencanaan gedung apartemen berlian ini direncanakan sebagai sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dimana sistem struktur gedung direncanakan sebagai sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dimana beban lateral akibat gempa dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.

Gedung Apartemen Berlian berada di wilayah gempa 3 sehingga resiko terhadap gempa tergolong sedang, sehingga taraf kinerja struktur gedung direncanakan dengan sistem daktail parsial. Nilai reduksi gempa ($R = 5,5$) diambil berdasarkan tabel 2.6. point 3 sub 2 untuk taraf kinerja struktur gedung sistem daktail parsial dengan rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM). Daktail parsial adalah seluruh tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas diantara untuk struktur gedung yang elastik penuh sebesar 1,0 dan untuk struktur gedung yang daktail penuh sebesar 5,3. Dalam kenyataannya bahwa tidak semua jenis sistem struktur gedung mampu berperilaku daktail penuh dengan mencapai $\mu = 5,3$.

Untuk setiap sistem atau subsistem yang tercantum dalam tabel 2.5. tentu dapat dipilih nilai daktilitas (μ) yang lebih rendah dari nilai daktilitas maksimum (μ_m). Semakin rendah nilai μ yang dipilih semakin tinggi beban gempa yang akan diserap oleh struktur gedung tersebut, tetapi semakin sederhana (ringan) pendetailan yang diperlukan dalam hubungan-hubungan antar-unsur dari struktur tersebut. Sehingga hasil analisa unsur-unsur struktur seperti kolom, balok, pelat, dll semua pendetailannya harus memenuhi syarat-syarat untuk SRPMM sesuai dengan SK SNI03-xxx-2002. SRPMM adalah Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) juga memenuhi ketentuan-ketentuan pada pasal 23.2(2(3)) dan 23.10. Menurut *Applied Technology Council / ATC (1984)*, arah gempa yang sembarang dapat simulasikan dengan meninjau Beban Gempa Rencana yang disyaratkan oleh peraturan, bekerja dalam kedua arah utama struktur yang saling tegak lurus secara simultan, yaitu 100% pada satu arah dan 30% pada arah tegak lurus nya.

2.3.4. Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure Design*)

Struktur atas adalah struktur bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dari struktur sekunder dan struktur utama portal. Seluruh prosedur perhitungan mekanika / analisis struktur untuk struktur portal dilakukan dengan Metode Analisis Dinamis dengan bantuan program komputer *Structural Analysis Program* (SAP) 2000, sehingga akan didapatkan *output program* berupa gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur. Perencanaan struktur portal utama dilakukan dengan menggunakan prinsip *Strong Column Weak Beam*, yaitu dengan mengusahakan sendi-sendi plastis terjadi pada balok-baloknya.

Dalam menentukan kuat rencana suatu komponen struktur, maka kuat minimalnya harus direduksi dengan faktor reduksi kekuatan sesuai dengan sifat beban, hal ini dikarenakan adanya ketidakpastian kekuatan bahan terhadap pembebanan. Faktor reduksi ϕ menurut SNI 03-1726-2002 sebagai berikut :

Tabel 2.8. Faktor Reduksi Kekuatan

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi (ϕ)
Beban lentur tanpa gaya aksial	0,80
Gaya aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,80
Gaya aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur :	
• komponen struktur dengan spiral	0,70
• komponen struktur dengan tulangan biasa	0,65
Geser dan Torsi	0,75
Tumpuan pada Beton	0,65

Untuk menghitung komponen struktur terhadap beban lentur mengacu pada aturan SK SNI T-15-1991-03 didasarkan pada terpenuhinya kondisi seimbang dan kompatibilitas regangan yang ada.

A. Perencanaan Pelat

Pelat merupakan struktur kaku yang secara khas terbuat dari material monolit dengan dimensi tinggi / tebal yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan dimensi-lebarnya. Untuk merencanakan pelat beton bertulang perlu mempertimbangkan faktor pembebanan dan ukuran serta syarat-syarat dari peraturan yang ada. Pada perencanaan ini digunakan tumpuan jepit penuh untuk mencegah pelat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir dan juga di dalam pelaksanaan, pelat akan di cor bersamaan dengan balok.

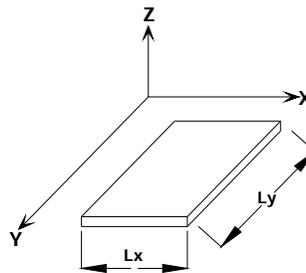
Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya.

Apabila $l_y/l_x \leq 3$ harus dianalisa sebagai struktur pelat dua arah,

Apabila $l_y/l_x > 3$ harus dianalisa sebagai struktur pelat satu arah.

l_y = panjang bentang arah y l_x = panjang bentang arah x

Dimensi bidang pelat dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.8. Dimensi bidang pelat

Langkah-langkah perencanaan penulangan pelat, sebagai berikut :

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan, dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal pelat lantai (berdasarkan ketentuan SK SNI 2002 ayat 11 butir 5 sub butir 3) dan melakukan cheking terhadap lendutan yang diijinkan.

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

$$h_{\min} = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2.7)$$

$$h_{\max} = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36} \quad (2.8)$$

l_n = bentang terpanjang

$$\beta = \frac{l_y}{l_x} \quad (2.9)$$

3. Menghitung kombinasi beban yang bekerja pada pelat, yang terdiri dari beban mati (DL) dan beban hidup (LL).

$$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

4. Melakukan analisa momen pelat dan maximum displacement dengan menggunakan metode *finite element* dengan bantuan program SAP 2000.

5. Menghitung kebutuhan luas tulangan pelat (A_s) dengan persamaan :

$$A_s = F \cdot b \cdot d \cdot R_I / f_y \quad (2.10)$$

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

$$\rho_{\min} = 14 / f_y \quad (2.11)$$

$$\rho_{\max} = \beta \left(\frac{4500}{6000 + f_y} \cdot \frac{R_I}{f_y} \right) \quad (2.12)$$

$$\beta = 0,85 \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ Mpa}$$

7. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(A_s = \rho \cdot b \cdot d) \quad (2.13)$$

B. Balok

Dalam mendesain penulangan balok gaya-gaya dalam maksimum diperoleh dengan bantuan SAP 2000 dimana konfigurasi faktor-faktor reduksi menggunakan ACI *code design* dengan menyesuaikan faktor reduksinya berdasarkan SNI 03-2847-2002.

Pendimensian Balok didesign berdasarkan panjang bentang antar kolom atau tumpuan yaitu :

$$h = \frac{1}{10}l \text{ sampai } \frac{1}{15}l \quad (2.14)$$

$$b = \frac{2}{3}h \quad (2.15)$$

Sumber : (Vis dan Kusuma,1997)

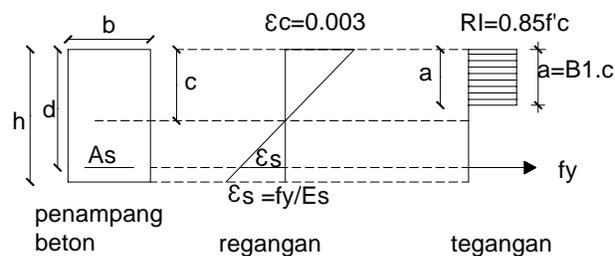
Keterangan :

l = jarak antar Kolom atau tumpuan

h = Tinggi balok

b = Lebar balok

✚ Perencanaan Lentur Murni Beton Bertulang



Gambar 2.9. Tegangan, regangan dan gaya yang terjadi pada perencanaan lentur murni beton bertulang

Dari gambar didapat:

$$c = d \cdot 0,003 / (0,003 + f_y / E_s)$$

$$a = B_1 \cdot c$$

$$E_s = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

Jadi :

$$a/B_1 = d \cdot 0,003 / (0,003 + f_y / 2 \cdot 10^5)$$

$$a = B_1 \cdot d \cdot 6000 / (6000 + f_y)$$

Jika a/d dalam keadaan *balanced* ini disebut F_b maka,

$$F_b = a/d \text{ balanced} = B_1 \cdot 6000 / (6000 + f_y) \quad (2.16)$$

Menurut Rancangan Standar Nasional Indonesia Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung Tahun 2002 untuk:

$$B_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ Mpa} \quad (2.17)$$

$$B_1 = 0,85 - 0,00714 (f_c' - 30) \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ Mpa,}$$

Pada Tugas Akhir ini digunakan $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, sehingga $B_1 = 0,85$ maka didapat:

$$F_b = 5100 / (6000 + f_y)$$

Jika melihat penampang normal yang menahan momen lentur M akan diperoleh :

Keseimbangan momen :

$$M_n = M_u / 0,8 \text{ (Momen ultimit yang tereduksi, dimana besarnya } \phi \text{ untuk lentur tanpa gaya aksial adalah sebesar } 0,8 \text{)} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} M_n &= R_I \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2), & \text{jika } a &= F \cdot d \\ &= R_I \cdot b \cdot F \cdot d \cdot (d - F \cdot d/2) \\ &= R_I \cdot b \cdot d^2 \cdot F \cdot (1 - F/2), & \text{jika } F \cdot (1 - F/2) &= K, \text{ maka} \\ &= K \cdot b \cdot d^2 \cdot R_I \end{aligned} \quad (2.19)$$

Sehingga diperoleh :

$$K = M_n / (b \cdot d^2 \cdot R_I) \quad (2.20)$$

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

$$\text{Dimana } RI = 0,85 \cdot f_c \quad (2.21)$$

$$\text{Dari } F \cdot (1 - F/2) = K$$

$$\text{akan diperoleh : } F^2 - 2 \cdot F + 2 \cdot K = 0$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K} \quad (2.22)$$

$$F_{\max} = B_1 \cdot 4500 / (6000 + f_y) \quad (2.23)$$

$$F_{\min} = 14 / RI \quad (2.24)$$

Jika $F < F_{\max}$ maka digunakan tulangan tunggal

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

Keseimbangan gaya :

$$RI \cdot b \cdot a = f_y \cdot A_s$$

$$A = f_y \cdot A_s / (RI \cdot b)$$

$$A_s = F \cdot b \cdot d \cdot RI / f_y$$

$$\rho = \frac{A_s \text{ terpasang}}{b \cdot d} \quad (2.25)$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \quad (2.26)$$

$$\rho_{\min} = 14 / f_y$$

$$\rho_{\max} = B_1 \left(\frac{4500}{6000 + f_y} \cdot \frac{RI}{f_y} \right)$$

Keterangan :

Mu = momen lapangan/tumpuan dari perhitungan SAP 2000

Mn = momen nominal yang dapat ditahan oleh penampang

b = lebar penampang beton

d = tinggi efektif beton

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

ρ = rasio luas tulangan terhadap luas efektif penampang beton

f_y = mutu tulangan

f_c' = mutu beton

A_s = luas tulangan terpasang

Adapun langkah-langkah perencanaan penulangan balok dapat ringkas sebagai berikut :

1. Menentukan dimensi balok berdasarkan jarak antar tumpuan
2. Menghitung momen dengan rumus :

$$M_n = M_u / \phi \quad (\phi = 0.85)$$

$$R_I = 0,85 \cdot f_c'$$

$$K = M_n / (b \cdot d^2 \cdot R_I)$$

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

$$F_{max} = B1.4500 / (6000 + f_y)$$

Jika $F < F_{max}$ maka digunakan tulangan tunggal

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

3. Tulangan Tunggal ($F < F_{max}$)

Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$A_s = F \cdot b \cdot d \cdot R_I / f_y$$

$$\rho = \frac{A_{s \text{ terpasang}}}{b \cdot d}$$

Kebutuhan luas tulangan disyaratkan sebagai berikut

$$(\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max})$$

4. Tulangan Ganda ($F > F_{max}$)

Analisa tulangan rangkap dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$$a. M_n = M_u / 0,8$$

$$b. M_n = M_1 + M_2 \quad (2.27)$$

$$c. M_1 = K_{max} \cdot b \cdot d^2 \cdot R_1 \quad (2.28)$$

$$d. R_1 = 0,85 f'c$$

$$e. F_{max} = \beta 1.4500 / (6000 + f_y)$$

$$f. K_{max} = F_{max} \cdot (1 - (K_{max} / 2)) \quad (2.29)$$

$$g. M_2 = M_u - M_1 \quad (2.30)$$

$$h. A_{s1} = F_{max} \cdot b \cdot d^2 \cdot R_1 / f_y \quad (2.31)$$

$$i. A_{s2} = M_2 / (f_y \cdot (d - d')) \quad (2.32)$$

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

Keterangan :

M_n = Momen nominal

M_u = Momen ultimit tumpuan / lapangan

M_1 = Momen yang ditahan oleh tulangan tarik

M_2 = Momen yang ditahan oleh tulangan tekan

A_s = luas tulangan total

5. Perhitungan Geser dan Torsi

Langkah-langkah perhitungan tulangan geser dan torsi berdasarkan SNI 03-1728-2002 pasal 13 yaitu

$V = V_u =$ gaya lintang, dari perhitungan SAP 2000

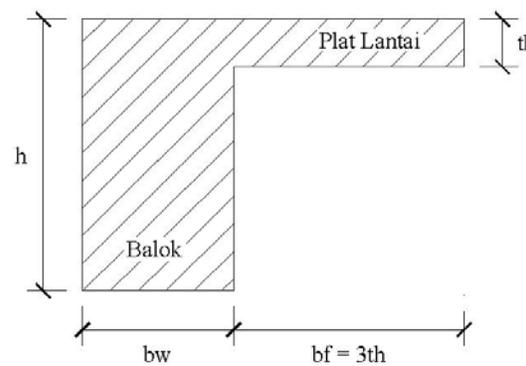
$T = T_u =$ Torsi, dari perhitungan SAP 2000

$t_h =$ tebal pelat lantai

$b_w =$ lebar web, lebar balok

$b_f =$ lebar flens

$h =$ tinggi penampang balok



Gambar 2.10. Penampang balok tepi dan pelat lantai

$$\Sigma x^2 y = (b_w^2 \cdot h) + ((3t_h)^2 \cdot t_h) \text{ untuk balok tepi} \quad (2.33)$$

$$\Sigma x^2 y = (b^2 \cdot h) + (2 \cdot (3t_h)^2 \cdot t_h) \text{ untuk balok tengah} \quad (2.34)$$

$$C_t = b \cdot d / \Sigma x^2 y \quad (2.35)$$

$$A_t = 0,66 + 0,33 \cdot Y_1 / X_1 < 1,5 \quad (2.36)$$

$$X_1 = b - 2p - \emptyset \text{ sengkang (p = tebal selimut beton)}$$

$$Y_1 = h - 2p - \emptyset \text{ sengkang}$$

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

$$T_{u \max} = \phi \frac{\frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot \sum x^2 \cdot y}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot Vu}{Ct \cdot Tu} \right)^2}} \quad (2.37)$$

$$T_{u \min} = \phi \cdot (\sqrt{f'c} / 20) \cdot \sum (x^2 y) \quad (2.38)$$

$$T_c = \frac{(\sqrt{f'c} / 15) \cdot \sum (x^2 y)}{\sqrt{1 + (0,4 / Ct)^2 \cdot (Vu / Tu)^2}} \quad (2.39)$$

$$T_u < T_{u \max}$$

$T_u < T_{u \min}$ maka torsi diabaikan dihitung berdasarkan V_u (geser) saja

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (2.40)$$

$$V_u < \phi \cdot V_c / 2 \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser} \quad (2.41)$$

\rightarrow dipakai tulangan praktis

$$V_u > \phi \cdot V_c / 2 \rightarrow \text{perlu tulangan geser} \quad (2.42)$$

$$V_s \max = 2/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (2.43)$$

$$V_s = V_n - V_c \quad (2.44)$$

$$V_s < V_s \max \dots\dots\dots \text{OK!}$$

Jika $V_u < \phi \cdot V_c \rightarrow$ perlu tulangan geser minimum

$$A_v = b \cdot s / 3 \cdot f_y \quad (2.45)$$

$$s = \dots\dots\dots < d/2,$$

dimana : s = jarak antar tulangan geser dalam arah memanjang (mm)

Jika $V_u > \phi \cdot V_c \rightarrow$ perlu tulangan geser

$$s = \frac{A_v \cdot d \cdot f_y}{V_s} \quad (2.46)$$

A_v = luas penampang 2 kaki tulangan geser(mm²)

Syarat :

$s < d / 4$ (pada daerah sendi plastis $\rightarrow y = d$)

$s < d / 2$ (pada daerah di luar sendi plastis $\rightarrow y = 2h$)

Jika $T_n < T_c$ maka penulangan torsi minimum

$$V_c = \frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left(\frac{T_u}{V_u}\right)^2 \left(\frac{C_t}{0,4}\right)^2}} \quad (2.47)$$

$V_u < \phi \cdot V_c / 2 \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser \rightarrow dipakai tulanga praktis.

$V_u > \phi \cdot V_c / 2 \rightarrow$ perlu tulangan geser

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$V_s \max = 2/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$V_s < V_s \max$$

s yang terkecil dari $(X_1 + Y_1)/4$ dan $s < 30$ cm

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

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

Batasannya :

$$4 \cdot 0,34 \cdot b_w \cdot s / f_y > A_v + 2A_t > 0,34 \cdot b_w \cdot s / f_y \quad (2.48)$$

$$A_l = 2 \cdot A_t (X_1 + Y_1) / s \quad (2.49)$$

Jika $T_n > T_c$ maka penampang cukup jika :

$$T_s = (T_n - \phi T_c) \leq 4 \cdot T_c \quad (2.50)$$

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

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

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$V_s \max = 2/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$V_s < V_s \max$$

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

$$T_s = T_u - \phi T_c$$

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

Tentukan s terkecil dari $(X_1 + Y_1)/4$ dan $s < 30$ cm

$$A_v + 2A_t > 2 \times 0,34 \cdot bw \cdot s/f_y$$

$$A_1 = 2 \cdot A_t (X_1 + Y_1)/s$$

$$A_1 = \left(\left(\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \right) \left(\frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3 \cdot C_t}} \right) - 2 \cdot A_t \right) \cdot \frac{(X_1 + Y_1)}{s} \quad (2.51)$$

Dipakai A_1 yang paling besar

Jika ada gaya aksial N_u maka:

$$T_c = \frac{(\sqrt{f'c}/15 \cdot \sum(x^2 y))}{\sqrt{1 + (0,4/C_t)^2 \cdot (V_u/T_u)^2}} \cdot (1 + 0,3 \cdot N_u / A_g) \quad (2.52)$$

$$V_c = \frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d}{\sqrt{1 + \left(\frac{T_u}{V_u}\right)^2 \left(\frac{C_t}{0,4}\right)^2}} \cdot (1 + 0 \cdot N_u / A_g) \quad (2.53)$$

N_u bernilai positif jika tekan dan bernilai negatif jika tarik

Keterangan :

V_u = gaya lintang pada penampang yang ditinjau.

V_n = kekuatan geser nominal

$V_n = V_c + V_s$

V_c = kekuatan geser nominal sumbangan beton

V_s = kekuatan geser nominal sumbangan tulangan geser

ϕ = faktor reduksi kekuatan = 0,75

T_c = momen torsi nominal yang diberikan oleh beton

T_n = momen torsi nominal

T_s = momen torsi nominal yang diberikan oleh tul geser

T_u = momen torsi terfaktor pada penampang

C. Kolom

Perhitungan kekuatan kolom didasarkan pada kemampuan kapasitas penampang kolom. Kapasitas penampang kolom beton bertulang dapat dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M yang menunjukkan hubungan beban aksial dan momen lentur pada kondisi batas. Setiap titik kurva menunjukkan kombinasi P dan M sebagai kapasitas penampang terhadap suatu garis netral tertentu.

Suatu kombinasi beban yang diberikan pada kolom tersebut bila diplotkan ternyata berada dalam diagram interaksi dari kolom yang dibuat maka beban tersebut dapat dipikul oleh kolom. Begitu juga sebaliknya apabila suatu kombinasi beban tersebut (P dan M) ada di luar diagram maka kapasitas kolom tidak memenuhi, sehingga dapat menyebabkan runtuh (Wiryanto Dewobroto, 2005). Sesuai dengan RSNI Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Gedung tahun 2002 pasal 12.3(5) besarnya gaya aksial dibatasi sebagai berikut:

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

Untuk kolom dengan spiral:

$$\phi P_{n_{\max}} = 0,85 \cdot \phi P_o \quad (2.54)$$

Untuk kolom dengan sengkang

$$\phi P_{n_{\max}} = 0,80 \cdot \phi P_o \quad (2.55)$$

dengan

$$P_o = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \quad (2.56)$$

Dimana :

P_n = gaya tekan nominal

P_o = gaya tekan axial sentris

A_g = luas penampang beton

A_{st} = luas total penampang tulangan memanjang

Untuk perhitungan, besarnya beban aksial dan momen ditentukan sebagai berikut (Wahyudi dan Rahim, 1997):

$$P_n = P_u / \phi$$

$$M_x = (\delta_{bx} M_{x2b} + \delta_{sx} M_{x2s}) / \phi \quad (2.57)$$

$$M_y = (\delta_{by} M_{y2b} + \delta_{sy} M_{y2s}) / \phi \quad (2.58)$$

M_x = momen arah sumbu x dari perhitungan SAP 2000

M_y = momen arah sumbu y dari perhitungan SAP 2000

Kapasitas kolom akibat lentur dua arah (*biaxial bending*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Boris Bresler berikut ini (Wahyudi dan Rahim, 1997) :

Untuk $P_n > 0,1 P_{no}$

$$\frac{1}{P_u} = \frac{1}{P_{ux}} + \frac{1}{P_{uy}} - \frac{1}{P_{uo}} \quad \text{atau}$$

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{no}} \quad (2.59)$$

dimana:

P_{ux} = Beban aksial arah sumbu x pada saat eksentrisitas tertentu

P_{uy} = Beban aksial arah sumbu y pada saat eksentrisitas tertentu

P_{uo} = Beban aksial maksimal

Sedangkan untuk $P_n < 0,5P_{no}$ dapat digunakan rumus :

$$\frac{M_{ux}}{M_x} + \frac{M_{uy}}{M_y} \leq 1 \quad \text{atau}$$

$$\frac{M_{nx}}{M_{ox}} + \frac{M_{ny}}{M_{oy}} \leq 1 \quad (2.60)$$

Pengembangan dari persamaan di atas menghasilkan suatu bidang runtuh tiga dimensi dimana bentuk umum tak berdimensi dari metode ini adalah (Nawi, 1998) :

$$\left(\frac{M_{nx}}{M_{ox}} \right)^{\alpha_1} + \left(\frac{M_{ny}}{M_{oy}} \right)^{\alpha_2} = 1 \quad (2.61)$$

Besarnya α_1 dan α_2 menurut Bresler dapat dianggap sebesar 1,5 untuk penampang bujur sangkar, sedangkan untuk penampang persegi panjang nilai α bervariasi antara 1,5 dan 2,0 dengan harga rata-rata 1,75 (Wahyudi dan Rahim, 1997).

Dalam analisa kolom biaksial, dapat dilakukan konversi dari momen biaksial yang terdiri dari momen dua sumbu menjadi momen satu sumbu. Penentuan momen dan sumbu yang berpengaruh dengan penyederhanaan load contour (CBA) untuk disain penampang simetris adalah sebagai berikut (Nawy, 1998):

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

Untuk $M_{ny}/M_{nx} > b/h$

$$M_y' = M_{ny} + M_{nx} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{1-\beta}{\beta} \quad (2.62)$$

Untuk $M_{ny}/M_{nx} \leq b/h$

$$M_x' = M_{nx} + M_{ny} \cdot \frac{h}{b} \cdot \frac{1-\beta}{\beta} \quad (2.63)$$

$$M_{nx} = M_{ux}/\emptyset$$

$$M_{ny} = M_{uy}/\emptyset$$

$$\emptyset = 0,65$$

$$\beta = 0,65$$

Kolom dapat dinyatakan sebagai kolom pendek bila (RSNI Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Gedung tahun 2002) :

Untuk kolom tak bergoyang :

$$\frac{k\ell_u}{r} < \left[34 - \frac{12 \cdot M_1 b}{M_2 b} \right] \quad (2.64)$$

Dengan M_{1b} dan M_{2b} adalah momen ujung berfaktor dari kolom, dengan $M_{1b} < M_{2b}$. Bila faktor momen kolom = 0 atau $M_u / P_u < e_{\min}$, harga M_{2b} harus dihitung dengan eksentrisitas minimum,

$$e_{\min} = (15 + 0,03h) , \text{ dengan } h \text{ dalam mm.} \quad (2.65)$$

Untuk kolom bergoyang :

$$\frac{k\ell_u}{r} < 22 \quad (2.66)$$

dimana:

k = faktor panjang efektif komponen tekan

 ℓ_u = panjang kolom

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

$$r = \text{radius girasi} = \sqrt{\frac{I_g}{A}} \quad (2.67)$$

$$A = b \cdot h$$

M_{1b} = momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan tunggal, negatif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan ganda

M_{2b} = momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan; selalu bernilai positif

Besarnya k didapat dari nomogram Jackson dan Moreland (Nawi, 1998) yang bergantung dari besarnya perbandingan kekakuan semua batang tekan dengan semua batang lentur dalam bidang (ψ).

$$\psi = \frac{\sum (EI / \lambda_u)_{kolom}}{\sum (EI / \lambda_n)_{balok}} \quad (2.68)$$

Apabila tidak menggunakan nomogram, besarnya k dapat dihitung dengan menggunakan ((Nawi, 1998) dan (Udiyanto, 2000)) :

Untuk kolom tak bergoyang :

$$k = 0,7 + 0,05(\psi_A + \psi_B) \leq 1,0 \quad (2.69)$$

$$k = 0,85 + 0,05\psi_{\min} \geq 1,0 \quad (2.70)$$

Untuk kolom bergoyang :

$$k = \frac{20 - \psi_A}{20} \sqrt{1 + \psi_{rata-rata}} \quad , \text{ untuk } \psi_{rata-rata} < 2 \quad (2.71)$$

$$k = 0,9 \sqrt{1 + \psi_{rata-rata}} \quad , \text{ untuk } \psi_{rata-rata} \geq 2 \quad (2.72)$$

Apabila syarat tersebut terpenuhi maka pengaruh kelangsingan dapat diabaikan. Jika syarat tersebut tidak terpenuhi maka didefinisikan sebagai kolom langsing dan analisa yang perlu dilakukan terhadap kolom langsing adalah :

1. Metode Pembesaran Momen (Momen Magnification Method)

2. Analisis Orde Kedua, jika $\frac{k\ell_u}{r} \geq 100$

Metode pembesaran momen (*moment magnification method*), dimana desain kolom tersebut didasarkan atas momen yang diperbesar:

$$M_c = \delta M_2 = (\delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s}) \quad (2.73)$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - P_u / 0,75 P_c} \geq 1 \quad (2.74)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \sum P_u / 0,75 \sum P_c} \geq 1 \quad (2.75)$$

dimana

δ_b = faktor pembesar untuk momen yang didominasi oleh beban gravitasi M_{2b}

δ_s = faktor pembesar terhadap momen ujung terbesar M_{2s} akibat beban yang menyebabkan goyangan besar

$$P_c = \text{beban tekuk Euler} = \pi^2 EI / (k\lambda_u)^2 \quad (2.76)$$

P_u = beban aksial pada kolom

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 \quad (2.77)$$

dimana $M_1 \leq M_2$

atau C_m diambil sama dengan 1,0 apabila kolom braced frame dengan beban transversal atau $M_2 < M_{2min}$

Untuk nilai EI dapat digunakan persamaan :

$$EI = \frac{(E_c I_g / 5) + E_s / I_s}{1 + \beta_d}$$

atau dapat disederhanakan menjadi :

$$EI = \frac{0.4E_c I_g}{1 + \beta_d} \quad (2.78)$$

Dimana

$$\beta_d = \text{momen beban mati rencana} / \text{momen total rencana} \leq 1,0$$

✚ Design Tulangan Kolom

Perencanaan penulangan longitudinal kolom didasarkan menurut grafik pada Buku Grafik dan Tabel Perencanaan Beton Bertulang Grafik (Ir.W.C.Vis dan Ir.Gideon H. Kusuma, M.Eng).

Untuk perancangan tulangan geser pada kolom didasarkan pada persamaan

$$V_c = 0,17 (1 + 0,073.N_u / A_g) \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \quad (2.79)$$

$$(2/3) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \geq (V_n - V_c) \quad (2.80)$$

Dimana :

V_n adalah Gaya geser nominal ($V_c + V_s$)

V_c adalah Gaya geser sumbangan dari beton

Perencanaan spasi tulangan geser juga perlu dibatasi oleh jarak antara tulangan geser maksimum sebagai berikut :

$$\text{Jika } V_s \leq \left(\frac{2}{3}\sqrt{f'_c}\right)bw.d, \text{ maka } s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600$$

$$\text{Jika } V_s > \left(\frac{2}{3}\sqrt{f'_c}\right)bw.d, \text{ maka } s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 400$$

Dimana :

s = spasi antara tulangan geser

V_s = kekuatan geser sumbangan dari tulangan geser

b_w = lebar penampang kolom

d = tinggi efektif penampang kolom

Adapun langkah-langkah perencanaan penulangan Kapasitas kolom akibat lentur dua arah (*biaxial bending*) dapat ringkas sebagai berikut :

1. Menentukan momen (M_{ux} dan M_{uy}) dan gaya aksial (P_u) yang mewakili dari hasil perhitungan SAP 2000
2. Menghitung nilai $P_n = P_u / \phi$ dimana $\phi = 0,65$
3. Menghitung nilai M_n dengan penyederhanaan rumus *load contour* (CBA)
4. Menghitung nilai $e = M_n / P_n > e_{min}$
5. Menghitung tulangan longitudinal kolom

Untuk mendapatkan $\rho = r \cdot \beta$

($f'_c \leq 30 \text{ Mpa}$; $\beta = 0,85$).

Nilai r didapat dengan bantuan grafik 9.9 pada buku CUR (Vis Kusuma dan Gideon)

$$S_b y = \frac{P_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 f'_c} \geq 0,1 \quad \phi = 0,65 \quad (2.81)$$

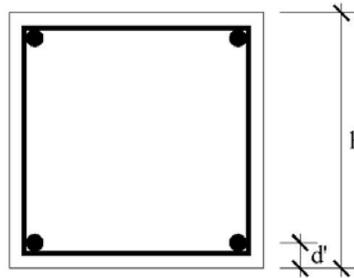
$$S_b x = \frac{P_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 f'_c} \cdot \frac{e_t}{h} \quad (2.82)$$

$$e_t = \frac{M_n}{P_n} \quad (2.83)$$

$$d'/h \cong 0,15$$

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta



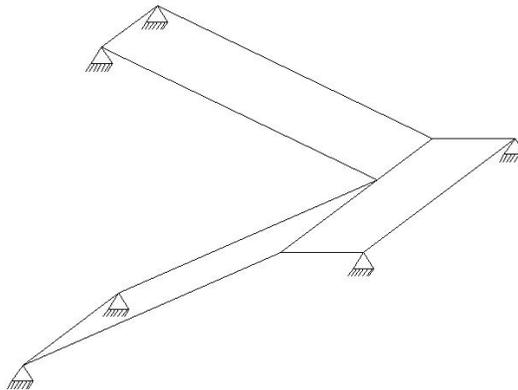
6. Luas tulangan longitudinal $A_{st} = \rho \cdot A_{gr}$
7. Kontrol kekuatan penampang dari kolom (tinjau biaxial bending)
8. Mengontrol persyaratan daktilitas “strong column weak beam” berdasarkan ketentuan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dari peraturan SNI 03-2002 (pasal 23.10).

$$P_u > \frac{A_g \cdot f'_c}{10} \quad (2.84)$$

D. Tangga

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

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



Gambar 2.11. Sketsa tangga

Analisa gaya dalam (khususnya momen) pada pelat tangga dan pelat bordes dilakukan seperti halnya analisa pelat lantai yaitu dengan menggunakan *Finite Element Method* dengan bantuan program SAP 2000.

Tinjauan momen maksimum pada joint area yang ditinjau dianggap mewakili sepanjang sumbu joint tersebut, sehingga tinjauan tidak dilakukan berdasarkan per-elemen area (tiap-tiap jalur mesh).

Untuk perhitungan penulangan pelat tangga dan pelat bordes dilakukan sama seperti analisa pada pelat, sedangkan untuk perencanaan balok tangga dilakukan analisa seperti halnya analisa perencanaan balok, dimana tulangan geser dibutuhkan jika $V_u > \phi V_c$.

E. Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia di dalam gedung dari satu tingkat ke tingkat lainnya, yang berupa rungan naik/turun.

Dalam perencanaan *lift*, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat *lift* dan perhitungan balok penggantung katrol *lift*. Perhitungan konstruksi tempat *lift* meliputi :

1. Ruang tempat mesin *lift*, terdiri dari mesin *lift* penarik kereta dan beban pemberat / penyeimbang yang diletakkan pada bagian atap bangunan.
2. Beban *lift* beserta perangkatnya ditahan oleh dinding geser dan balok penggantung lift.
3. Ruang landasan diberi kelonggaran supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan.

Analisa balok yang menahan gaya Resultan akibat beban *Machine Room* dilakukan dengan SAP 2000 pada saat perhitungan portal 3D. Analisa perhitungan penulangan dilakukan seperti halnya rumus pada perhitungan balok.

F. Perencanaan Ruang *Semi basement*

Struktur *semi basement* pada perencanaan ini difungsikan sebagai lahan parkir. Pada perencanaan ini struktur *semi basement* yang direncanakan meliputi dinding dan pelat lantai.

Perhitungan penulangan pelat dilakukan berdasarkan hasil analisa momen positif dan negatif maksimum pelat menggunakan *metode finite element* dengan program bantu SAP 2000. Pemodelan pada SAP 2000 dilakukan pemodelan 2D dengan permukaan bidang dinding dikenai beban tanah melalui *option - surface pressure* setelah

mendefinisikan *joint pattern* membentuk pola pembebanan segitiga akibat pembebanan tanah.

Perhitungan penulangan dinding *semi basement* dianggap sebagai *shear wall* dengan tumpuan dijepit pada *poer* pondasi tiang pancang dan sloof. Sedangkan lantai *semi basement* dihitung sebagai pelat. Perencanaan penulangan *semi basement* dilakukan sebagai berikut :

1. Menentukan momen (M_u) dan gaya aksial (P_u) yang mewakili dari hasil perhitungan SAP 2000.
2. Menghitung nilai $e_o > e_{\min}$

$$e_o = \frac{M_u}{P_u}$$

3. Mencari nilai kapasitas tekan (P_{cr})

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_c \cdot I_g}{L_k}$$

$$L_k = 0,5L \text{ (Kondisi terjepit pada dua sisi)}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \qquad I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

4. Menghitung tulangan longitudinal

Untuk mendapatkan $\rho = r \cdot \beta$

($f'_c \leq 30 \text{ Mpa}$; $\beta = 0,85$).

Nilai r didapat dengan bantuan grafik 9.9 pada buku CUR (Vis Kusuma dan Gideon)

$$S_b y = \frac{P_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 f'_c} \geq 0,1 \qquad \phi = 0,65 \qquad e_t = \frac{M_u}{P_u}$$

$$S_b x = \frac{P_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 f'_c} \cdot e_t$$

$$d'/h \cong 0,15$$

5. Luas tulangan longitudinal $A_{st} = \rho \cdot b \cdot h$

h = tebal dinding

b = lebar dinding diambil 1m

2.3.5. Perencanaan Struktur Bawah (*Sub Structure Design*)

Berdasarkan data tanah hasil penyelidikan, beban-beban yang bekerja dan kondisi sekitar proyek, telah dipilih gedung Apartemen Permata Berlian menggunakan pondasi tiang pancang.

Pemilihan sistem pondasi ini didasarkan atas pertimbangan :

1. Beban yang bekerja cukup besar.
2. Pondasi tiang pancang dibuat dengan sistem sentrifugal, menyebabkan beton lebih rapat sehingga dapat menghindari bahaya korosi akibat rembesan air.
3. Pondasi yang digunakan cukup banyak, sehingga penggunaan tiang pancang prategang merupakan pilihan terbaik.
4. Berdasarkan data *Boring Log*, DB-1 kedalaman tanah keras terletak pada kedalaman 30,5 m, sedangkan pada data DB-2 kedalaman tanah keras terletak pada kedalaman 32,5 m.

A. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Daya dukung pondasi tiang pancang pada tugas akhir ini dihitung berdasarkan data NSPT dari *Boring Log* sehingga beban dipikul oleh tanah melalui daya dukung tanah di ujung tiang.

1. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

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

2. Berdasarkan kekuatan bahan

Menurut tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung SNI – 2002, kuat tumpu rencana (P) pada beton dihitung dengan rumus

$$P \leq \phi \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot A) \quad (2.85)$$

Dimana :

$$\phi = 0,8$$

A = luas penampang tiang pancang

P = kapasitas beban tiang pancang

3. 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, biasanya dilakukan pada tanah kohesif dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung keras. Perhitungan tiang pancang didasarkan pada tahanan ujung dan hambatan pelekat, persamaan daya dukung yang diijinkan adalah :

Dengan menggunakan rumus *Begemann* :

$$P = \frac{q_c \cdot A}{3} + \frac{TF \cdot O}{5} \quad (2.86)$$

Keterangan :

q_c = nilai unsur resistance

A = luas penampang tiang

TF = jumlah tahanan geser

3 & 5 = faktor keamanan

O = $\pi \cdot D$; (D = diameter tiang pancang)

Nilai q_c dan TF didapatkan dari hasil data sondir tanah

4. Berdasar Daya Dukung Tanah (N- SPT)

Perhitungan kapasitas dukung tiang terhadap gaya desak didasarkan pada dua metode :

I. Metode Broms

Kapasitas dukung tiang pancang didasarkan pada tahanan gesek tiang dan tahanan ujung ultimit.

a. Rumus Tahanan Gesek Tiang :

$$Q_s = \sum A_s \cdot K_d \cdot t_g \cdot \delta \cdot \bar{P}_o \quad (2.87)$$

Dimana :

Q_s = Tahanan gesek ultimit tiang (kN)

A_s = luas selimut tiang = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D \cdot h^2$

h = kedalaman yang ditinjau tiap 2 m

K_d = koefisien tekanan tanah yang bergantung pada kondisi tanah

δ = sudut gesek dinding efektif antara dinding tiang dan tanah

\bar{P}_o = tekanan vertikal efektif rerata di sepanjang tiang

b. Tahanan Ujung Ultimit (Q_b)

Persamaan tahanan ujung ultimit (Q_b) untuk tiang pancang menurut *Broms* adalah :

$$Q_b = A_b \cdot P_o \cdot N_q \quad (2.88)$$

dimana :

Q_b = tahanan ujung ultimit (kN)

P_o = tekanan vertikal efektif pada ujung tiang (kN/m²)

N_q = faktor kapasitas dukung, diperoleh dari **gambar 2.14** (HCH-Teknik Fondasi II)

A_b = luas dasar tiang pancang (m²) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$

c. Kapasitas dukung ijin tiang

$$P_{all} = \frac{Q_b}{SF1} + \frac{Q_s}{SF2} - W_p \quad (2.89)$$

II. Metode Suyono

Daya dukung tiang pancang pada tanah pondasi diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang dan dirumuskan sebagai berikut :

$$R_u = (q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i \cdot f_i) \cdot n \quad (2.90)$$

R_u = daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)

q_d = daya dukung terpusat tiang (ton)

A = Luas ujung tiang (m^2)

U = Keliling penampang tiang (m)

l_i = Tebal lapisan tanah yang ditinjau

f_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m^2) yang sesuai dengan tabel 4.50.

5. 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 geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi.

$$Eff = 1 - \frac{\varphi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right] \quad (2.91)$$

Dimana :

m : jumlah baris

n : jumlah tiang

φ : $\arctan(d/s)$, dalam derajat

d : diameter tiang

s : jarak antar tiang

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

Adapun jarak antar as tiang dalam kelompok, menurut Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L. disyaratkan :

Syarat jarak tiang as-as	Syarat jarak as tiang ke tepi
$2,5 D \leq s \leq 4 D$ D = diameter tiang pancang	$s \geq 1,25 D$

6. Pmax Yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P_{\max} = \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{n_y \Sigma y^2} \pm \frac{M_y \cdot X_{\max}}{n_x \Sigma x^2} \quad (2.92)$$

Dimana :

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

ΣP_v : jumlah beban vertikal

n : banyaknya tiang pancang

M_x : momen arah X

M_y : momen arah Y

X_{\max} : absis max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang

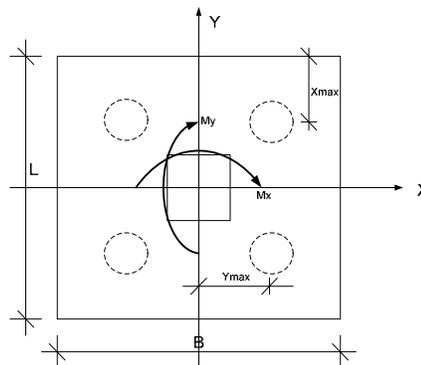
Y_{\max} : ordinat max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang

N_x : banyak tiang dalam satu baris arah x

N_y : banyak tiang dalam satu baris arah y

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

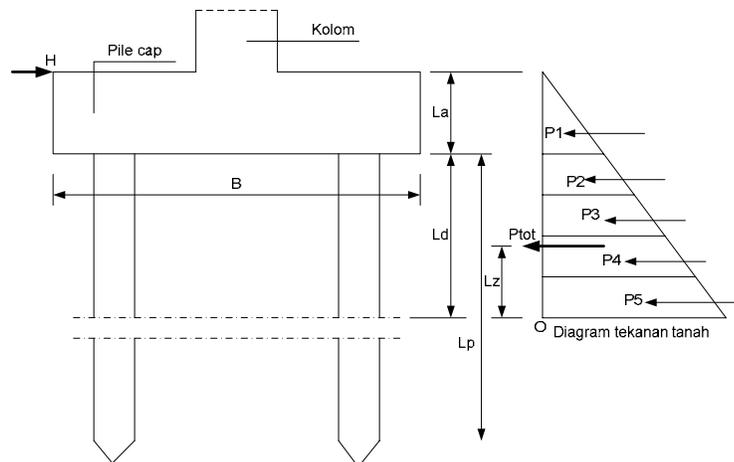
Σx^2 : jumlah kuadrat jarak arah X (ordinat – ordinat) tiang



Gambar 2.12. Notasi pada Lay Out Pile cap

7. Kontrol Gaya Horizontal (H)

Perhitungan menurut *Foundation of Structure oleh Dun Hanma*, tiang akan terjepit sempurna pada kedalaman (L_d) = $(1/4 - 1/3) \cdot L_p$



Gambar 2.13. Tekanan Tanah Pasif Pada Pondasi Tiang

Keterangan :

L_d = kedalaman titik jepitan

L_p = panjang tiang yang masuk sampai kedalaman tanah keras

L_z = jarak titik tangkap gaya

L_a = tebal *pile cap*

H = gaya horizontal

P = gaya tekanan tanah pasif

P_{tot} = *resultante* dari gaya-gaya P

B = lebar *poer*

Dari keseimbangan momen didapatkan :

$\Sigma M = 0$ (ditinjau terhadap titik o)

$H \cdot (L_a + L_d) - P_{tot} \cdot L_z = 0$

$H = (P_{tot} \cdot L_z) / (L_a + L_d) > H_u$ (2.93)

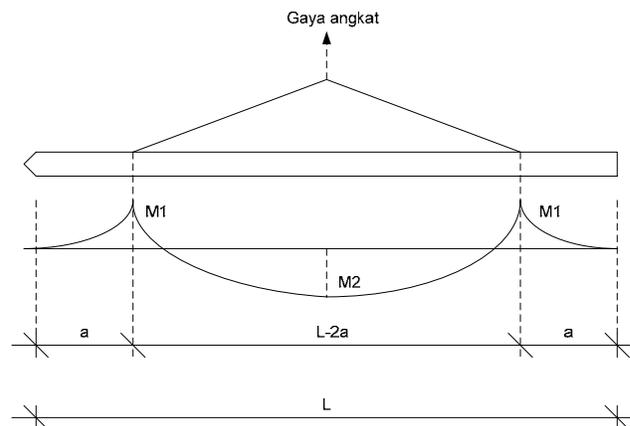
H_u = gaya horizontal pada kolom *semi basement* dari perhitungan SAP 2000

8. Penulangan Tiang Pancang

Penulangan Tiang Akibat Pengangkatan. Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kebutuhan pada waktu proses pengangkatan, yaitu :

➤ Kondisi 1

Pengangkatan tiang di dua titik



2.12. Pengangkatan *Pile* di dua titik

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

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

$$M_1 = M_2$$

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

$$4a^2 + 4aL - L^2 = 0 \quad (2.97)$$

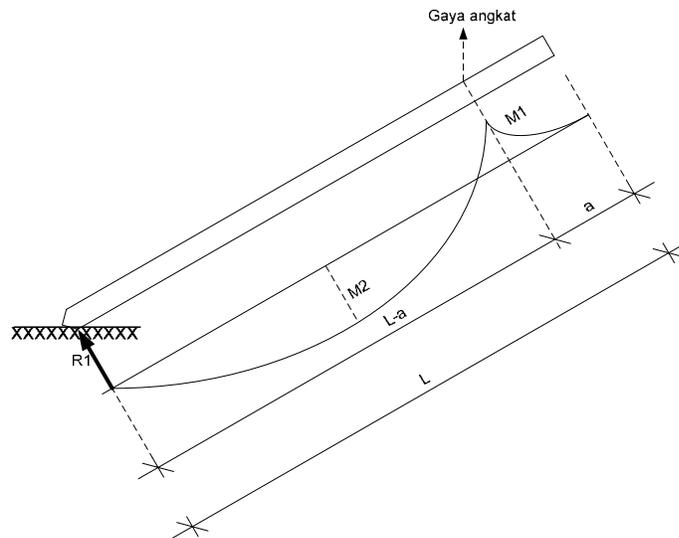
$$M_1 = M_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 \quad (2.98)$$

$$q = A_{tiang} \cdot \gamma_b$$

$$Vu_{\max} = q(1/2 \cdot L - a) \quad (2.99)$$

➤ **Kondisi 2**

Penggangkatan tiang di satu titik

**Gambar 2.14.** Pengangkatan *Pile* di satu titik

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

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

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

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

$$R_1 - qx = 0$$

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

$$\begin{aligned} M \text{ max} &= M_2 = R_1 \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right) - \frac{1}{2} q \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{q(L^2 - 2aL)}{2(L-a)} \end{aligned}$$

$$M_1 = M_2$$

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

$$2a^2 - 4aL + L^2 = 0 \quad (2.100)$$

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{2} \cdot qa^2 \quad (2.101)$$

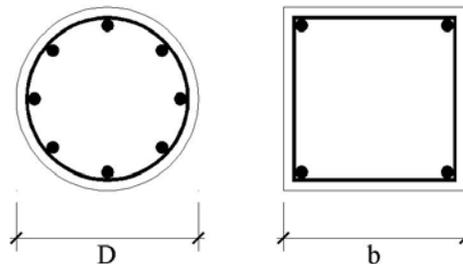
$$Vu_{\max} = q \cdot (L - a) \quad (2.102)$$

Keterangan :

Desain penulangan tiang pancang diambil berdasarkan momen terbesar dari dua cara pengangkatan di atas

9. Penulangan didasarkan pada analisa penampang

Menurut buku Menghitung Beton Bertulang oleh Ir. Udiyanto, penampang pondasi tiang pancang dengan penampang lingkaran dapat dianalogikan sebagai bujur sangkar dengan dimensi sebagai berikut :



Gambar 2.15. Ekuivalensi penampang tiang pancang lingkaran sebagai penampang bujur sangkar

Dimana :

D = diameter tiang pancang

b = 0,88.D (2.103)

Selanjutnya berlaku rumus seperti perhitungan tulangan penampang persegi.

10. Penulangan Geser

Jarak antar tulangan spiral :

$$s = 5 \text{ cm, syarat } 2,5 \text{ cm} < s < 8 \text{ cm.}$$

Check rasio penulangan spiral :

$$\rho_{s,\min} = 0,45 \cdot (A_g / A_c - 1) \cdot f'_c / f_y$$

$$A_g = \text{luas bruto} \quad A_c = \text{luas core inti spiral}$$

$$\rho_s = 4 \cdot A_{s \text{ terp}} / (d \cdot s)$$

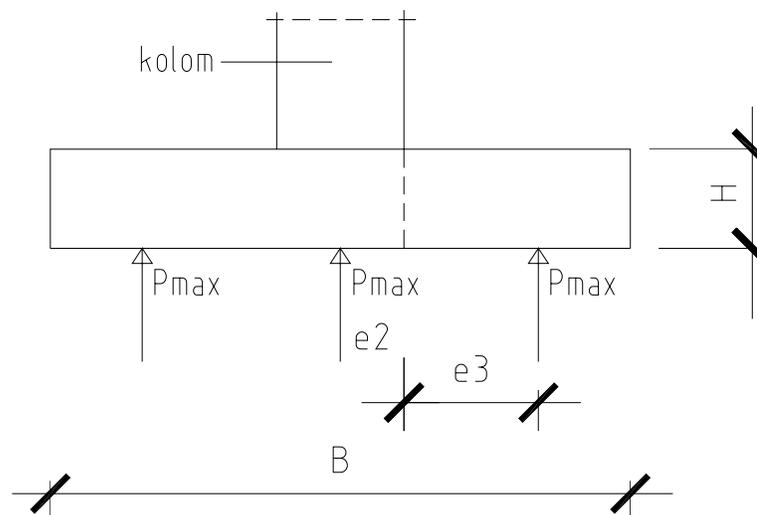
d = tinggi efektif

s = jarak antar tulangan spiral

B. Perencanaan *Pile cap*

1. Penulangan *Pile Cap*

Besarnya momen yang bekerja pada *poer / pile cap* dapat dilihat pada gambar 2.16. di bawah ini :



Gambar 2.16. Mencari Nilai Momen untuk Penulangan *Pile cap*

$$M_u = P_{\max} \cdot e_3 \quad (2.104)$$

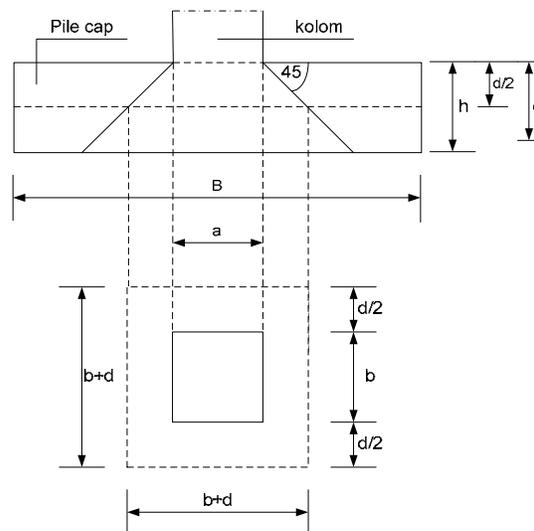
P_{\max} = beban maksimum yang diterima 1 tiang pancang

$$M_n = M_u / \phi; \quad \text{dimana } \phi = 0,8$$

Selanjutnya berlaku rumus seperti perhitungan tulangan persegi dengan tulangan *double* dimana lebar (b = lebar *poer*)

2. Kontrol Terhadap Tegangan Geser *Pons*

Menurut buku Menghitung Beton Bertulang oleh Ir. Udiyanto, tegangan geser *pons* dari pelat dapat terjadi disekitar beban terpusat atau disekitar reaksi tumpuan terpusat, ditentukan antara lain oleh tahanan tarik beton dibidang kritis yang berupa piramida atau kerucut terpancung disekitar beban atau reaksi tumpuan terpusat tersebut yang akan berusah lepas dan menembus pelat. Bidang kritis untuk perhitungan geser *pons* dapat dianggap tegak lurus pada bidang pelat dan terletak pada jarak $d/2$ dari keliling beban (reaksi) terpusat yang bersangkutan, dimana d = tinggi efektif pelat. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.17. di bawah ini :



Gambar 2.17. Mencari Nilai Momen Penulangan *Pile cap*

Perhitungan untuk penulangan geser *pons* adalah sebagai berikut :

$$d = h - p - \frac{1}{2} \phi_{tulangan}$$

= tinggi efektif *pile cap*

p = selimut beton

$$bo = 4.(b + d)$$

= keliling penampang kritis

Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta

$$Bc = \frac{a}{b}, \quad \text{jika } a = b, \text{ maka } Bc = 1$$

= rasio perbandingan lebar dan tebal penampang kolom

$$Vc = \left(1 + \frac{2}{Bc}\right) \cdot \frac{\sqrt{f'c}}{6} \cdot bo \cdot d \leq \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot bo \cdot d \quad (2.105)$$

$Vu \leq \phi Vc$ maka tebal pelat cukup dan tidak memerlukan tulangan Geser

$$\phi = 0,6$$

$$Vu \leq 0,6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot bo \cdot d$$

$$d = \frac{Vu}{0,6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot bo} \quad (2.106)$$

Maka tebal *pile cap* (h) :

$$h = d + p + 1/2 \phi_{tul}$$

Kebutuhan tulangan geser *pons* disyaratkan jika :

$$Vu > \phi Vc$$

Jika dipasang tulangan geser *pons* berupa sengkang berlaku rumus :

$$Av = (Vu - \phi Vc) / (\phi \cdot fy \cdot d) \quad (2.107)$$

$$Vs = Av \cdot fy \leq \frac{\sqrt{f'c}}{3} \cdot bo \cdot d; \quad (\text{maka tebal plat cukup})$$

Dimana :

Vu = P_u (beban aksial berfaktor dari perhitungan SAP 2000)

Vc = kuat geser nominal beton

Vs = kuat geser nominal tulangan geser *pons*

B = lebar *pile cap*