

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Struktur bangunan merupakan sarana untuk menyalurkan beban yang diakibatkan penggunaan atau kehadiran bangunan di atas tanah. Struktur terdiri dari unsur-unsur atau elemen-elemen yang terintegrasi dan berfungsi sebagai satu kesatuan utuh untuk menyalurkan semua jenis beban yang diantisipasi ke tanah.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari struktur atas yang meliputi atap rangka baja, pelat, balok, kolom, tangga, dan balok penggantung lift sampai dengan perhitungan pondasi. Tinjauan pustaka dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang lebih optimal dan akurat. Oleh karena itu, dalam bab ini pula akan dibahas mengenai konsep pemilihan sistem struktur dan konsep perencanaan atau desain struktur bangunannya, seperti konfigurasi denah dan pembebanan yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia sehingga diharapkan akan menghasilkan bangunan yang kuat, ekonomis, aman dan nyaman.

2.2. KONSEP PEMILIHAN JENIS STRUKTUR

Pemilihan jenis struktur mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional gedung. Dalam proses desain struktur perlu dicari kedekatan antara jenis struktur dengan masalah-masalah seperti arsitektural, efisiensi, *service ability*, kemudahan pelaksanaan dan juga biaya yang diperlukan. Adapun faktor yang menentukan dalam pemilihan jenis struktur sebagai berikut :

1. Aspek arsitektural

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

2. Aspek fungsional

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

3. Kekuatan dan kestabilan struktur

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

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 pada sistem pelayanan gedung

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi melebihi batas yang diijinkan. Keselamatan adalah hal terpenting dalam setiap perencanaan struktur suatu bangunan.

6. Aspek lingkungan

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

secara fisik maupun kemasyarakatan, atau bahkan sebaliknya akan dapat menimbulkan dampak yang positif.

2.2.1. Pemilihan Struktur Atas (*Upper Structure*)

Dalam perencanaan struktur atas (*upper structure*), gedung BPS ini menggunakan struktur beton. Struktur ini paling banyak digunakan bila dibandingkan dengan struktur lainnya karena struktur ini lebih monolit dan mempunyai umur rencana yang cukup panjang. Struktur beton ada beberapa macam, yaitu :

- **Struktur Beton Bertulang Cor di Tempat (*Cast in Place Reinforced Concrete Structure*)**

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

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

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen pracetak. Struktur beton tersebut dapat dibuat di pabrik atau di lokasi proyek dengan disediakan area khusus untuk pembuatan beton pracetak. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

- **Struktur Beton Prategang (*Prestressed 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 tingkat menengah.

Untuk perencanaan struktur gedung ini tidak menggunakan struktur beton pracetak dan prategang, tetapi dengan menggunakan struktur beton bertulang cor di tempat (*cast in place*). Hal ini dikarenakan kemonolitan struktur tersebut dan ketahanan struktur terhadap bahaya gempa.

2.2.2. Pemilihan Struktur Bawah (*Sub Structure*)

Pemilihan jenis struktur bawah (*sub structure*) yang digunakan didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu :

1. Keadaan tanah pondasi
Jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah erat kaitannya dengan jenis pondasi yang dipilih.
2. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya
Keadaan struktur atas sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tertentu, kekakuan dan sebagainya).
3. Batasan-batasan dilingkungan sekelilingnya
Hal ini menyangkut lokasi proyek, pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada disekitarnya.
4. Waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan
Suatu proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi ekonomis dalam pembangunan.

Secara umum jenis-jenis struktur bawah dibagi dua bagian, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam.

2.3. KONSEP PEMBEBANAN

2.3.1. Beban-Beban Struktur

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

1. Beban Statis

Beban statis merupakan beban yang relatif konstan atau beban yang memiliki perubahan intensitas beban terhadap waktu berjalan lambat. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut :

a) Beban Mati (*Dead Load/ DL*)

Beban mati adalah beban yang dipikul oleh struktur sebagai akibat dari berat sendiri struktur dan akibat berat elemen-elemen struktur dan merupakan satu kesatuan.

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 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
Partisi	130 kg / m ²

Sumber : Peraturan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1983

b) Beban Hidup (*Life Load / LL*)

Beban hidup adalah beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) merupakan beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot,

barang yang disimpan, dan sebagainya. Beban yang diakibatkan oleh salju atau air hujan, juga termasuk ke dalam beban hidup. 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 mempunyai fluktuasi beban yang bervariasi, tergantung oleh banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban-beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati.

Tabel 2.2. Beban Hidup pada Struktur

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besarnya Beban
Lantai hotel, kantor	250 kg / m ²
Tangga dan bordes	300 kg / m ²
Plat atap	100 kg / m ²
Lantai ruang alat dan mesin	400 kg / m ²
<p>Beban hidup pada atap/bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang paling menentukan di antara dua macam beban berikut :</p> <p>a. Beban terbagi rata/m² bidang datar berasal dari beban hujan sebesar $(40-0,8\alpha)$ kg/m², α= sudut kemiringan atap (°). Beban tersebut tidak perlu diambil ≥ 20 kg/m² dan tidak perlu ditinjau bila $\alpha \geq 50^\circ$</p> <p>b. Beban terpusat dari seorang pekerja/pemadam kebakaran dengan peralatannya minimum 100 kg</p>	

Sumber : Peraturan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1983

2. Beban Dinamik

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. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat.

a) Beban Gempa (*Earthquake Load/EQ*)

Gempa merupakan fenomena getaran yang diakibatkan oleh benturan atau gesekan lempeng tektonik (*plate tectonic*) bumi yang terjadi di daerah patahan (*fault zone*). Pada saat terjadi benturan antara lempeng-lempeng aktif tektonik bumi, akan terjadi pelepasan energi gempa yang berupa gelombang-gelombang energi yang merambat di dalam atau di permukaan bumi. 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 yang disebut gaya inersia. Besar gaya tersebut bergantung pada banyak faktor yaitu :

- Massa bangunan
- Pendistribusian massa bangunan
- Kekakuan struktur
- Jenis tanah
- Mekanisme redaman dan struktur
- Perilaku dan besar alami getaran itu sendiri
- Wilayah kegempaan
- Periode getar alami

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, besarnya beban gempa nominal yang diperhitungkan ditentukan oleh 3 hal, yaitu: besarnya gempa rencana, tingkat daktilitas yang dimiliki struktur, dan nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur. Gempa Rencana adalah gempa yang peluang atau risiko terjadinya dalam periode umur rencana bangunan 50 tahun adalah 10% ($R_N = 10\%$), atau gempa yang periode ulangnya adalah 500 tahun ($T_R = 500$ tahun).

Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia, yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03 – 1726 – 2003), besarnya beban gempa horisontal (V) yang bekerja pada struktur bangunan, ditentukan menurut persamaan :

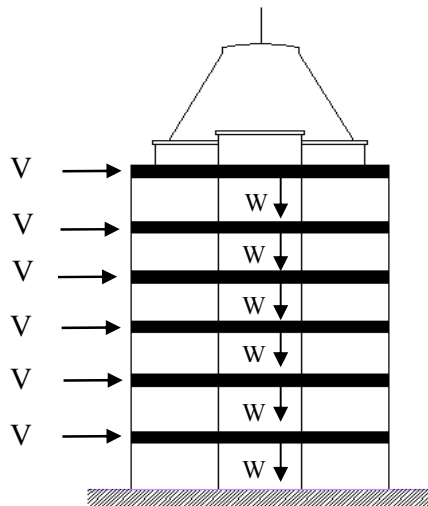
$$V = \frac{C.I}{R} \cdot W_t \quad (2.1)$$

- dimana :
- V = beban geser dasar normal statik ekuivalen (ton)
 - C = koefisien gempa, yang besarnya tergantung wilayah gempa dan waktu getar struktur (tanpa satuan)
 - I = faktor keutamaan struktur (tanpa satuan)
 - R = faktor reduksi gempa (tanpa satuan)
 - W_t = berat total struktur (ton)

W_t ditetapkan sebagai jumlah dari beban-beban berikut :

- Beban mati total dari struktur bangunan gedung
- Jika digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai, maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0,5 kPa
- Pada gudang-gudang dan tempat penyimpanan barang, maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan
- Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan.

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



Gambar 2.1. Beban Gempa pada Struktur Bangunan

• **Faktor Keutamaan Struktur (I)**

Faktor keutamaan struktur adalah suatu koefisien yang diadakan untuk memperpanjang waktu ulang dari kerusakan struktur – struktur gedung yang relatif lebih utama, untuk menanamkan modal yang relatif besar pada gedung itu. Gedung tersebut diharapkan dapat berdiri jauh lebih lama dari gedung – gedung pada umumnya. Waktu ulang dari kerusakan struktur gedung akibat gempa akan diperpanjang dengan pemakaian suatu faktor keutamaan. Besarnya faktor keutamaan struktur untuk beberapa jenis struktur bangunan, diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Faktor Keutamaan Struktur (I)

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

Sumber :SNI 03 - 1726 – 2003

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

• **Daktilitas Struktur**

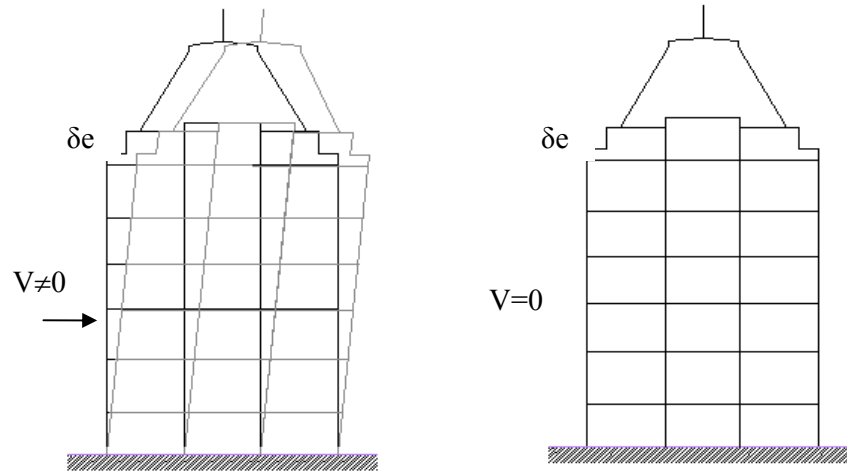
Pada umumnya struktur teknik sipil dianggap bersifat elastis sempurna, artinya bila struktur mengalami perubahan bentuk atau berdeformasi sebesar 1 mm oleh beban sebesar 1 ton, maka struktur akan berdeformasi sebesar 2 mm jika dibebani oleh beban sebesar 2 ton. Hubungan antara beban dan deformasi yang terjadi pada struktur, dianggap elastis sempurna berupa hubungan linier. Jika beban tersebut dikurangi besarnya sampai dengan nol, maka deformasi pada struktur akan hilang pula (deformasi menjadi nol). Jika beban diberikan pada arah yang berlawanan dengan arah beban semula, maka deformasi struktur akan negatif pula, dan besarnya akan sebanding dengan besarnya beban. Pada kondisi seperti ini struktur mengalami deformasi elastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang apabila bebannya dihilangkan, maka deformasi tersebut akan hilang, dan struktur akan kembali kepada bentuknya yang semula.

Pada struktur yang bersifat getas (*brittle*), maka jika beban yang bekerja pada struktur sedikit melampaui batas maksimum kekuatan elastisnya, maka struktur tersebut akan patah atau runtuh.

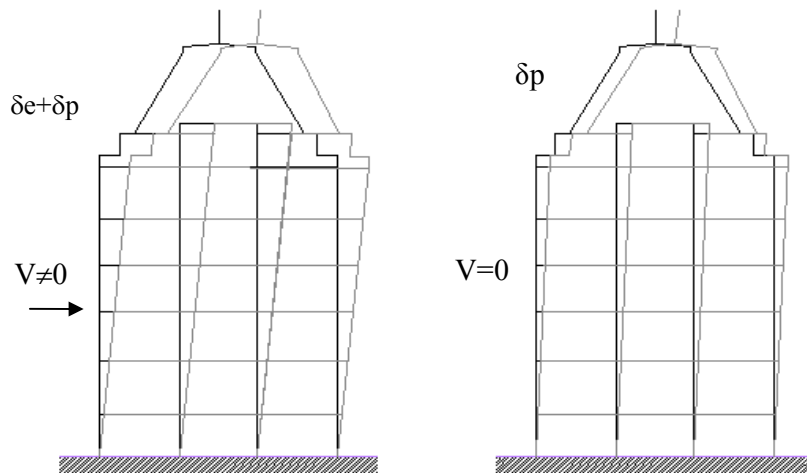
Pada struktur yang daktail (*ductile*) atau liat, jika beban yang ada melampaui batas maksimum kekuatan elastisnya, maka struktur tidak akan runtuh, tetapi struktur akan mengalami deformasi plastis (*inelastis*). Deformasi plastis adalah deformasi yang apabila bebannya dihilangkan, maka deformasi tersebut tidak akan hilang. Pada kondisi plastis ini struktur akan mengalami deformasi yang bersifat permanen, atau struktur tidak dapat kembali ke bentuk semula. Pada struktur yang daktail, meskipun terjadi deformasi yang permanen, tetapi struktur tidak mengalami keruntuhan.

Pada kenyataannya, jika suatu beban bekerja pada struktur, maka pada tahap awal, struktur akan berdeformasi secara elastis. Jika beban yang bekerja terus bertambah besar, maka setelah batas elastis dari bahan struktur dilampaui, struktur kemudian akan berdeformasi secara plastis (*inelastis*). Dengan demikian pada struktur akan terjadi deformasi elastis dan deformasi plastis, sehingga jika beban yang bekerja dihilangkan, maka hanya sebagian saja dari deformasi yang hilang (deformasi elastis = δe), sedangkan sebagian

deformasi akan bersifat permanen (deformasi plastis = δ_p). Perilaku deformasi elastis dan plastis dari struktur diperlihatkan pada Gambar 2.2. di bawah ini.



Gambar 2.2.a. Deformasi elastis pada struktur



Gambar 2.2.b. Deformasi plastis (inelastis) pada struktur

Dari uraian di atas tampak bahwa pada struktur yang duktail, beban yang besar akibat gempa tidak akan menyebabkan keruntuhan dari struktur, lebih-lebih karena beban gempa merupakan beban dinamis yang arahnya bolak-balik. Beban gempa yang besar akan menyebabkan deformasi yang permanen dari struktur akibat rusaknya elemen-elemen dari struktur seperti balok dan kolom. Pada kondisi seperti ini, walaupun elemen-elemen struktur

bangunan mengalami kerusakan, namun secara keseluruhan struktur tidak mengalami keruntuhan.

Energi gempa yang bekerja pada struktur bangunan akan diubah menjadi energi kinetik akibat getaran dari massa struktur, energi yang dihamburkan akibat adanya pengaruh redaman dari struktur, dan energi yang dipancarkan oleh bagian-bagian struktur yang mengalami deformasi plastis. Dengan demikian sistem struktur yang bersifat daktail dapat membatasi besarnya energi gempa yang masuk pada struktur, sehingga pengaruh gempa dapat berkurang.

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

- dimana :
- μ = faktor daktilitas struktur (tanpa satuan)
 - $\delta\mu$ = simpangan maksimum (mm)
 - δy = simpangan struktur pada saat terjadinya pelelehan pertama (mm)
 - μ_m = faktor daktilitas maksimum (tanpa satuan)

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

Nilai faktor daktilitas struktur gedung μ tidak boleh diambil lebih besar dari nilai faktor daktilitas maksimum μ_m . Dalam tabel 2.4 ditetapkan nilai μ_m berikut faktor reduksi maksimum R_m yang bersangkutan.

Tabel 2.4. Parameter Daktilitas 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	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

lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	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	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8

pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	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-	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

sama 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

Sumber : SNI 1726 – 2003

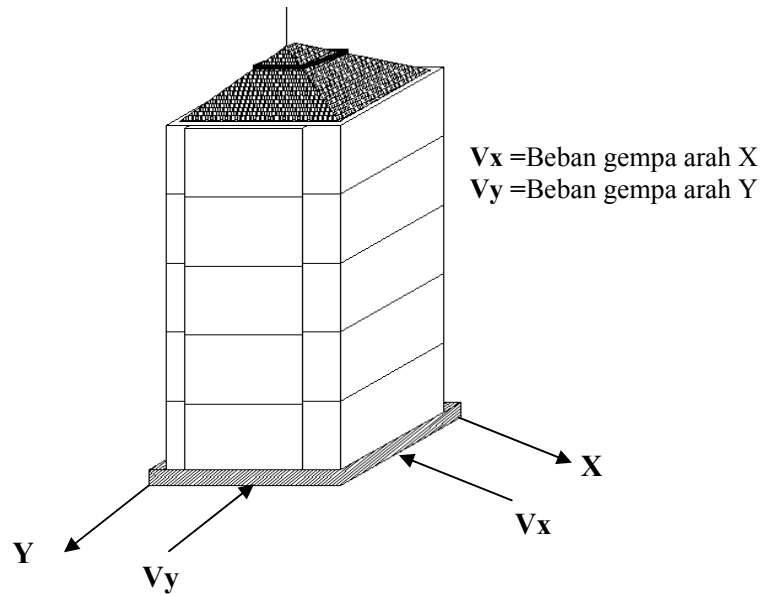
• **Arah Pembebanan Gempa**

Pengaruh Beban Gempa Horisontal

Pengaruh beban gempa horisontal dapat bekerja pada masing-masing arah dari sumbu utama bangunan, atau pada kedua arah sumbu utama dari struktur bangunan secara bersamaan. Pengaruh bekerjanya beban gempa secara bersamaan pada kedua arah sumbu utama, dapat sangat membahayakan kekuatan struktur. Oleh karena itu, agar sistem struktur tetap mampu untuk menahan beban gempa yang bekerja, maka unsur-unsur vertikal utama (kolom) dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan gaya horisontal, perlu direncanakan kekuatannya terhadap pengaruh 100% dari beban gempa dalam satu arah sumbu utama bangunan, dikombinasikan dengan pengaruh 30% dari beban gempa dalam arah tegak lurus padanya. Kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau untuk merencanakan kekuatan dari kolom-kolom struktur adalah :

Beban gravitasi \pm 100% beban gempa arah X \pm 30% beban gempa arah Y

Beban gravitasi \pm 30% beban gempa arah X \pm 100% beban gempa arah Y



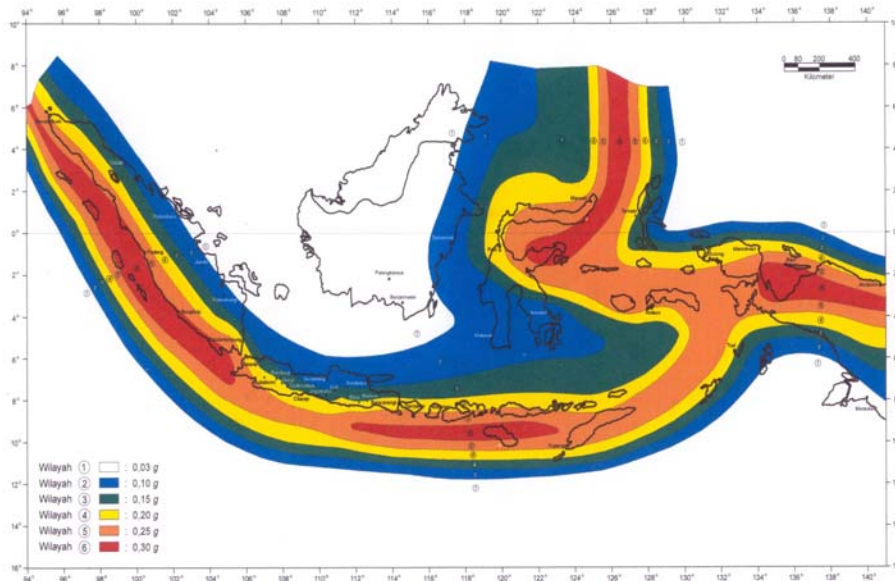
Gambar 2.3. Permodelan Arah Beban Gempa pada Struktur

Pengaruh Beban Gempa Vertikal.

Gerakan tanah kearah vertikal ini dapat mengakibatkan pengaruh beban gempa berarah vertikal yang bekerja pada struktur bangunan. Meskipun dari beberapa pengalaman gempa menunjukkan mekanisme ini, tapi sampai saat ini respon dari struktur bangunan terhadap gerakan tersebut belum banyak diketahui. Pada umumnya, tinjauan perencanaan struktur terhadap pengaruh beban gempa arah vertikal ini dapat diabaikan, dengan anggapan bahwa elemen-elemen dari struktur telah direncanakan berdasarkan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) yang arahnya vertikal ke bawah.

- **Koefisien Gempa Dasar (C)**

Salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan adalah faktor wilayah gempa. Dengan demikian, besar kecilnya beban gempa, tergantung juga pada lokasi dimana struktur bangunan tersebut akan didirikan. Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3, dimana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kondisi kegempaan paling rendah, dan wilayah gempa 6 adalah wilayah dengan kegempaan paling tinggi.



Gambar 2.4. Pembagian Daerah Gempa di Indonesia

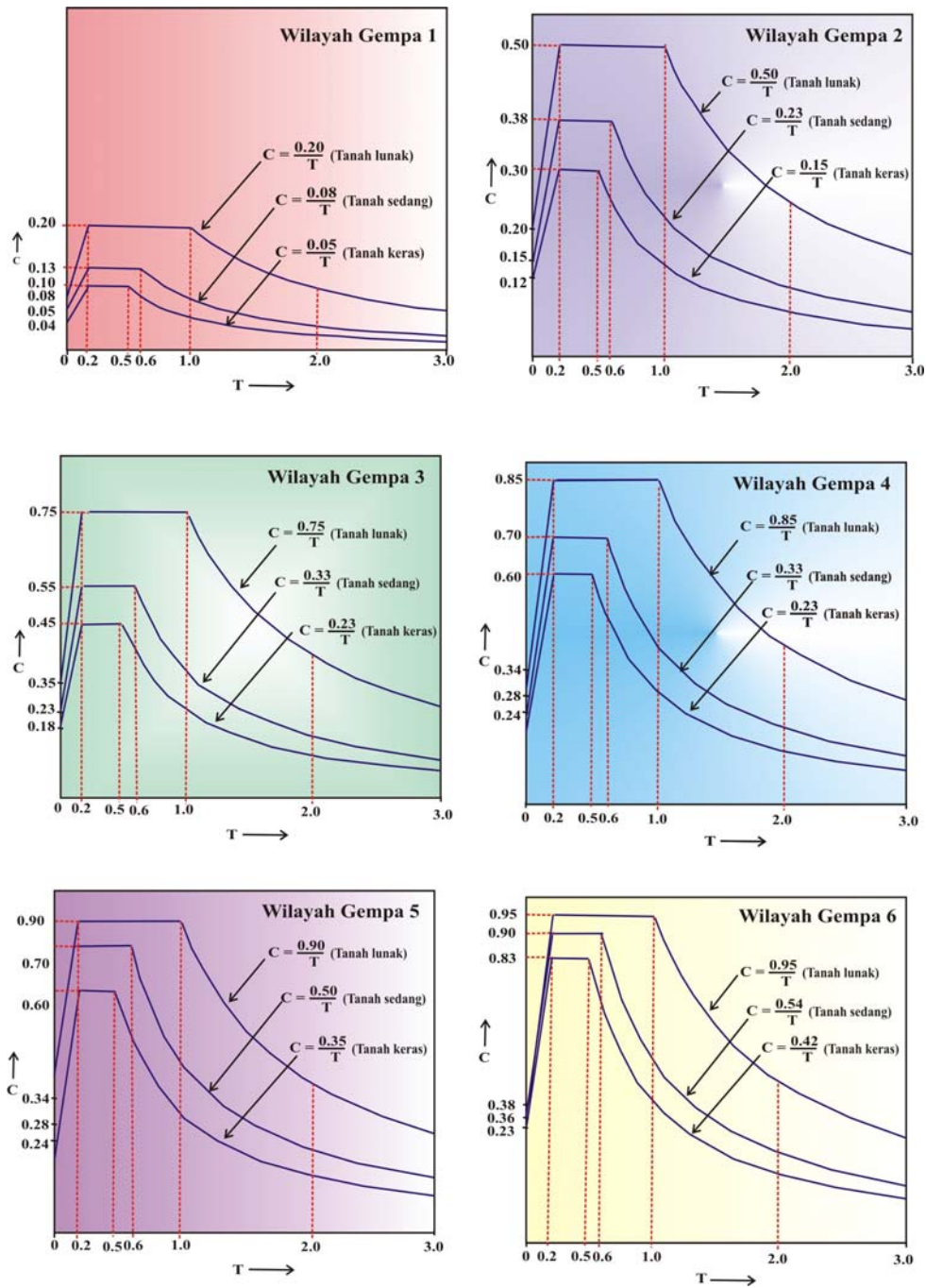
Secara umum dapat dikatakan bahwa koefisien gempa dasar C utamanya dipengaruhi oleh daerah gempa, periode getar T dan jenis tanah. Untuk menentukan pengaruh gempa rencana pada struktur gedung, yaitu berupa beban geser dasar nominal statik ekuivalen pada struktur bangunan gedung beraturan, dan gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam pertama pada struktur bangunan gedung tidak beraturan, untuk masing-masing wilayah gempa ditetapkan Spektrum Respons Gempa Rencana $C - T$ seperti ditunjukkan dalam gambar 2.5. Dalam gambar tersebut C adalah Faktor Respons Gempa yang dinyatakan dalam percepatan gravitasi, dan T adalah waktu getar alami struktur gedung yang dinyatakan dalam detik.

Tabel 2.5. Spektrum Respons Gempa Rencana

Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0,5$ det		Tanah Sedang $T_c = 0,6$ det.		Tanah Lunak $T_c = 1,0$ det.	
	A_m	A_r	A_m	A_r	A_m	A_r
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75

4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95

Sumber : SNI 1726 -2002



Gambar 2.5. Spektrum Respon Wilayah Gempa di Indonesia

Spektrum respons adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem Satu Derajat Kebebasan (SDK) akibat suatu gempa masukan tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami sistem SDK tersebut. Spektrum respons C-T yang ditetapkan untuk masing-masing Wilayah Gempa, adalah suatu diagram yang memberikan hubungan antara percepatan respons maksimum (Faktor Respons Gempa) C dan waktu getar alami T sistem SDK akibat gempa rencana, dimana sistem SDK tersebut dianggap memiliki rasio redaman kritis sebesar 5%.

Pada perencanaan struktur gedung BPS ini, diasumsikan lokasi gedung berada di wilayah gempa 2 dari zona gempa Indonesia.

• **Jenis Tanah**

Selanjutnya tiap-tiap daerah gempa akan mempunyai spektrum respon sendiri-sendiri. Menurut SNI 03 - 1726 - 2003, ada empat jenis tanah dasar yang harus dibedakan dalam memilih harga C, yaitu tanah keras, tanah sedang, tanah lunak, dan tanah khusus. Definisi dari jenis tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak dapat ditentukan berdasarkan 3 kriteria, yaitu :

- *Standard Penetration Test* (N)
- Kecepatan rambat gelombang geser (Vs)
- Kekuatan geser tanah (Su)

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

Tabel 2.6. Jenis tanah berdasarkan SNI 03 - 1726 - 2003

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

Sumber : SNI 03 - 1726 - 2003

Jenis tanah ditetapkan sebagai tanah keras, tanah sedang, atau tanah lunak apabila untuk tanah setebal maksimum 30 meter paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam tabel di atas.

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / V_{si}} \quad (2.3) \quad \bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / N_i} \quad (2.4) \quad \bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / S_{ui}} \quad (2.5)$$

- dimana :
- V_s = kecepatan rambat gelombang geser (m/det)
 - V_{si} = kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke – i (m/det)
 - N = hasil *Standard Penetration Test* (tanpa satuan)
 - N_i = hasil *Standard Penetration Test* lapisan tanah ke – i (tanpa satuan)
 - S_u = kekuatan geser tanah (kPa)
 - S_{ui} = kekuatan geser lapisan tanah ke – i (kPa)
 - t_i = tebal lapisan tanah ke – i (m)

• **Periode Getar (T)**

Periode getar yang mempunyai respons struktur terhadap getaran gempa besarnya dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur. Struktur yang kaku akan mempunyai periode getar yang lebih pendek dibandingkan struktur yang fleksibel.

Untuk mencegah struktur yang terlalu fleksibel, nilai periode waktu getar struktur harus dibatasi. Dalam SNI 03 – 1726 – 2003 diberikan batasan sebagai berikut :

$$T < \xi n \quad (2.6)$$

- dimana :
- T = periode getar struktur (detik)
 - ξ = koefisien pembatas (tanpa satuan)
 - n = jumlah tingkat gedung (tanpa satuan)

2.3.2. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Untuk perencanaan beton bertulang, kombinasi pembebanan ditentukan berdasarkan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 2847 – 2002) sebagai berikut :

Kombinasi Pembebanan Tetap

Pada kombinasi pembebanan tetap ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah :

$$U = 1.4 D \quad (2.7)$$

$$U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (A \text{ atau } R) \quad (2.8)$$

Kombinasi Pembebanan Sementara

Pada kombinasi pembebanan sementara ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah :

$$U = 1.2 D + 1.0 L \pm 1.6 W + 0.5 (A \text{ atau } R) \quad (2.9)$$

$$U = 0.9 D \pm 1.6 W \quad (2.10)$$

$$U = 1.2 D + 1.0 L \pm 1.0 E \quad (2.11)$$

$$U = 0.9 D \pm 1.0 W \quad (2.12)$$

dimana : U = kuat perlu (kg/m^2)

D = beban mati (kg/m^2)

L = beban hidup (kg/m^2)

A = beban atap (kg/m^2)

R = beban hujan (kg/m^2)

W = beban angin (kg/m^2)

E = beban gempa (kg/m^2)

Koefisien 1.2 dan 1.6 merupakan faktor pengali dari beban-beban tersebut yang disebut faktor beban (*load factor*), sedangkan koefisien 0.5 dan 0.9 merupakan faktor reduksi.

Dalam perencanaan struktur gedung ini digunakan 3 macam kombinasi pembebanan, yaitu :

$$\text{Kombinasi 1} = 1,2 D + 1,6 L \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi 2} &= 1,2 D + 1,0 L + 1,0 (I/R) E_x + 0,3 (I/R) E_y \\ &= 1,2 D + 1,0 L + 0,118 E_x + 0,039 E_y \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\text{Kombinasi 3} = 1,2 D + 1,0 L + 0,3 (I/R) E_x + 1,0 (I/R) E_y$$

$$= 1,2 D + 1,0 L + 0,039 E_x + 0,118 E_y \quad (2.15)$$

dimana : E_x = beban gempa arah X (kg/m^2)

E_y = beban gempa arah Y (kg/m^2)

2.3.3. Faktor Reduksi Kekuatan

Untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu, maka digunakan faktor reduksi kekuatan yang merupakan suatu bilangan untuk mereduksi kekuatan bahan. Dalam SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 11.3 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dari perhitungan struktur.

Tabel 2.8. 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 spiraldengan tulangan biasa	0.70 0.65
Geser dan torsi	0.75
Tumpuan pada beton	0.65

Sumber : SNI 03 – 2847 – 2002

2.4. KONSEP DESAIN/PERENCANAAN STRUKTUR

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

2.4.1. Desain Terhadap Beban Lateral (Gempa)

Dalam mendesain struktur, kestabilan lateral adalah hal terpenting karena gaya lateral mempengaruhi desain elemen – elemen vertikal dan horisontal struktur. Mekanisme dasar untuk menjamin kestabilan lateral diperoleh dengan menggunakan hubungan kaku.

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

2.4.1.1. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Pengaruh beban gempa terhadap struktur dapat diperhitungkan dengan Metode analisis yaitu sebagai berikut :

1) Metode Analisis Statis

Metode Analisis Statis dapat menyederhanakan dalam penentuan pengaruh gempa yang digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, penyebaran kekakuan massa menerus dan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter.

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statis ekuivalen bertujuan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*), yang mengasumsikan besarnya gaya gempa berdasar hasil perkalian suatu konstanta/massa dan elemen struktur tersebut.

2) Metode Analisis Dinamis

Analisis Dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Karakteristik struktur bangunan yang perlu dilakukan analisis dinamik adalah sebagai berikut :

- Gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan.
- Gedung dengan loncatan – loncatan bidang muka yang besar.
- Gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.
- Gedung dengan ketinggian lebih dari 40 meter.

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

2.4.1.2. Pemilihan Cara Analisis

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

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

Berdasarkan ketentuan di atas, maka perencanaan struktur gedung dalam tugas akhir ini menggunakan Analisis Ragam Spektrum Respon (metode analisa dinamis).

2.4.2. Denah dan Konfigurasi Bangunan

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

2.4.3. Permodelan Struktur

Untuk keperluan analisis struktur pembangunan gedung BPS, dilakukan permodelan struktur dengan menggunakan model tiga dimensi dari struktur bangunan. Permodelan dilakukan dengan menggunakan *software* analisis struktur. Balok dan kolom dari struktur bangunan dimodelkan dengan menggunakan elemen *frame* 3D, sedangkan pelat lantai bangunan dimodelkan dengan menggunakan elemen *shell*.

Dalam analisis beban gempa, struktur bangunan dimodelkan sebagai bangunan geser (*shear building*), dimana lantai-lantai dari bangunan dianggap sebagai diaphragma kaku. Dengan menggunakan model ini, massa-massa dari setiap lantai bangunan dipusatkan pada titik berat lantai (*lump mass model*).

2.4.4. Pemilihan Material

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

Beton	:		
$f'_c = 35$ Mpa			$E_c = 27805,57$ Mpa
Baja	:		
Tul. Utama	:	$f_y = 240$ Mpa	$E_s = 210000$ Mpa
Tul. Geser	:	$f_y = 240$ Mpa	$E_s = 210000$ Mpa

2.5. 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 dari struktur sekunder seperti pelat, atap, tangga, lift, balok anak dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok, kolom, dan pelat.

2.5.1. Perencanaan Atap

Struktur atap pada gedung ini direncanakan menggunakan konstruksi atap rangka baja sedangkan metode perhitungannya menggunakan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Dalam perencanaan struktur, tegangan akibat beban terfaktor diusahakan mendekati atau mencapai

tegangan leleh. Dalam perencanaan struktur atap ini digunakan 4 macam kombinasi pembebanan yang ditentukan berdasarkan Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 1729 – 2002) sebagai berikut :

$$1. \text{ Kombinasi 1} = 1,2D + 1,6 La + 0,8 W \quad (2.16)$$

$$2. \text{ Kombinasi 2} = 1,2D + 1,3 W + 0,5 La \quad (2.17)$$

$$3. \text{ Kombinasi 3} = 1,2D + 1,6 H + 0,8 W \quad (2.18)$$

$$4. \text{ Kombinasi 4} = 1,2D + 1,3 W + 0,5 H \quad (2.19)$$

dimana:

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen (kg)

La = beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material (kg)

W = beban angin (kg)

H = beban hujan (kg)

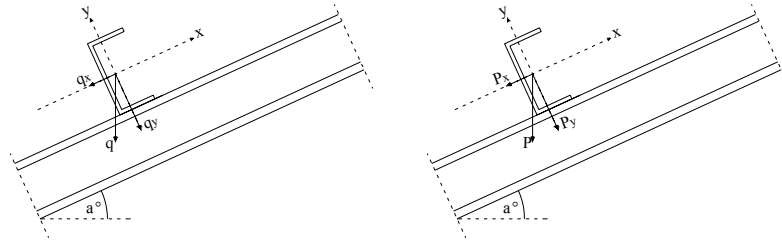
a. Perencanaan Gording

Gording direncanakan untuk menahan beban-beban yang bekerja di atas atap dan merubah beban-beban merata menjadi beban-beban terpusat. Beban-beban terpusat ini selanjutnya akan ditahan oleh kuda-kuda atap.

Beban-beban yang biasanya diperhitungkan dalam perencanaan gording antara lain:

- 1) Beban mati, terdiri dari bahan penutup atap dan berat gording.
- 2) Beban hidup, diperhitungkan sebesar $P = 100$ kg berada di tengah bentang gording. Selain itu juga diperhitungkan beban hujan.
- 3) Beban angin, terdiri atas:
 - a) Muka angin / angin tekan
PMI 1970 pasal 4.3 menyebutkan untuk $\alpha < 65^\circ$ koefisien angin diambil sebesar $0.02\alpha - 0.4$ dimana $\alpha =$ kemiringan atap.
 - b) Belakang angin / angin hisap
Koefisien angin ditentukan sebesar -0.4

Perhitungan momen dan penguraian beban mengacu pada gambar berikut:



Gambar 2.7. Penguraian beban pada gording

Beban merata q diuraikan menjadi:

$$q_x = q \cdot \sin \alpha \quad (2.20)$$

$$M_y = \frac{1}{8} q_x L^2 \quad (2.21)$$

$$q_y = q \cdot \cos \alpha \quad (2.22)$$

$$M_x = \frac{1}{8} q_y L^2 \quad (2.23)$$

dimana :

q_x = beban merata searah sumbu X (kg/m)

q_y = beban merata searah sumbu Y (kg/m)

L = jarak antar kuda-kuda (m)

M_y = momen tegak lurus sumbu Y (kg m)

M_x = momen tegak lurus sumbu X (kg m)

Beban terpusat P diuraikan menjadi:

$$P_x = P \cdot \sin \alpha \quad (2.24)$$

$$M_y = \frac{1}{4} P_x L \quad (2.25)$$

$$P_y = P \cdot \cos \alpha \quad (2.26)$$

$$M_x = \frac{1}{4} P_y L \quad (2.27)$$

dimana :

- P_x = beban terpusat searah sumbu X (kg)
 P_y = beban terpusat searah sumbu Y (kg)

Seluruh beban dikalikan dengan faktor pengali beban.

Seluruh momen M_x dan M_y dikombinasikan untuk mendapat momen total.

Pemeriksaan kekuatan gording:

- Cek Lentur

$$\left(\frac{Mu_x}{\phi Mn_x} + \frac{Mu_y}{\phi Mn_y} \right) \leq 1 \quad (2.28)$$

dimana :

Mu_x, Mu_y = momen lentur terfaktor masing-masing terhadap sumbu X dan Y (kg m)

Mn_x, Mn_y = momen lentur nominal penampang komponen struktur masing-masing terhadap sumbu X dan Y (kg m)

Φ = faktor reduksi = 0.9 (tanpa satuan)

- Cek Geser

$$\left(\frac{Vu_x}{\phi Vn_x} + \frac{Vu_y}{\phi Vn_y} \right) \leq 1 \quad (2.29)$$

dimana :

Vu_x, Vu_y = gaya geser perlu masing-masing terhadap sumbu X dan Y (kg)

Vn_x, Vn_y = kuat geser nominal pelat badan masing-masing terhadap sumbu X dan Y (kg)

- Cek Lendutan

$$\delta_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_x L^4}{EI_x} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_x L^3}{EI_x} \quad (2.30)$$

$$\delta_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_y L^4}{EI_y} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_y L^3}{EI_y} \quad (2.31)$$

$$\delta_i = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \quad (2.32)$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{240} L \quad (\text{SNI 03 - 1729 - 2002 hal 15}) \quad (2.33)$$

dimana :

δ_x, δ_y = lendutan yang terjadi masing-masing terhadap sumbu X dan Y (cm)

δ_i = resultan lendutan arah X dan Y (cm)

q_x, q_y = beban merata pada sumbu X dan sumbu Y (kg/cm)

P_x = beban terpusat (kg)

L = jarak antar kuda-kuda (cm)

E = modulus elastisitas = 2×10^6 (kg/cm²)

I_x, I_y = momen inersia masing-masing terhadap sumbu X dan Y (cm⁴)

b. Perencanaan Kuda-kuda

Beban-beban yang biasanya diperhitungkan dalam perencanaan kuda-kuda antara lain:

1) Akibat Beban Tetap

- a) Beban atap (BA)
- b) Beban gording (BG)
- c) Beban ikatan angin (BB) = 20% x (BA+BG)
- d) Beban hidup (BL), terdiri dari : Beban orang = 100 kg dan Beban hujan (Bh) diambil yang paling besar
- e) Beban kuda-kuda (BK)
- f) Berat baut = 20% x BK
- g) Beban plafon + penggantung (BP)
- h) Beban Plat Buhul = 10% x beban per buhul

2) Akibat Beban Sementara

- a) Beban Angin Kiri, terdiri dari angin tekan dan angin hisap
- b) Beban Angin Kanan, terdiri dari angin tekan dan angin hisap

Setelah mendapatkan gaya batang kuda-kuda dari SAP 2000, maka dilakukan pengecekan profil kuda-kuda tersebut :

a) Perencanaan akibat gaya tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, N_u , berdasarkan SNI 03-1729-2002(9) harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$N_u \leq \phi n N_n \quad (2.34)$$

dimana :

- Nu = gaya tekan konsentris terfaktor (kg)
- Φn = faktor reduksi kekuatan (tanpa satuan)
- Nn = kuat tekan nominal komponen struktur yang ditentukan (kg)

Tabel 2.9 Koefisien Reduksi Φ untuk Keadaan Kekuatan Batas

Kuat rencana untuk	Butir	Faktor reduksi
Komponen struktur yang memikul lentur:		
• balok	8.1, 8.2 & 8.3	0,90
• balok pelat berdinding penuh	8.4	0,90
• pelat badan yang memikul geser	8.8 & 8.9	0,90
• pelat badan pada tumpuan	8.10	0,90
• pengaku	8.11, 8.12, & 8.13	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial:		
• kuat penampang	9.1 & 9.2	0,85
• kuat komponen struktur	9.1 & 9.3	0,85
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial:		
• terhadap kuat tarik leleh	10.1 & 10.2	0,90
• terhadap kuat tarik fraktur	10.1 & 10.2	0,75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi:		
• kuat lentur atau geser	11.3 & 11.4	0,90
• kuat tarik	11.3 & 11.4	0,90
• kuat tekan	11.3 & 11.4	0,85
Komponen struktur komposit:		
• kuat tekan	12.3	0,85
• kuat tumpu beton	12.3.4	0,60
• kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik	12.4.2.1 & 12.4.2.3	0,85
• kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik	12.4.2.1 & 12.4.3	0,90
Sambungan baut:		
• baut yang memikul geser	13.2.2.1	0,75
• baut yang memikul tarik	13.2.2.2	0,75
• baut yang memikul kombinasi geser dan tarik	13.2.2.3	0,75
• lapis yang memikul tumpu	13.2.2.4	0,75
Sambungan las:		
• las tumpul penetrasi penuh	13.5.2.7	0,90
• las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	13.5.3.10	0,75
• las pengisi	13.5.4	0,75

Sumber : SNI 03-1729-2002

Daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g f_{cr} = A_g \frac{f_y}{\omega} \quad (2.35)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \quad (2.36)$$

dimana :

A_g = luas penampang bruto (mm²)

f_{cr} = tegangan kritis penampang (MPa)

f_y = tegangan leleh material (MPa)

ω = faktor tekuk (tanpa satuan)

untuk $\lambda_c \leq 0.25$ maka $\omega = 1$

untuk $0.25 < \lambda_c < 1.2$ maka $\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c}$

untuk $\lambda_c \geq 1.2$ maka $\omega = 1.25\lambda_c^2$

$$\lambda_c = \frac{1}{\Pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.37)$$

dengan $L_k = k_c \cdot L$

dimana :

λ_c = kelangsingan batang tekan (tanpa satuan)

L = panjang teoritis elemen (mm)

k_c = faktor panjang tekuk (tanpa satuan)

r = jari-jari girasi (mm)

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai λ_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai λ_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung						

Gambar 2.8 Nilai k_c untuk kolom dengan ujung – ujung yang ideal

Perbandingan kelangsingan.

Batas kelangsingan komponen struktur tekan,

$$\lambda = \frac{L_k}{r} < 200 \quad (2.38)$$

dimana :

λ = parameter kelangsingan (tanpa satuan)

L_k = panjang tekuk (mm)

b) Perencanaan akibat gaya tarik

Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor N_u , berdasarkan SNI 03-1729-2002(10) harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n \quad (2.39)$$

dengan ϕN_n adalah kuat tarik rencana yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan menggunakan harga-harga ϕ dan N_n di bawah ini:

$$\phi = 0.9$$

$$N_n = A_g f_y \quad (2.40)$$

dan

$$\phi = 0.75$$

$$N_n = A_e f_u \tag{2.41}$$

dimana :

Nu = gaya tarik aksial terfaktor (kg)

Nn = kuat tarik rencana (kg)

A_g = luas penampang bruto (mm²)

A_e = luas penampang efektif (mm²)

f_y = tegangan leleh (MPa)

f_u = tegangan tarik putus (MPa)

Luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut:

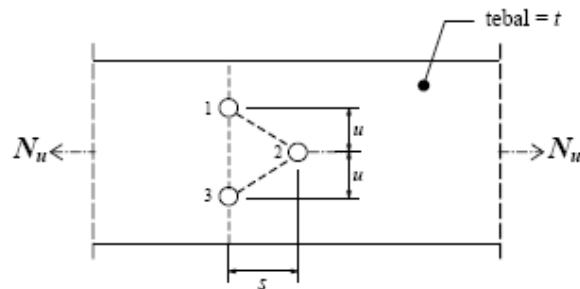
$$A_e = A_{nt} \cdot U \tag{2.42}$$

dimana :

A_e = luas penampang netto (mm²)

A_{nt} = luas penampang netto (mm²)

U = adalah faktor reduksi ≤ 0.9 (tanpa satuan)



Gambar 2.9. Gaya tarik pada batang

Potongan 1-3: $A_{nt} = A_g - n.d.t$

Potongan 1-2-3: $A_{nt} = A_g - n.d.t + \sum \frac{s^2.t}{4.u}$

dimana:

A_g = luas penampang bruto (mm²)

t = tebal penampang (mm)

- d = diameter lubang (mm)
- n = banyaknya lubang dalam garis potongan (tanpa satuan)
- s = jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur (mm)
- u = jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur (mm)

Dalam suatu potongan jumlah luas lubang tidak boleh melebihi 15% luas penampang utuh.

c) Sambungan

Sambungan antara batang baja pada rangka kuda-kuda berupa sambungan baut, kekuatan nominal satu baut direncanakan berdasarkan peraturan SNI 03-1729-2002(13) hal.99 yaitu :

- Kekuatan baut

Suatu baut yang memikul gaya terfaktor, R_u , harus memenuhi

$$R_u \leq \Phi R_n \quad (2.43)$$

dimana :

- Ru = gaya terfaktor (kg)
- ϕ = faktor reduksi kekuatan (tanpa satuan)
- Rn = kuat nominal baut (kg)

- Baut dalam geser

Kuat geser rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut:

$$V_d = \Phi_f V_n = \Phi_f r_1 f_u^b A_b \quad (2.44)$$

dimana :

- V_d = kuat geser rencana baut (kg)
- V_n = kuat geser nominal baut (kg)
- r_1 = faktor modifikasi tegangan = 0,5 untuk baut tanpa ulir dan 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser (tanpa satuan)

Φ_f = faktor reduksi kekuatan untuk fraktur = 0,75 (tanpa satuan)

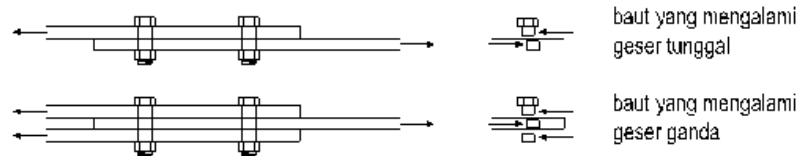
f_u^b = tegangan tarik putus baut (kg)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir (mm^2)

Kuat geser nominal baut yang mempunyai beberapa bidang geser (bidang geser majemuk) adalah jumlah kekuatan masing-masing yang dihitung untuk setiap bidang geser.

Analisis di atas merupakan perencanaan perhitungan baut dalam keadaan geser tunggal. Apabila baut tersebut berada dalam keadaan geser rangkap, maka ada dua bidang geser yang terjadi, sehingga :

$$V_d = 2\Phi_f V_n = 2\Phi_f r_1 f_u^b A_b \quad (2.45)$$



Gambar 2.10. Baut geser

- Kuat tumpu

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1,5 kali diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar daripada 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana tumpu dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_d = \Phi_f R_n = 2,4\Phi_f d_b t_p f_u \quad (2.46)$$

dimana :

R_d = kuat rencana tumpu (kg)

R_n = kuat nominal (kg)

Φ_f = faktor reduksi kekuatan untuk fraktur = 0,75 (tanpa satuan)

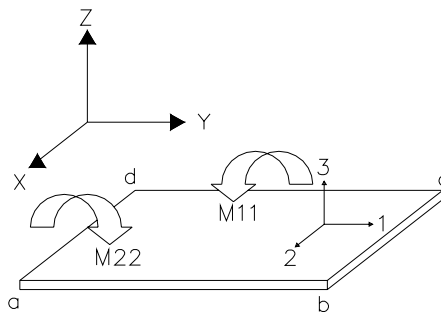
- d_b = diameter baut nominal pada daerah tak berulir (mm)
 t_p = tebal plat (mm)
 f_u = tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat (MPa)

2.5.2. Perencanaan Pelat

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

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap lebar kurang dari 3, maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel pelat. 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 daripada balok yang pendek (penulangan satu arah).

Dimensi bidang pelat L_x dan L_y dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.11. 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 lantai (berdasarkan rumus SNI 03 - 2847 - 2002).

$$H_{\min} \geq \frac{L_n * \left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2.47)$$

$$H_{\max} \geq \frac{L_n * \left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36} \quad (2.48)$$

dan tebal tidak boleh kurang dari 90 mm

dimana: H = tebal pelat lantai (mm)

L_y = panjang sisi pelat arah Y (mm)

L_x = panjang sisi pelat arah X (mm)

L_n = panjang sisi terpanjang (mm)

f_y = tegangan leleh tulangan (MPa)

$$\beta = L_y / L_x \quad (2.49)$$

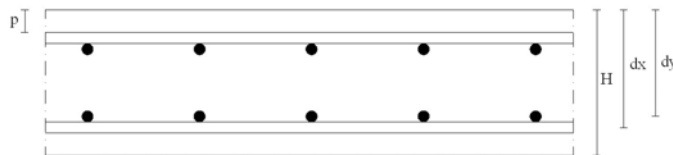
$\beta > 3$: one way slab

$\beta \leq 3$: two way slab

3. Memperhitungkan beban - beban yang bekerja pada pelat dengan kombinasi pembebanan : 1,2 D + 1,6 L
4. Tentukan momen yang terfaktor (M_u) dengan bantuan program SAP 2000.
5. Hitung penulangan (arah X dan arah Y)

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

6. Mencari tinggi efektif dalam arah X dan arah Y.



Gambar 2.12. Tinggi Efektif Pelat

$$dx = H - p - \frac{1}{2} \emptyset \quad (2.50)$$

$$d_y = H - p - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \quad (2.51)$$

dimana : d_x = tinggi efektif pelat arah X (mm)

d_y = tinggi efektif pelat arah Y (mm)

H = tebal pelat (mm)

p = tebal selimut beton (mm)

\emptyset = diameter tulangan (mm)

7. Tentukan momen yang menentukan $\frac{M_u}{b \times d^2}$ (2.52)

dimana : M_u = momen terfaktor (kNm)

b = lebar pelat per meter (m)

d = tinggi efektif pelat (m)

8. Menentukan harga ρ berdasarkan tabel 5.1.d. “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang”

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau lihat tabel 7 CUR 1} \quad (2.53)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta_1 \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \text{ atau lihat tabel 8 CUR 1} \quad (2.54)$$

dimana : ρ_{\min} = rasio penulangan minimum (tanpa satuan)

ρ_{\max} = rasio penulangan maksimum (tanpa satuan)

f_y = tegangan leleh tulangan (MPa)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

$\beta_1 = 0,85$ untuk $f'_c \leq 30$ Mpa

$\beta_1 = 0,81$ untuk $f'_c = 35$ Mpa

10. Menghitung luas penampang tulangan (A_s) untuk masing - masing arah X dan Y

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.55)$$

dimana : A_s = luas penampang tulangan (mm^2)

ρ = rasio luas penampang tulangan terhadap luas penampang efektif beton (tanpa satuan)

b = lebar pelat per meter (mm)

d = tinggi efektif pelat (mm)

11. Memilih tulangan yang akan dipasang berdasarkan tabel 2.2.a “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang”.
12. Memeriksa lebar jaring maksimal berdasarkan tabel 11 CUR 1.

2.5.3. Perencanaan Struktur Portal Utama

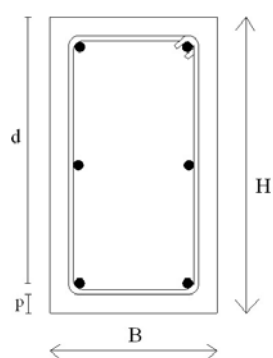
2.5.3.1. Perencanaan Struktur Balok

Menurut SK SNI T-15-1991-03 seperti yang tercantum dalam buku CUR 1, secara umum desain tinggi balok direncanakan $(L/10) - (L/15)$, dan lebar balok diambil $(1/2H) - (2/3H)$.

Perhitungan gaya-gaya dalam pada balok menggunakan *software* SAP 2000 V.10. Dari hasil output gaya-gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan.

A. Menghitung Kapasitas Penampang

- Menghitung tinggi efektif balok (d) :



$$d = H - (p + \varnothing_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan utama}}) \quad (2.56)$$

dimana :

d = tinggi efektif balok (mm)

H = tinggi balok (mm)

p = tebal selimut beton (mm)

\varnothing = diameter tulangan (mm)

Gambar 2.13. Tinggi Efektif (d) Balok

- Menghitung jarak serat tekan terluar ke garis netral penampang (c) :

$$c = \frac{d * \epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} = \frac{d * \epsilon_c}{\epsilon_c + \frac{f_y}{E_s}} \quad (2.57)$$

$$a = \beta_1 * c \quad (2.58)$$

dimana : c = jarak serat tekan terluar ke garis netral penampang (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

ϵ_c = regangan beton = 0,003 (tanpa satuan)

ϵ_s = regangan baja (tanpa satuan)

f_y = tegangan leleh tulangan (MPa)

E_s = modulus elastisitas baja = 200.000 Mpa

a = tinggi blok tegangan tekan ekivalen penampang beton dalam keadaan *balanced* (mm)

$$\text{Cari harga } \frac{M_u}{b \cdot d^2} \quad (2.59)$$

dimana : M_u = momen terfaktor (kNm)

b = lebar balok (m)

d = tinggi efektif balok (m)

Dari tabel 5.1.e buku "Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang", diperoleh nilai ρ

$$\rho_{\max} = \frac{\beta_1 \cdot 450}{600 + f_y} \cdot \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \quad (2.60)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.61)$$

Syarat rasio tulangan : $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.62)$$

dimana : A_s = luas penampang tulangan (mm²)

ρ = rasio luas penampang tulangan terhadap luas penampang efektif beton (tanpa satuan)

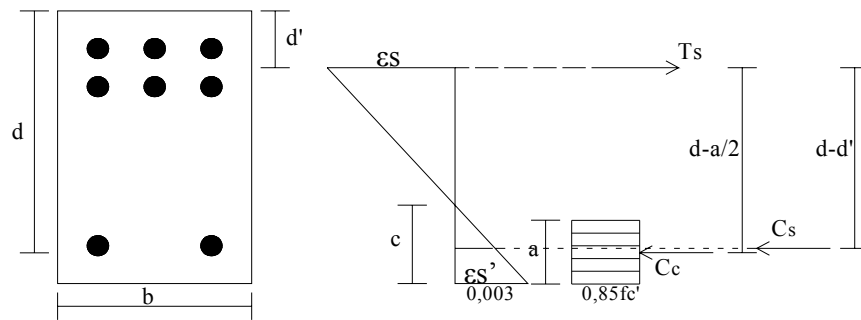
b = lebar balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

Jika : $\rho > \rho_{\max}$, maka terdapat dua alternatif :

- 1) Sesuaikanlah ukuran penampang balok
- 2) Bila tidak memungkinkan, maka dipasang tulangan rangkap

Dalam pelaksanaan digunakan tulangan rangkap, dalam menghitung tulangan rangkap digunakan persamaan (2.63) dan persamaan (2.64)



Gambar 2.14. Diagram regangan dan gaya-gaya dalam

$$T_s - C_c - C_s = 0 \quad (2.63)$$

$$(C_s \times (d - d')) + \left(C_c \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) = \frac{M_u}{\phi} \quad (2.64)$$

dari persamaan diatas didapat nilai c dan As

B. Menghitung Tulangan Geser Balok

$$v_u = \frac{V_u}{b * d} \quad (2.65)$$

dimana : v_u = batas tegangan geser dari penampang yang dapat melawan beban lentur dan geser (kN/m^2)

V_u = gaya geser terfaktor (kN)

b = lebar balok (m)

d = tinggi efektif balok (m)

Menentukan nilai ϕv_c berdasarkan tabel 15 CUR 1

Jika : $v_u \leq \phi v_c$, tidak perlu tulangan geser

$v_u > \phi v_c$, perlu tulangan geser

Menentukan nilai $\phi v_{s_{max}}$ berdasarkan tabel 17 CUR 1

$$\phi v_s = v_u - \phi v_c \quad (2.66)$$

Jika : $\phi v_s > \phi v_{s_{max}}$, perbesar ukuran balok

$\phi v_s \leq \phi v_{s_{max}}$, tentukan tulangan geser

dimana : ϕv_c = kekuatan geser nominal yang disumbangkan beton (MPa)

ϕv_s = kekuatan geser nominal yang harus dilawan sengkang (MPa)

$$A_{s_{sengkang}} = \frac{(v_u - \phi v_c) * b * 1000}{\phi * f_y} \quad (2.67)$$

$$A_{s_{sengkang \text{ min}}} = \frac{b * 1000}{3 * f_y} \quad (2.68)$$

dimana : A_s = luas penampang tulangan geser per meter panjang (mm^2)

b = lebar balok (mm)

v_u = batas tegangan geser dari penampang yang dapat melawan beban lentur dan geser (MPa)

ϕv_c = kekuatan geser nominal yang disumbangkan beton (MPa)

ϕ = faktor reduksi kekuatan (tanpa satuan)

f_y = tegangan leleh tulangan (MPa)

C. Menghitung Torsi dan Gaya Lintang

$$V_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f_c}}{6}\right) * b * d}{\sqrt{1 + \left(2,5 * C_t * \frac{T_u}{V_u}\right)^2}} \quad (2.69)$$

$$C_t = \frac{d}{b * h} \quad (2.70)$$

dimana : V_c = gaya geser lawan yang disumbangkan beton setelah adanya pengaruh torsi (N)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

b = lebar balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

T_u = momen torsi terfaktor (Nmm²)

V_u = gaya geser terfaktor (N)

$$\phi V_c = 0,6 * V_c \quad (2.71)$$

Jika : $V_u \leq \phi V_c$, tidak perlu tulangan geser

$V_u > \phi V_c$, perlu tulangan geser

Menentukan nilai $\phi V_{s_{max}}$ berdasarkan rumus :

$$\phi V_{s_{max}} = \phi * \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} * b * d \quad (2.72)$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \quad (2.73)$$

dimana : ϕV_s = gaya geser yang harus dilawan sengkang (N)

Jika : $\phi V_s > \phi V_{s_{max}}$, perbesar ukuran balok

$\phi V_s \leq \phi V_{s_{max}}$, tentukan tulangan geser

$$A_{s_{sengkang}} = \frac{(v_u - \phi v_c) * b * 1000}{\phi * f_y} \quad (2.74)$$

$$(v_u - \phi v_c) = \frac{(V_u - \phi V_c)}{b * d}$$

$$A_{s_{sengkang \ min}} = \frac{b * 1000}{3 * f_y} \quad (2.75)$$

$$T_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f_c}}{15}\right) * b^2 * h}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{0,4 * V_u}{C_t * T_u}\right)^2\right]}} \quad (2.76)$$

dimana : T_c = momen torsi lawan yang disumbangkan beton setelah adanya pengaruh gaya lintang (Nmm)

$$\phi T_c = 0,6 * T_c \quad (2.77)$$

Jika : $T_u \leq \phi T_c$, tidak perlu tulangan torsi

$T_u > \phi T_c$, perlu tulangan torsi

Menentukan nilai $\phi T_{s_{max}}$ berdasarkan Tabel 19 CUR 1

$$\phi T_s = T_u - \phi T_c \quad (2.78)$$

dimana : ϕT_s = momen torsi yang harus dilawan sengkang (Nmm)

Jika : $\phi T_s > \phi T_{s_{max}}$, perbesar ukuran balok

$\phi T_s \leq \phi T_{s_{max}}$, tentukan tulangan torsi

$$\text{Jarak antar sengkang : } s = \frac{\alpha_t * A_t * x_1 * y_1 * \phi * f_y}{\phi T_s} \quad (2.79)$$

dimana : α_t = koefisien sebagai fungsi dari y dan x (tanpa satuan)

A_t = luas satu kaki sengkang penahan torsi sejarak s (mm²)

x_1 = jarak pusat ke pusat sengkang dalam arah x (mm)

y_1 = jarak pusat ke pusat sengkang dalam arah y (mm)

Koefisien α_t dapat dibaca dalam grafik pada gambar 7.8 CUR 1

Tentukan luas penampang tulangan torsi yang digunakan berdasarkan diameter dan jarak antar sengkang yang sudah diketahui ($A_{s_{torsi}}$)

Jumlah penampang sengkang yang diperlukan :

$$A_{S \text{ total}} = \frac{A_{S \text{ sengkang}}}{2} + A_{S \text{ torsi}} \quad (2.80)$$

Tulangan memanjang yang diperlukan terhadap torsi didapatkan sebagai berikut :

$$A_t = \frac{x_1 + y_1}{x_1 * y_1} * \frac{2 * (T_u - \phi T_c)}{\alpha_t * \phi * f_y} \quad (2.81)$$

2.5.3.2. Perencanaan Struktur Kolom

Elemen kolom menerima beban lentur dan beban aksial, menurut SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 11.3.2.2. untuk perencanaan kolom yang menerima beban lentur dan beban aksial ditetapkan koefisien reduksi bahan 0,65 sedangkan pembagian tulangan pada kolom (berpenampang segiempat) dapat dilakukan dengan :

- Tulangan dipasang simetris pada dua sisi kolom (*two faces*)
- Tulangan dipasang pada empat sisi kolom (*four faces*)

Pada perencanaan gedung BPS ini dipakai perencanaan kolom dengan menggunakan tulangan pada empat sisi penampang kolom (*four faces*).

Perhitungan gaya-gaya dalam pada kolom menggunakan program SAP 2000 V.10. Dari hasil output gaya-gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 (CUR 1).

A. Menghitung Tulangan Utama Kolom

Kapasitas penampang kolom beton bertulang dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M yang menunjukkan hubungan beban aksial dan momen lentur pada kondisi batas. Setiap kombinasi beban yang berada pada bagian dalam kurva berarti aman, sedangkan setiap kombinasi yang berada di luar kurva menyatakan keruntuhan. Analisis gaya – gaya dalam

berupa momen, gaya geser, gaya normal, maupun torsi yang terjadi pada kolom dihitung dengan bantuan SAP 2000 V.10. Setelah itu, dengan bantuan program *PCACol* di cari hubungan antara beban aksial dan momen lentur dalam bentuk kurva interaksi P dan M

a. Beban aksial maksimum

$$P_o = (0,85 \times f'c \times (A_g - A_{st})) + (f_y \times A_{st}) \quad (2.82)$$

$$P_o = 0,65 \times P_o \quad (2.83)$$

$$P_{nmax} = 0,8 \times P_o \quad (2.84)$$

b. Kondisi balanced

$$x_b = \frac{0,003 \times d}{0,002 + 0,003} \quad (2.85)$$

$$a_b = \beta_1 \times x_b = 0,81 \times 322,5 = 261,225 \text{ mm} \quad (2.86)$$

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a_b \times B \quad (2.87)$$

Gaya aksial yang mampu diberikan penampang kolom saat balance:

$$P_{nb} = \Sigma C_c + \Sigma C_s - \Sigma T_s \quad (2.88)$$

$$\Phi P_{nb} = 0,65 \times P_n \quad (2.89)$$

Kesetimbangan momen diambil terhadap titik pusat plastis (untuk penampang simetris = $1/2 h$), berikut adalah perhitungannya:

$$P_{beb} = C_c (1/2h - 1/2a_b) + \Sigma C_s (1/2h - d_i) + \Sigma T_s (1/2h - d_i) \quad (2.90)$$

B. Menghitung Tulangan Geser dengan Gaya Aksial

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (2.91)$$

$$V_c = 0,3 \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times \sqrt{1 + \frac{0,3 \times N_u}{A_{gr}}} \quad (2.92)$$

dimana : V_n = kuat geser nominal (N)

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau (N)

ϕ = faktor reduksi (tanpa satuan)

V_c = gaya geser lawan yang disumbangkan beton (N)

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

b = lebar penampang kolom (mm)

d = tinggi efektif penampang kolom (mm)

N_u = gaya aksial yang terjadi (N)

A_{gr} = luas total penampang kolom (mm²)

Jika : $(V_n - V_c) \geq \frac{2}{3} * \sqrt{f_c} * b * d$, maka penampang harus diperbesar

$(V_n - V_c) < \frac{2}{3} * \sqrt{f_c} * b * d$, maka penampang cukup

Jika : $V_u < \phi V_c$, maka tidak perlu tulangan geser

$V_u \geq \phi V_c$, maka perlu tulangan geser

- Jika $V_n < \frac{\phi * V_c}{2}$, maka perlu tulangan geser minimum

$$A_v = \frac{b * s}{3 * f_y} \quad (2.93)$$

$$\text{Syarat : } s \leq \frac{d}{2}$$

- Jika $V_n < \frac{\phi * V_c}{2}$, maka perlu tulangan geser

$$A_v = \frac{(V_n - V_c) * s}{d * f_y} \quad (2.94)$$

$$\text{Syarat : } s \leq \frac{d}{2}$$

$$\text{Jika } (V_n - V_c) \geq 0,33 * \sqrt{f_c} * b * d, \text{ maka : } s \leq \frac{d}{4} \quad (2.95)$$

dimana : A_v = luas penampang tulangan geser (mm²)

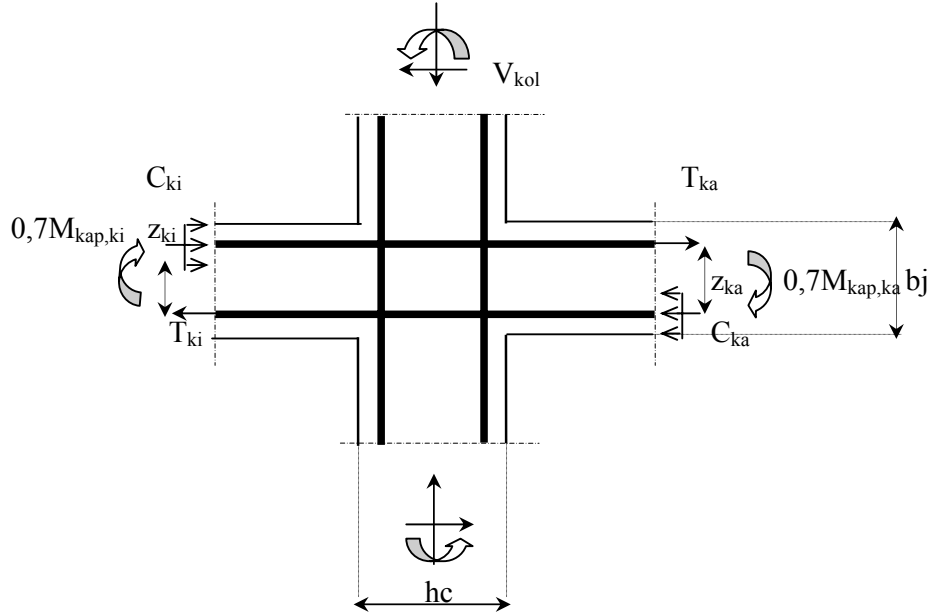
b = lebar penampang kolom (mm)

s = jarak tulangan geser (mm)

d = tinggi efektif penampang kolom (mm)

f_y = tegangan leleh tulangan (MPa)

2.5.3.3. Pertemuan Balok dengan Kolom (Beam Column Joint)



Gambar 2.15. Pertemuan Balok dengan Kolom

a. Mencari $M_{nak,ka} = M_{nak,ki}$

$$d = h - p - \varnothing_{sengkang} - D_{tul} - 25 - \frac{1}{2} \cdot D_{tul} \quad (2.125)$$

Ratio $\frac{A_{s'}}{A_s}$

$$\rho_{max} = \left(\frac{\beta_1 \cdot 4500}{6000 + f_y} \right) \cdot \left(\frac{0,81 \cdot f'_c}{f_y} \right) \quad (2.126)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \quad (2.127)$$

$$\rho = \frac{A_{sterpasang}}{(b \cdot d)} \quad (2.128)$$

$$\rho' = \frac{A_{s' terpasang}}{(b \cdot d)} \quad (2.129)$$

(A) $\rho - \rho'$

$$(B) \beta_1 \cdot \left[\frac{0,81 \cdot f_c}{f_y} \right] \cdot \left(\frac{d'}{d} \right) \cdot \left[\frac{6000}{(6000 - f_y)} \right]$$

Jika : (A) < (B) maka As' tidak diperhitungkan

$$F = \frac{\rho \cdot f_y}{0,81 \cdot f_c} \quad (2.130)$$

$$K = F \cdot \left(1 - \frac{F}{2} \right) \quad (2.131)$$

$$M_n = K \cdot b \cdot d^2 \cdot 0,81 \cdot f_c \quad (2.132)$$

dimana : F = bagian penampang yang tertekan (tanpa satuan)

K = kuadrat dari F (tanpa satuan)

b. Perhitungan Gaya gaya dalam

$$V_{kolom} = \frac{0,7 \cdot \left(\frac{l_{ki}}{l_{ki'}} \cdot M_{kap,ki} + \frac{l_{ka}}{l_{ka'}} \cdot M_{kap,ka} \right)}{\frac{1}{2} (h_{k,a} + h_{k,b})} \quad (2.133)$$

dimana :

l_{ki} dan l_{ka} = bentang as kiri dan kanan join (mm)

$l_{ki'}$ dan $l_{ka'}$ = bentang bersih balok kiri dan kanan join (mm)

$h_{k,a}$ dan $h_{k,b}$ = bentang as ke as kolom atas dan bawah join (mm)

$$a_{ka} = \frac{As \cdot f_y}{0,81 \cdot f_c \cdot b} \quad (2.134)$$

$$d_{ka} = h - p - \varnothing_{sengkang} - D_{tul} - 25 - \frac{1}{2} \cdot D_{tul} \quad (2.135)$$

$$Z_{ka} = d - 0,5 a \quad (2.136)$$

$$T_{ka} = 0,7 \times \frac{M_{kap,ka}}{Z_{ka}} \quad (2.137)$$

$$a_{ki} = \frac{As \cdot f_y}{0,81 \cdot f_c \cdot b} \quad (2.138)$$

$$d_{ki} = h - p - \varnothing_{\text{sengkang}} - D_{\text{tul}} - 25 - \frac{1}{2} \cdot D_{\text{tul}} \quad (2.139)$$

$$Z_{ki} = d - 0,5 a \quad (2.140)$$

$$T_{ki} = 0,7 \times \frac{M_{\text{kap,ki}}}{Z_{ki}} \quad (2.141)$$

$$V_{j,h} = T_{ki} + T_{ka} - V_{\text{kolom}} \quad (2.142)$$

$$V_{j,v} = \frac{hc}{bj} \times V_{j,h} \quad (2.143)$$

dimana : a_{ka}, a_{ki} = tinggi blok tegangan tekan (mm)

Z_{ka}, Z_{ki} = jarak antara resultan gaya tekan beton dengan gaya tarik di tulangan (mm)

T_{ka}, T_{ki} = resultan gaya tarik (N)

$V_{j,h}$ = gaya geser horisontal (N)

$V_{j,v}$ = gaya geser vertikal (N)

hc = tinggi total penampang kolom dalam arah geser yang ditinjau (mm)

bj = lebar efektif join (mm)

c. Kontrol tegangan horizontal minimal

$$V_{\text{kontrol}} = \frac{V_{j,h}}{bj \times hc} < 1,5\sqrt{f'c} \quad (2.144)$$

dimana : V_{kontrol} = tegangan geser horisontal (N/mm^2)

Dengan lebar efektif pertemuan (bj) diambil sebagai berikut :

a. Bila bc (kolom) $>$ bb (balok), maka diambil nilai terkecil antara $bj = bc$ atau $bj = bb + 0,5hc$

b. Bila bc (kolom) $<$ bb (balok), maka diambil nilai terkecil antara $bj = bb$ atau $bb = bc + 0,5hc$

d. Penulangan Tegangan Geser Horizontal

$$V_{c,h} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_{gr}} - 0,1 * f'c \right)} * b_j * h_c \quad (2.145)$$

$$V_{s,h} + V_{c,h} = V_{j,h} \quad (2.146)$$

$$A_{s,h} = \frac{V_{s,h}}{f_y} \quad (2.147)$$

dimana : $V_{c,h}$ = gaya geser pada strat beton diagonal daerah tekan (N)

$N_{u,k}$ = gaya aksial rencana (N)

A_{gr} = luas total penampang (mm^2)

$V_{s,h}$ = gaya geser pada strat beton diagonal daerah tarik (N)

$A_{s,h}$ = luas total efektif tulangan geser horisontal (mm^2)

Jadi jumlah lapis sengkang : $\frac{A_{s,h}}{As \text{ terpasang}}$

e. Penulangan Tegangan Geser Vertikal

$$V_{c,v} = \frac{As'}{As} * V_{j,h} * \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_{gr} * f'c} \right) \quad (2.148)$$

$$V_{s,v} = V_{j,v} - V_{c,v} \quad (2.149)$$

$$A_{s,v} = \frac{V_{s,v}}{f_y} \quad (2.150)$$

dimana : $V_{c,v}$ = gaya geser pada strat beton diagonal daerah tekan (N)

$V_{s,v}$ = gaya geser pada strat beton diagonal daerah tarik (N)

$A_{s,v}$ = luas total efektif tulangan geser vertikal (mm^2)

2.5.3.4. Penjangkaran Balok Kolom

Sebagaimana ditentukan dalam SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 14.5.2, panjang penyaluran dasar Lhb yang dibutuhkan untuk mengembangkan kuat

luluh f_y dalam batang kait diukur dari lokasi timbulnya kuat luluh ke sisi luar ekstrim kait, sebagai berikut :

$$L_{hb} = \frac{100d_b}{\sqrt{f'c}} \quad (2.151)$$

dimana : L_{hb} = panjang penyaluran dasar (mm)

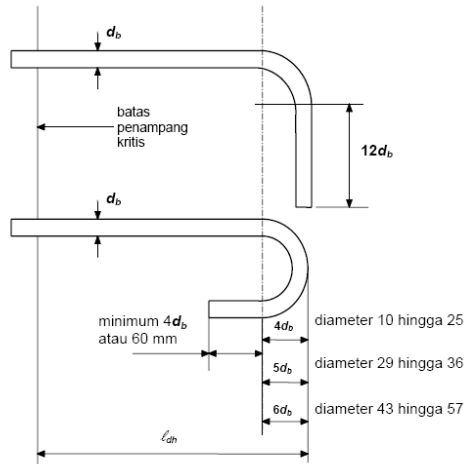
d_b = diameter tulangan (mm)

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

Syarat : tidak kurang dari 150 mm dan $8 \cdot d_b$.

Kemudian dilakukan pemeriksaan cukup tidaknya lebar kolom untuk dipasang penjangkaran.

$$L_{hb} + p < b_{kolom}$$



Gambar 2.16. Model Penjangkaran

2.5.4. Perencanaan Tangga

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

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

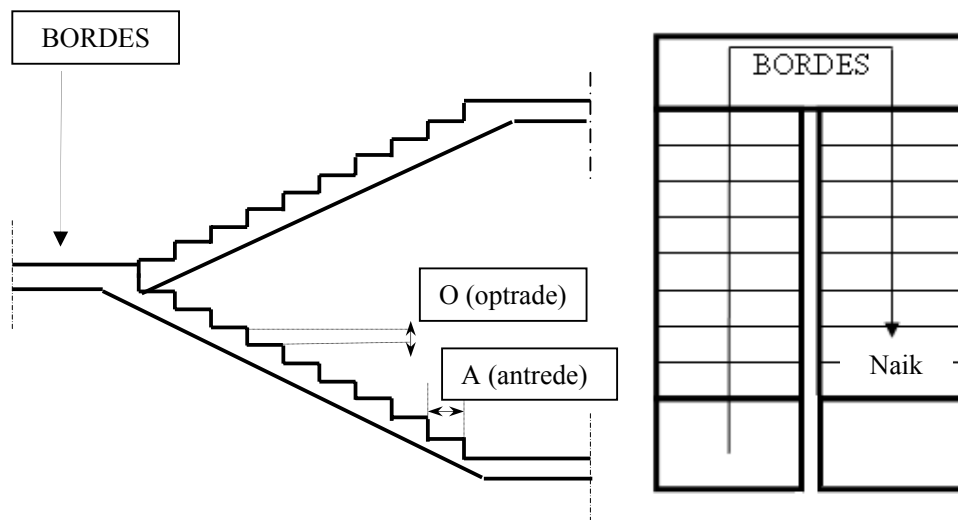
Menurut Buku Diktat Konstruksi Bangunan Sipil yang disusun Ir. Supriyono

$$O = \tan \alpha \times A \quad (2.152)$$

$$2 \times O + A = 61 \sim 65 \quad (2.153)$$

dimana : O = oprade = langkah naik (mm)

A = antrede = langkah datar (mm)



Gambar 2.17. Struktur tangga

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.

2.5.5. Perencanaan Balok Penggantung Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dari satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

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, misalnya tali putus.

2.6. PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG

Berdasarkan data hasil penyelidikan tanah dan beban-beban yang bekerja, pada Proyek Pembangunan Gedung BPS ini dipilih penggunaan 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.

2.6.1. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Individual 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.

A. Berdasarkan kekuatan bahan

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

$$\sigma_b = 0.33 \times f'_c \quad (2.154)$$

$$P_{\text{tiang}} = \sigma_b \times A_{\text{tiang}} \quad (2.155)$$

dimana : f'_c = kuat tekan beton (MPa)

σ_b = tegangan ijin beton (MPa)

A_{tiang} = luas penampang tiang pancang (mm^2)

P_{tiang} = daya dukung tiang pancang (N)

B. Berdasarkan hasil sondir

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

- **End Bearing Pile**

Tiang pancang yang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras di bawahnya.

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

$$P_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \times q_c}{3} \quad (2.156)$$

dimana :

P_{tiang} = daya dukung tiang pancang (N)

A_{tiang} = luas permukaan tiang pancang (mm^2)

q_c = nilai *conus* hasil sondir = $\frac{1}{2} (q_{cu} + q_{cb})$ (N/mm^2)

q_{cu} = *conus resistance* rata-rata 8D di atas ujung tiang (N/mm^2)

q_{cb} = rata - rata perlawanan *conus* setebal 4D di bawah tiang (N/mm^2)

- **Friction Pile**

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

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah:

$$P_{\text{tiang}} = \frac{O * JHP}{5} \quad (2.157)$$

dimana :

P_{tiang} = daya dukung tiang pancang (N)

O = keliling tiang pancang (mm)

JHP = Jumlah Hambatan Pelekat = *Total friction* (N/mm)

- **End Bearing And Friction Pile**

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

$$P_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} * q_c}{3} + \frac{O * JHP}{5} \quad (2.158)$$

C. Berdasarkan Data SPT

- Metode *Japan Road Association*

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan menggunakan data SPT dapat digunakan menurut *Japan Road Association*. *Japan Road Association* mengusulkan cara untuk menentukan tahanan friksi batas dan tahanan ujung batas untuk precast pile dan cast in place pile. Tahanan friksi/gaya geser pada dinding tiang adalah seperti tertera pada tabel 2.10. Tahanan ujung untuk precast pile ditentukan dengan menggunakan gambar 2.20. Langkah-langkah untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan metode *Japan Road Association* adalah :

- Menentukan panjang penetrasi

Panjang penetrasi ditentukan berdasarkan gambar pada masing-masing hasil data SPT. Untuk menentukan panjang penetrasi langkah-langkahnya adalah :

- 1) Menentukan nilai SPT pada ujung tiang (N1)
- 2) Menentukan nilai SPT rata-rata untuk 4D ke atas dari ujung tiang (N2)
- 3) Menentukan nilai SPT rata-rata dari N1 dan N2 (\bar{N})
- 4) Menentukan jarak antara nilai SPT ujung tiang dengan nilai SPT rata-rata (\bar{N})
- 5) Membuat bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata yang seimbang dengan bidang luasan di bawah nilai SPT rata-rata
- 6) Menentukan jarak antara nilai SPT rata-rata dengan nilai SPT teratas dari bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata
- 7) Panjang penetrasi adalah jumlah dari jarak antara nilai SPT ujung tiang dengan nilai SPT rata-rata (N) dan jarak antara nilai SPT rata-rata dengan nilai SPT teratas dari bidang luasan di atas nilai SPT rata-rata.

- Menghitung Daya Dukung Tiang

Menggunakan metode ini daya dukung tiang yang diijinkan (P_{tiang}) dapat diperoleh rumus sebagai berikut :

$$P_{\text{tiang}} = \frac{q_d * A_{\text{tiang}} + O \sum t_i * f_i}{2,5} \quad (2.159)$$

dimana : P_{tiang} = daya dukung tiang pancang (N)

q_d = daya dukung terpusat tiang pancang (N/mm²)

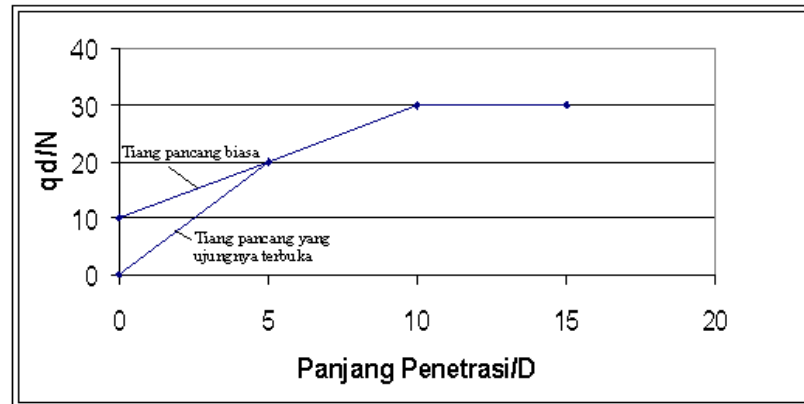
A_{tiang} = luas penampang tiang pancang (mm²)

O = keliling penampang tiang pancang (mm)

t_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang pancang (mm)

f_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang pancang (N/ mm²)

Daya dukung berdasarkan hasil SPT perlu diketahui, sebab merupakan salah satu cara untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung (*bearing capacity*).



(“Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi”, Ir. Suyono, hal. 102)

Gambar 2.18. Diagram Perhitungan dari Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi pada Ujung Tiang

Nilai q_d didapat dari diagram diatas, dimana :

N = harga N-SPT rata-rata ujung tiang pancang = $\frac{N_1 + N_2}{2}$ (tanpa satuan)

N_1 = harga N pada ujung tiang pancang (tanpa satuan)

N_2 = harga rata-rata N pada jarak $4D$ di atas ujung tiang pancang (tanpa satuan)

D = diameter tiang pancang (mm)

Tabel 2.10. Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang (f_i)

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

(“Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi”, Ir. Suyono, hal. 102)

- **Rumus Mayerhoff**

$$P_{\text{tiang}} = 40 \times N \times A_{\text{tiang}} + (1/5 \times \bar{N} \times A_o) \quad (2.160)$$

dimana :

P_{tiang} = daya dukung tiang pancang (ton)

A_{tiang} = luas penampang tiang pancang (m²)

N = nilai SPT pada ujung tiang pancang (tanpa satuan)

\bar{N} = nilai rata-rata SPT (tanpa satuan)

A_o = luas selimut tiang pancang (m²)

2.6.2. Daya Dukung Ijin Tiang Grup (P_{allgroup})

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

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

$$\text{Eff} = 1 - \frac{\varphi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \times n} \right] \quad (2.161)$$

$$P_{\text{allgroup}} = \text{Eff} \times P_{\text{tiang}} \times z \quad (2.162)$$

dimana :

- Eff = faktor efisiensi (tanpa satuan)
- m = jumlah kolom grup tiang pancang (tanpa satuan)
- n = jumlah baris grup tiang pancang (tanpa satuan)
- φ = arc tan (D/s) (derajat)
- D = diameter tiang pancang(mm)
- s = jarak antar tiang pancang (mm)
- z = jumlah tiang pancang (tanpa satuan)

2.6.3. Pmax Yang Terjadi Pada Tiang Pancang Akibat Pembebanan

$$P_{\max} = \frac{\Sigma P_v}{z} \pm \frac{M_x \times Y_{\max}}{n \Sigma y^2} \pm \frac{M_y \times X_{\max}}{m \Sigma x^2} \quad (2.163)$$

dimana :

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

ΣP_v = jumlah beban vertikal (N)

z = jumlah tiang pancang (tanpa satuan)

M_x = momen arah X (Nmm)

M_y = momen arah Y (Nmm)

X_{\max} = absis maksimum (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang (mm)

Y_{\max} = ordinat maksimum (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang (mm)

n = jumlah baris grup tiang pancang (tanpa satuan)

m = jumlah kolom grup tiang pancang (tanpa satuan)

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

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

2.6.4. Penentuan Kedalaman Tiang Pancang

Hasil penyelidikan tanah di lapangan melalui uji *boring* dan sondir, lapisan tanah keras dengan N-SPT mendekati 50 dijumpai pada sekitar kedalaman -15,00 meter dari permukaan tanah setempat, dengan diskripsi tanah keras (*hard*) dan sangat kaku (*very stiff*).

Berdasarkan data tersebut maka pada perencanaan struktur gedung BPS ini, pondasi tiang pancang akan ditanam sampai kedalaman tanah keras 25 meter dari permukaan tanah.