

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Pada tahap perencanaan struktur gedung perkantoran ini, perlu dilakukan peninjauan pustaka untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan digunakan, disamping juga untuk mengetahui dasar-dasar teorinya. Pada jenis struktur gedung tertentu, perencanaan sering kali diharuskan menggunakan suatu pola akibat dari syarat-syarat fungsional maupun strukturnya. Pola-pola yang dibentuk oleh konfigurasi fungsional akan berpengaruh secara implisit pada desain struktur yang digunakan. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menentukan, misalnya pada situasi yang mengharuskan bentang ruang yang besar serta harus bebas kolom, sehingga akan menghasilkan beban yang harus dipikul oleh balok yang lebih besar pula.

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

2.2. Konsep Pemilihan Jenis Struktur

Pemilihan jenis struktur atas (*upper structure*) mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional gedung. Dalam proses desain struktur perlu dicari kedekatan antara jenis struktur dengan masalah-masalah seperti arsitektural, efisiensi, *service ability*, kemudahan pelaksanaan dan juga 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 mengakomodasi sistem layan gedung

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi yang dalam batas yang diijinkan. Keselamatan adalah hal penting dalam perencanaan struktur gedung

terutama dalam penanggulangan bahaya kebakaran, maka dilakukan usaha-usaha sebagai berikut :

- a. Perencanaan *outlet* yang memenuhi persyaratan
 - b. Penggunaan material tahan api terutama untuk instalasi-instalasi penting
 - c. Fasilitas penanggulangan api disetiap lantai
 - d. *Warning system* terhadap api dan asap
 - e. Pengaturan ventilasi yang memadai
6. Aspek lingkungan

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

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

1. Keadaan tanah pondasi

Jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah erat kaitannya dengan jenis pondasi yang dipilih.

2. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya

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

3. Batasan-batasan dilingkungan sekelilingnya

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

4. Waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan

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

2.2.1. Elemen-Elemen Struktur Utama

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

2.2.2. Material / Bahan Struktur

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

1. Struktur Baja (*Steel Structure*)

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

2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)

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

3. Struktur Kayu (*Wooden Structure*)

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

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

Struktur beton bertulang ini banyak digunakan untuk struktur bangunan tingkat menengah sampai tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan struktur lainnya. Pada perencanaan gedung ini juga menggunakan material struktur beton bertulang yang cor di tempat.

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

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

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

Penggunaan sistem prategang pada elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi daripada struktur dan akan mempengaruhi karakteristik respon terhadap gempa. Struktur ini digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai menengah.

2.3. Konsep Desain / Perencanaan Struktur

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

2.3.1. Desain Terhadap Beban Lateral (Gempa)

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

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

a. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

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

1. Metode Analisis Statis

Merupakan analisis sederhana untuk menentukan pengaruh gempa tetapi hanya 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 menyederhankan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral orce Method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasar basil 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. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur bangunan dengan karakteristik sebagai berikut:

- a. Gedung - gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan
- b. Gedung - gedung dengan loncatan - loncatan bidang muka yang besar
- c. Gedung - gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- d. Gedung - gedung dengan yang tingginya lebih dan 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.

b. 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 diatas, maka perencanaan struktur gedung dalam tugas akhir ini menggunakan **metode analisa beban statik ekuivalen**.

2.3.2. Denah Dan Konfigurasi Bangunan

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

2.3.3. Pemilihan Material

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

Beton Struktur : $f'c = 30 \text{ MPa}$

Baja :

Tul. Utama : $f_y = 400 \text{ MPa}$

Tul. Geser : $f_y = 240 \text{ MPa}$

Profil : $f_y = 250 \text{ MPa}$

2.3.4. Konsep Pembebanan

a. Beban - Beban Pada Struktur

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

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

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

1. Beban Statis

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

a. Beban Mati

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

Tabel 2.1 Beban Mati Pada Struktur

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

2. Beban hidup

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

Tabel 2.2 Beban Hidup Pada Lantai Bangunan

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai Kantor	250 kg / m ²
Tangga dan Bordes	300 kg / m ²
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg / m ²
Beban Pekerja	100 kg / m ²

3. Beban Gempa

a. Gempa Rencana dan Gempa Nominal

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)

Besarnya beban Gempa Nominal yang digunakan untuk perencanaan struktur ditentukan oleh tiga hal, yaitu oleh besarnya Gempa Rencana, oleh tingkat daktilitas yang dimiliki struktur, dan oleh nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur.

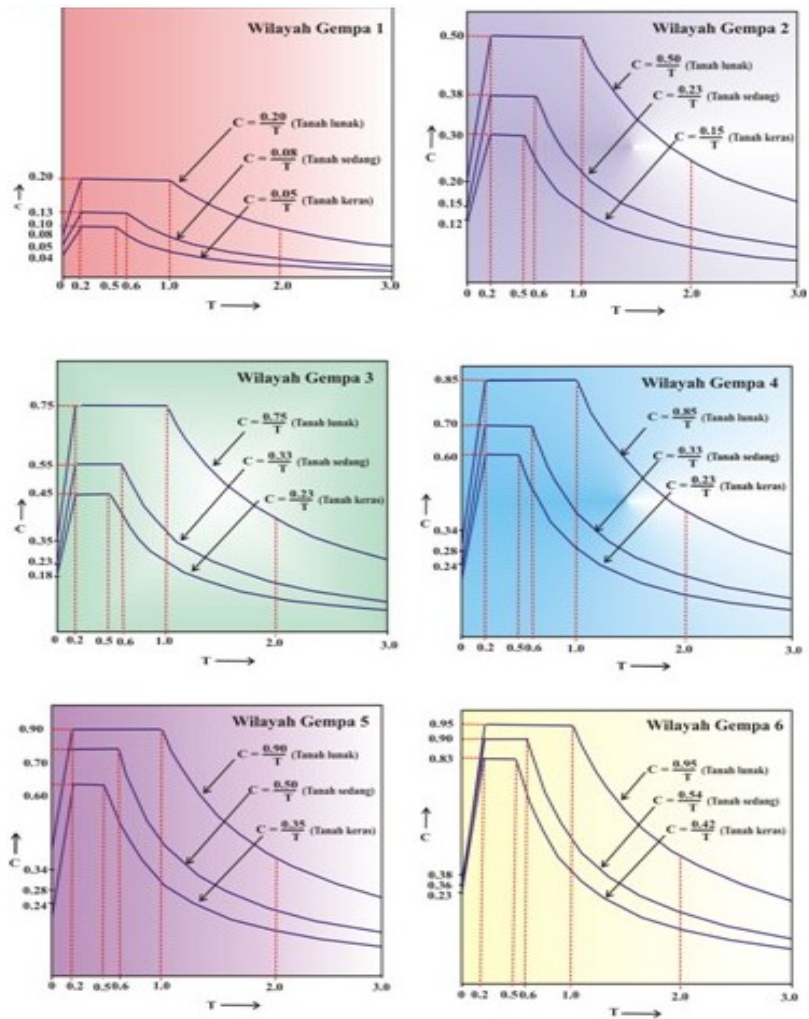
Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002), besarnya beban gempa horizontal (V) yang bekerja pada struktur bangunan, ditentukan menurut persamaan :

$$V = \frac{C * I}{R} W_t$$

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

1. Beban mati total dari struktur bangunan gedung
 2. Jika digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai, maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0,5 kPa.
 3. Pada gudang-gudang dan tempat penyimpanan barang, maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan.
 4. Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan.
- b. Faktor Respon Gempa (C)

Harga dari faktor respon gempa C dapat ditentukan dari Diagram Spektrum Respon Gempa Rencana, sesuai dengan wilayah gempa dan kondisi jenis tanahnya untuk waktu getar alami fundamental.



Gambar 2.1 Spektrum Respon Untuk Masing-Masing Daerah Gempa

c. Faktor Keutamaan (I)

Faktor keutamaan 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 lain pada umumnya. Waktu ulang dari kerusakan struktur gedung akibat gempa akan diperpanjang dengan pemakaian suatu faktor keutamaan.

Tabel 2.3 Faktor Keutamaan I untuk Berbagai Gedung dan Bangunan

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I ₁	I ₂	I
Gedung umum seperti untuk perumahan, pemiagaan 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

Catatan :

Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya Standar ini maka Faktor Keutamaan, I, dapat dikalikan 80%.

d. 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 linear. 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 duktail (*ductile*) atau liat, jika beban yang ada melampaui batas maksimum kekuatan elastisitasnya, 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 kepada bentuknya semula. Pada struktur yang duktail, 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 elastis = δp).

Dari uraian diatas 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 dirubah 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.

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

$$1.10 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m$$

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

Tabel 2.4 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m Pers. (6)	f Pers. (39)	
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 seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	1. Dinding geser				
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8	
	b. Beton bertulang dengan SRPMB saja	2,6	4,2	2,8	
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8	
	2. RBE baja				
	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8	
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8	
	3. Rangka bresing biasa				
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8	
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8	
	c. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	4,0	6,5	2,8	
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton	2,6	4,2	2,8	

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m Pers. (6)	f Pers. (39)
	bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)			
	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

e. Arah Pembebanan Gempa

Jika besarnya beban gempa sudah dapat diperkirakan, maka tahap selanjutnya adalah menentukan arah beban gempa terhadap bangunan. Kenyataannya arah datangnya gempa terhadap bangunan tidak dapat ditentukan dengan pasti, artinya pengaruh gempa dapat datang dari sembarang arah. Jika bentuk denah dari bangunan simetris dan teratur, sehingga bangunan jelas memiliki sistem struktur pada dua arah utama bangunan yang saling tegak lurus, perhitungkan arah gempa dapat dilakukan lebih sederhana.

Pembebanan gempa tidak penuh tetapi biaxial atau sembarang dapat menimbulkan pengaruh yang lebih rumit terhadap struktur gedung ketimbang pembebanan gempa penuh tetapi uniaxial. Untuk mengantisipasi kondisi ini *Applied Technology Council* (ATC, 1984) menetapkan bahwa, arah gempa yang biaxial dapat disimulasikan dengan meninjau beban gempa rencana yang disyaratkan oleh peraturan, bekerja pada kedua arah sumbu utama struktur bangunan yang saling tegak lurus secara simultan. Besarnya

beban gempa pada struktur dapat diperhitungkan dengan menjumlahkan 100% beban gempa pada satu arah dengan 30% beban gempa pada arah tegak lurus nya.

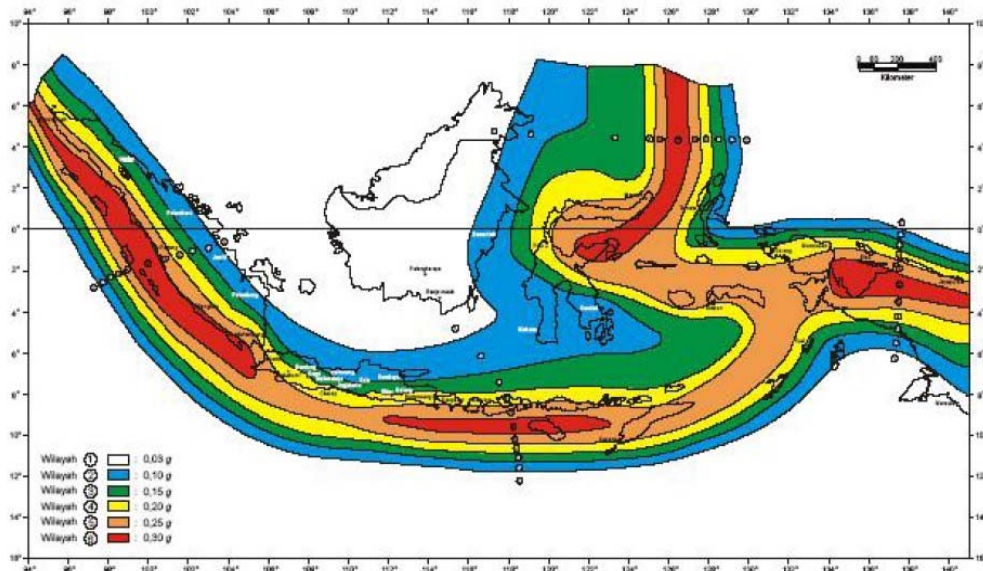
f. Wilayah Gempa dan Spektrum Respon

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 2.2, dimana Wilayah Gempa 1 adalah wilayah kegempaan paling rendah, dan Wilayah Gempa 6 adalah wilayah dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian Wilayah Gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap Wilayah gempa ditetapkan dalam Tabel 2.5

Tabel 2.5. Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah A_0 ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Peta Wilayah Gempa Indonesia Indonesia dibuat berdasarkan analisis probabilistik bahaya gempa (*probabilistic seismic hazard analysis*), yang telah dilakukan untuk seluruh wilayah Indonesia berdasarkan data seismotektonik mutakhir yang tersedia saat ini. Data masukan untuk analisis pembuatan peta gempa adalah lokasi sumber gempa, distribusi magnitudo gempa didaerah sumber gempa, fungsi perambatan gempa (atenuasi) yang memberikan hubungan antara gerakan tanah setempat, magnitudo gempa disumber gempa, dan jarak dari tempat yang ditinjau sampai sumber gempa, serta frekuensi kejadian gempa per tahun di daerah sumber gempa. Sebagai daerah sumber gempa, ditinjau semua sumber gempa yang telah tercatat dalam sejarah kegempaan di Indonesia, baik sumber gempa pada zona subduksi, sumber gempa dangkal pada lempeng bumi, maupun sumber gempa pada sesar-sesar aktif yang sudah teridentifikasi.



Gambar 2.2 Peta Kegempaan Indonesia, Terdiri Dari 6 Wilayah gempa

g. Pembatasan Waktu Getar

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

$$T < \xi n$$

Dimana : T = waktu getar struktur fundamental

n = jumlah tingkat gedung

ξ = koefisien pembatas yang ditetapkan berdasarkan tabel 2.6

Tabel 2.6 Koefisien Pembatas Waktu Getar Struktur

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

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002)

h. Jenis Tanah

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

- a. Standart penetrasi test (N)
- b. Kecepatan rambat gelombang geser (Vs)
- c. Kekuatan geser tanah (Su)

Definisi dari jenis-jenis tanah tersebut ditentukan atas tiga (3) kriteria, yaitu Vs, N 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 2.7 Jenis Tanah Berdasarkan SNI Gempa 2002

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

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

4. Beban Angin(Wind Load/WL)

Beban angin adalah beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (hisapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan angin untuk gedung diambil minimum 25 kg/m^2 dan dikalikan dengan koefisien angin untuk dinding vertikal :

- a. Di pihak angin

$\alpha < 65^0$ ($0,02 \alpha$)	+1,0
$65^0 < \alpha < 90^0$	+0,9
- b. Di belakang angin, untuk semua α -0,4

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983 pasal 4.4.2. pada gedung tertutup dengan tinggi 16 meter dapat diberikan pembebasan atas pengaruh angin.

b. Faktor Beban Dan Kombinasi Pembebanan

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

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

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

SNI 03-1729-2002 sub bab 6.2.2 menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

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

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

$$U = 1.2D + 1.6L$$

$$U = 1.2 D + \gamma_L L \pm 1.0E$$

dimana:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

γ_L = 0.5 bila $L < 5\text{Kpa}$, dan 1 bila $\geq 5\text{ Kpa}$

2.3.5. Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya. SNI 03-1729-2002 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dan perhitungan struktur.

Tabel 2.8 Reduksi Kekuatan

Kuat Rencana Untuk	Faktor Reduksi
1. Komponen struktur komposit	
a. Kuat tekan	0.85
b. Kuat tumpu beton	0.60
c. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastic	0.85
d. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik	0.90
2. Komponen struktur yang memikul lentur	
Pelat badan yang memikul geser	0.90
3. Sambungan baut	0.75
a. Baut yang memikul geser	0.75
b. Baut yang memikul tarik	0.75

c. Baut yang memikul kombinasi geser & tarik	0.75
d. Lapis yang memikul tumpu	
3. Sambungan las	
a. Las tumpul penetrasi penuh	0.90
b. Las sudut dan tumpul penetrasi sebagian	0.75
c. Las pengisi	0.75

2.4. Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas adalah struktur bangunan dalam hal ini adalah bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dan struktur sekunder seperti atap, pelat, tangga, balok anak dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok, kolom. Perencanaan struktur portal utama direncanakan dengan menggunakan prinsip *strong column weak beam*, dimana sendi-sendi plastis diusahakan terletak pada balok- balok.

2.4.1. Perencanaan Atap

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

Berdasarkan Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung, tegangan yang digunakan sebagai dasar perhitungan dalam perencanaan ini yakni dari jenis baja BJ 41:

- a. Tegangan leleh : $f_y = 240 \text{ Mpa}$
- b. Tegangan putus : $f_u = 370 \text{ Mpa}$

Sedangkan pembebanan yang diberikan untuk perencanaan atap ini meliputi :

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

c. Beban angin

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

1. Angin masuk c : + 0.02 α - 0.4
2. Angin keluar c : - 0.4

Langkah-langkah perencanaan gording :

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

$$f = f_x + f_y \rightarrow f \leq f_y$$

$$f = \left(\frac{M_x}{\phi W_x} \right) + \left(\frac{M_y}{\phi W_y} \right)$$

6. Melakukan pengecekan kekakuan

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

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$$

$$\delta_x = \frac{5}{384} x \frac{qy.L^4}{E.I_x} + \frac{1}{48} x \frac{Py.L^3}{E.I_x}$$

$$\delta_y = \frac{5}{384} x \frac{qx.L^4}{E.I_y} + \frac{1}{48} x \frac{Px.L^3}{E.I_y}$$

7. Cek terhadap tegangan geser

$$V_u = V_y = V_y d + V_y l$$

Syarat – syarat kuat geser nominal (Vn)

$$V_u \leq \phi V_n$$

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

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

maka : $V_n = 0.6 \times f_y \times A_w$

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

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

atau

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

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

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

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

atau

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

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

Langkah-langkah perencanaan rangka atap :

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

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

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

- | | | |
|-------------|---|---|
| Kombinasi 1 | : | 1.4 DL |
| Kombinasi 2 | : | 1.2 DL + 1.6 LL |
| Kombinasi 3 | : | 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 WL (angin kiri) |
| Kombinasi 4 | : | 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 WL (angin kanan) |
| Kombinasi 5 | : | 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 WL (angin depan) |
| Kombinasi 6 | : | 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 WL (angin belakang) |
| Kombinasi 7 | : | (Komb. 1 + Komb. 2 + Komb. 3 + Komb. 4 + Komb. 5 + Komb. 6) |

Di mana :

DL : Dead Load

LL : Live Load

WL : Wind Load

- c. Melakukan pengecekan kekakuan

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

$$\delta = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}$$

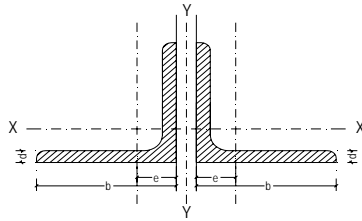
di mana :

U1 : Lendutan arah sumbu X

U2 : Lendutan arah sumbu Y

U3 : Lendutan arah sumbu Z

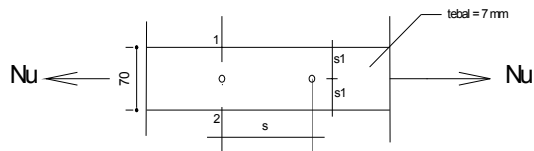
d. Melakukan pengecekan kekuatan pada profil majemuk



Gambar 2.3 Penampang Profil Siku Ganda

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

Cek terhadap batang Tarik :



Gambar 2.4 Batang Yang Mengalami Gaya Tarik

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

$$s_1 \geq 1,5d_b$$

$$s_1 \leq 12t_p$$

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

$$s \geq 3d_b$$

$$s \leq 15t_p$$

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

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

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$\phi N_n = 0,9 \times A_g f_y$$

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

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

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

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

Cek terhadap batang Tekan :

$$Nu \leq \phi Nn$$

$$\phi Nn = \phi \times A_g \times \frac{f_y}{\omega}$$

di mana :

a. $\omega = 1 \quad \rightarrow \quad \lambda_c \leq 0,25$

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

c. $\omega = 1,25\lambda_c^2 \quad \rightarrow \quad \lambda_c \geq 1,2$

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

Kestabilan batang majemuk :

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

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

Syarat kestabilan struktur :

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

$$\lambda_{iy} \geq 1,2\lambda_1$$

(SNI 03-1729-2002 pers. 9.3-7)

$$\lambda_1 \leq 50$$

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

Estimasi jarak kopel:

$$\frac{kL_i}{i_{\min}} = 0,75 \frac{kL_k}{i_x} \Rightarrow \frac{L_i}{i_{\min}} = 0,75 \frac{L_k}{i_x}$$

di mana :

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

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

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

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

$$A_g = 2 \times A_1$$

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

Kontrol tekuk lokal :

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

pada profil siku ganda dengan pelat kopel sebagai penyokong :

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

di mana :

m = jumlah batang yang disatukan

b = lebar profil siku

t = tebal profil siku

8. Merencanakan pelat kopel pada profil ganda

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

di mana:

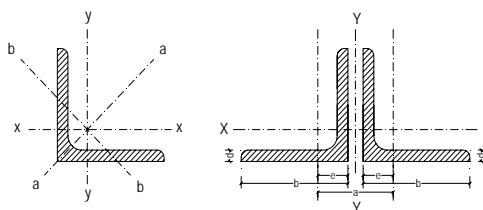
I_p = Momen kelembaman pelat kopel.

a = jarak sumbu elemen batang tersusun.

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

L_i = Jarak pelat kopel

a = $2 \cdot e$ + pelat pengisi



Gambar 2.5 Dimensi Penampang Profil Siku

$$V_u \leq \phi V_n$$

Gaya lintang yang dipikul (D)

$$D = V_u = 2 \% * N_u \quad (\text{SNI 03-1729-2002 pers. 9.3-8})$$

N_u = gaya batang yang terjadi

V_n = gaya geser nominal sama seperti persamaan sebelumnya

9. Perhitungan sambungan baut pada buhul

$$R_u \leq \phi R_n$$

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

$$V_d = \phi_f r_1 f_u^b A_b$$

ϕ_f = 0,75, faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

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

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

f_u^b = tegangan tarik putus baut

A_b = luas penampang bruto baut pada daerah yang tak berulir

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

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f \times 0,75 f_u^b A_b$$

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

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

ϕ_f = 0,75, faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

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

t_p = tebal pelat = 7 mm

f_u^p = tegangan tarik putus pelat

f_u^b = tegangan tarik putus dari baut

f_u = tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat

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

$$R_u \leq 0,85 \times \phi R_n$$

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

10. Perhitungan *bracing*/kait angin

Dikarenakan pada SNI 03-1729-2002 tidak dijelaskan mengenai perencanaan *bracing* (ikatan angin) pada struktur atap (hanya pada bangunan struktur baja tahan gempa), maka kami mengambil referensi dari PPBBI 1984.

Berdasarkan PPBBI 1984 bab 7 , pasal 7.3, hal 64 :

“Pada hubungan gording ikatan angin, harus dianggap ada gaya P' yang arahnya sumbu gording”, yang besarnya adalah :

$$P' = (0,01 \times P \text{ kuda}) + (0,005 \times n \times q \times dk \times dg)$$

Dimana :

n : Jumlah trave antara 2 bentang ikatan angin

q : Beban atap vertikal terbagi rata

dk : Jarak kuda-kuda

dg : Jarak gording

$P \text{ kuda-kuda}$: gaya pada batang tepi kuda-kuda di tempat gording itu.

$$A = \frac{P}{\sigma}$$

Di mana :

A = luas penampang *bracing*

σ = tegangan ijin batang *bracing*

Pada batang ikatan angin harus dipenuhi syarat :

$$\frac{h}{L} \geq \sqrt{(0,25xQ)/(ExAtepi)} \quad (\text{PPBBI 1984 : hal 64})$$

Di mana :

A tepi : Luas penampang bagian tepi kuda-kuda

h : Jarak kuda-kuda pada bentang ikatan angin

L : Panjang atas tepi kuda-kuda

Q : n.q.l.dk

11. Perhitungan angkur

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

$$R_{AH} = \sqrt{R_{AHX}^2 + R_{AHY}^2}$$

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

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

12. Perhitungan pelat andas

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

Sehingga :

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

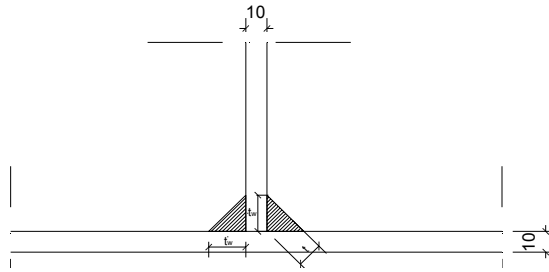
P = Reaksi vertikal yang terjadi

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

f'_c = mutu beton konstruksi di bawah pelat andas

13. Perhitungan Las pada pelat andas

Syarat ukuran las sudut:



Gambar 2.6 Ukuran Las Pelat Andas

Tabel 2.9 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, t _w (mm)
t ≤ 7	3
7 < t ≤ 10	4
10 < t ≤ 15	5
15 < t	6

Sumber : SNI 03-1729-2002 tabel 13.5-1 hal 108

Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi komponen yang disambung:

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

Kuat las sudut :

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

dengan :

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

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

di mana :

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

$$\phi_f = 0,75, \text{ faktor reduksi kekuatan saat fraktur}$$

$$f_u = \text{ tegangan tarik putus bahan dasar, MPa}$$

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

t_t = tebal rencana las, mm

$$\text{Panjang las} = L_n = \frac{R_u}{\phi_f R_{nw}}$$

$$L_n \geq 4t_t$$

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

2.4.2. Perencanaan Pelat Beton

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

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

Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat menjadi suatu pelat yang melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan apabila panjang pelat tidak sama dengan lebarnya, maka balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar dari pada balok yang pendek.

Langkah perencanaan penulangan pelat adalah sebagai berikut ini:

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

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

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

Dimana:

$$\beta = L_y / L_x$$

L_n = panjang bersih pelat

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

Data – data yang diperlukan :

- a. Tebal pelat (h)
- b. Tebal selimut beton
- c. Momen (M_u)
- d. Tinggi efektif (d_x dan d_y)

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

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

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

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

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta x 450}{600 + f_y} x \frac{0,85 f'_c}{f_y}$$

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

$$A_s = \rho \times b \times d$$

Pengecekan momen nominal penampang

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b \cdot h}$$

$$\text{Lengan momen dalam } a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \quad , \quad M_n \text{ aktual} > M_n \text{ perlu}$$

2.4.3. Perencanaan Struktur (Portal)

Perencanaan struktur yang dimaksud meliputi perencanaan balok maupun perencanaan kolom .

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

1. Karakteristik bahan
 - a. Karakteristik material
 - 1) Berat jenis beton
 - 2) Modulus elastisitas beton
 - 3) f'_c
 - 4) f_y
 - b. Dimensi rencana elemen struktur
 - 1) Balok
 - 2) Kolom
 - 3) tumpuan
2. Beban-beban yang diderita oleh elemen struktur
 - a. Beban-beban sendiri elemen struktur
Langsung masuk input *SAP 2000*
 - b. Beban-beban mati

- 1) Beban area pada pelat
 - a) Beban penutup lantai
 - b) Beban spesi
 - c) Beban plafond
 - 2) Beban merata
Dinding
 - 3) Beban Terpusat
 - a) Beban atap
 - b) Balok anak
 - c) Beban lift
- c. Beban hidup

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

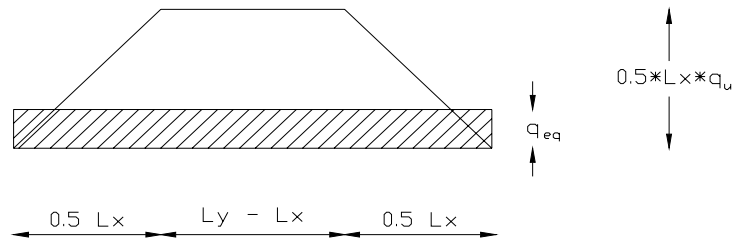
2.4.3.1. Perencanaan balok

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

Pada perencanaan struktur ini beban pelat diberikan apa adanya sebagai beban pelat dan tidak dilakukan konversi ke dalam model amplop. Namun untuk mempermudah perencanaan balok anak maka pelat dihitung sebagai beban di mana pendistribusian gayanya menggunakan metode amplop. Dalam metode amplop terdapat 2 macam bentuk yaitu pelat sebagai beban segi tiga dan pelat sebagai beban trapesium. Adapun persamaan bebannya adalah sebagai berikut:

Perataan beban plat pada perhitungan balok anak

a. Perataan Beban Trapezium



Gambar 2.7 Peralatan Beban Trapezium

$$\begin{aligned}
 R_A = R_B &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} (l_y + l_x) \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x \\
 &= q \cdot l_x \cdot (2l_y - l_x) / 8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max \text{ trapezium}} &= R_A \cdot \frac{1}{2} l_y - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} l_x \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x \left(\frac{1}{2} l_y^2 - \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} l_x \right) - \frac{1}{2} (l_y - l_x) \\
 &= \frac{1}{16} q \cdot l_x (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2)
 \end{aligned}$$

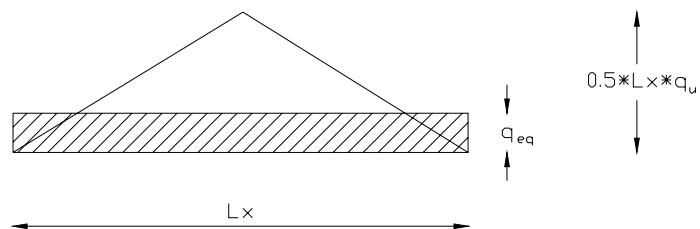
$$M_{\max \text{ beban merata}} = \frac{1}{8} q_{ek} \cdot l_y^2$$

$$M_{\max \text{ trapezium}} = M_{\max \text{ segi empat}}$$

$$\frac{1}{8} q_{ek} \cdot l_y^2 = \frac{1}{16} q \cdot l_x (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2)$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} q \cdot (l_x / l_y^2) (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2)$$

b. Perataan beban segitiga



Gambar 2.8 Peralatan Beban Segitiga

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} l_x \cdot \frac{1}{2} q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8} q \cdot l_x^2$$

$$M_{\max \text{ segi tiga}} = M_A \max = \frac{q \cdot lx^3}{24}$$

$$M_{\max \text{ beban merata}} = \frac{1}{8} qek \cdot lx^2$$

$$M_{\max \text{ segitiga}} = M_{\max \text{ segi empat}}$$

$$\frac{1}{8} qek \cdot lx^2 = \frac{q \cdot lx^3}{24}$$

$$qek = \frac{1}{3} q \cdot lx$$

Perencanaan penulangan balok

Perhitungan penulangan balok menurut buku buku CUR, sebagai berikut :

Mu didapat dari hasil analisa struktur

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

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

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

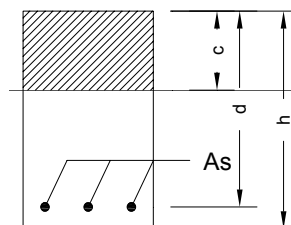
$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} \quad \dots\dots (\text{SK - SNI T - 15 - 1991 - 03, Bab 3.3.5 butir 1})$$

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

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

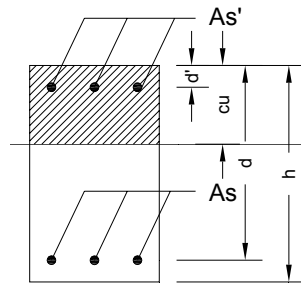
Jika $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka pendimensian tulangan dilakukan sebagai tulangan tunggal :



Gambar 2.9 Balok Dan Tulangan Tunggal

$$A_s = \rho \times b \times d$$

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



Gambar 2.10 Balok Dan Tulangan Ganda

$$A_{s1} = \left(1 - \left[\frac{M_u^+}{M_u^-} \right] \right) \rho b d$$

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

$$A_{s2} = A'_s = \frac{M_u - M_{u1}}{\phi f_y (d - d')}$$

$$M_{u1} = A_{s1} \cdot \phi \cdot f_y \cdot Z$$

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

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

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

Perencanaan tulangan geser

Perhitungan tulangan geser menurut buku buku CUR, sebagai berikut :

V_u didapat dari hasil perhitungan

$$v_u = \frac{V_u}{b.d}$$

$$\phi.v_c = 0,6 \frac{1}{6} \sqrt{f'c}$$

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

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

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

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

$$\text{Jarak tulangan sengkang maksimum, } S_{\text{max}} = \frac{d}{2}$$

Tulangan sengkang juga dapat dicari :

V_u dan M_u didapat dari hasil perhitungan

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b.o.d$$

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

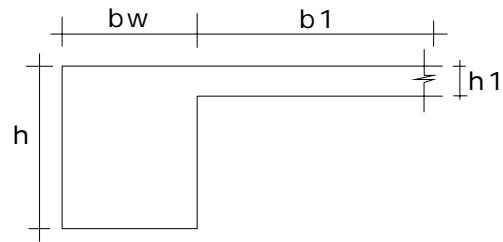
$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

Diameter sengkang yang direncanakan A_v .

$$s = \frac{A_v, f_y.d}{V_s}$$

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

Perencanaan tulangan torsi



Gambar 2.12 Penampang Balok L

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

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

$$b_1 = 6 h;$$

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

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

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

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

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

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

Merencanakan tulangan sengkang :

a. Sengkang tumpuan :

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

$$V_s = V_n - V_c$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{fy.d}$$

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

$$T_s = T_n - T_c$$

$$\frac{At}{s} = \frac{T_s}{\alpha_1 x_1 y_1 f_y}$$

Sengkang gabungan antara torsi dengan geser :

$$\frac{Av}{s} = \frac{2At}{s} + \frac{Av}{s}$$

$$s = \frac{As_{terpasang}}{(Av/s)}$$

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

b. Tulangan torsi memanjang

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

$$T_s = T_n - T_c$$

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

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

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

2.4.3.2. Perencanaan Struktur Kolom

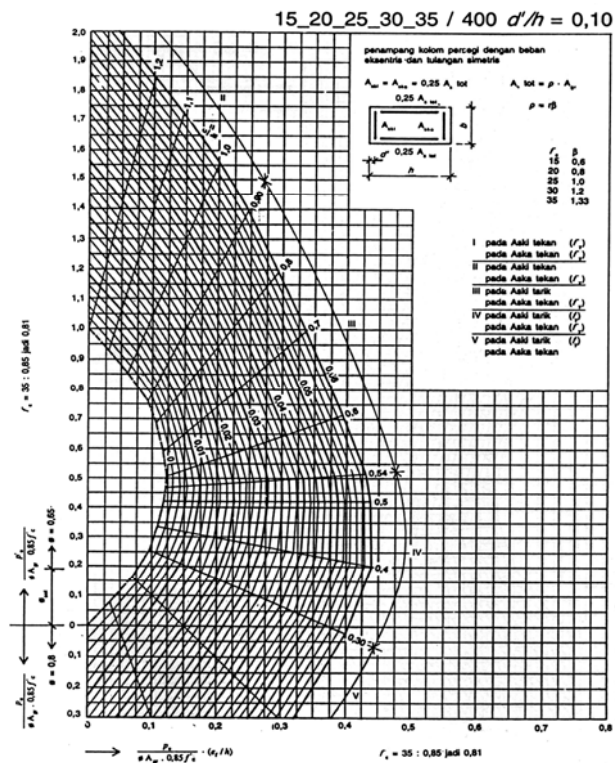
Perhitungan tulangan kolom menurut buku CUR Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang, berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 , sebagai berikut :

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

Mutu baja = 240 dan 400 Mpa

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

Contoh grafik penulangannya sebagai berikut :



Gambar 2.13 Grafik Penulangan Kolom

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

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

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

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

$$A_{s \text{ tot}} = \beta \cdot r \quad ; \text{ dimana } \beta \text{ tergantung pada mutu beton}$$

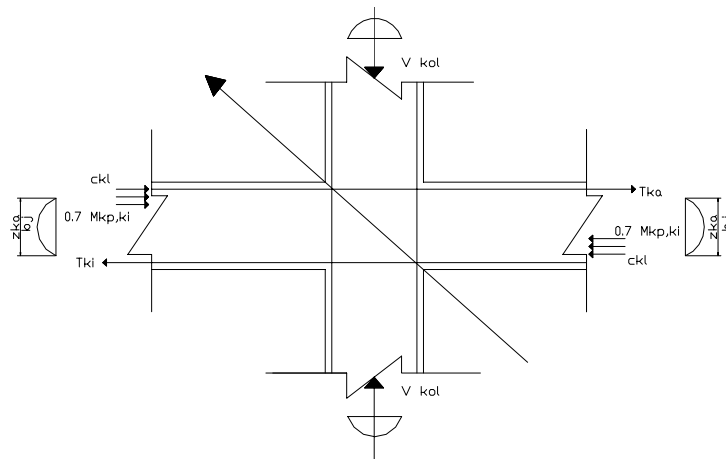
Tabel 2.10 Nilai β

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

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

2.4.3.3. Perencanaan Pertemuan Balok dan Kolom

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



Gambar 2.14 Pertemuan Balok Dan Kolom

1. Perhitungan gaya dalam

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

dengan :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Kontrol tegangan geser horizontal minimal

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

di mana :

b_j = lebar efektif joint, mm

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

3. Penulangan geser horizontal

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

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

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

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

4. Penulangan geser vertikal

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

di mana :

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

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

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

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

2.5. Perencanaan Struktur Bawah (Pondasi)

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

- Keadaan tanah, seperti parameter tanah, daya dukung tanah, dll.
- Jenis struktur atas (fungsi bangunan).

- c. Anggaran biaya yang dibutuhkan.
- d. Waktu pelaksanaan yang direncanakan.
- e. Keadaan lingkungan sekitar.

2.5.1. Parameter Tanah

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

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

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

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

2.5.2. Analisis Daya Dukung Tanah

Analisis Daya dukung mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung tanah (*Bearing Capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dan segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dan tanah dan biasanya

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

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

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

2.5.3. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

A. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

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

1. Berdasarkan kekuatan bahan

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

$$\sigma_b = 0.33 \times f'c : f'c = \text{kekuatan karakteristik beton}$$

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

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

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

σ_b = Tegangan tekan tiang terhadap penumbukan

A_{tiang} = Luas penampang tiang pancang

2. Berdasarkan hasil 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:

a. 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

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} * \rho}{3}$$

Kemampuan tiang terdapat kekuatan bahan:

$$P_{tiang} = \text{Bahan} \times A_{tiang}$$

dengan:

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

A_{tiang} = Luas permukaan tiang (m)

P = Nilai conus hasil sondir (kN/m)

3 = Faktor keamanan

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

Bahan = Tegangan tekan ijin bahan tiang (kg/cm)

b. Friction Pile

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

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah:

$$Q_{tiang} = \frac{O * JHP}{5}$$

Dimana :

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

O = Keliling tiang pancang (m)

JHP = Total friction (kN/m)

5 = Faktor Keamanan

c. End Bearing And Friction Pile

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

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} * p}{3} + \frac{O * C}{5}$$

dengan :

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

O = Keliling tiang pancang (m)

JHP = Total friction (kN/m)

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

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

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

dimana: m : jumlah baris
 n : jumlahtiang
 φ : arc tan (d/s), dalamderajat
 d : diametertiang
 s : jarakantar tiang

$$P_{allgroup} = Eff \times P_{all1tiang} \text{ (dayadukungtiang tunggal)}$$

C. Pmax Yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

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

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

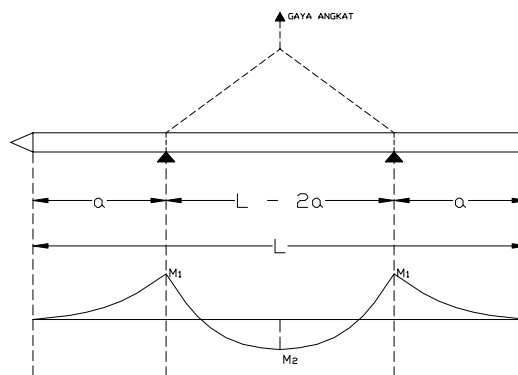
Σx^2 : jumlah kuadrat jarak arah X (ordinat – ordinat) tiang

P_{\max} di dapat dari hasil output SAP 2000, dibandingkan P_{eff}

D. Penulangan Tiang Pancang

e. Akibat Pengangkatan

Kondisi I



Gambar 2.15 Pengangkatan Tiang Pancang Dengan 2 Titik

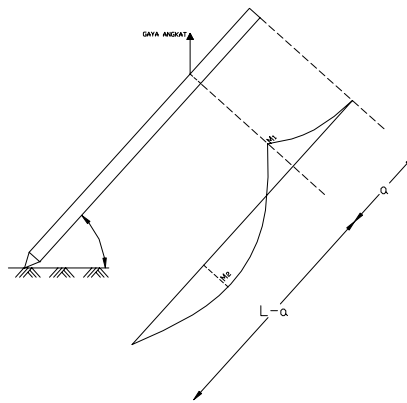
$$M_1 = \frac{1}{2} q * a^2$$

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

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

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

Kondisi II



Gambar 2.16 Pengangkatan Tiang Pancang Dengan 1 Titik

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

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

$$M_x = R_1 * x - \frac{1}{2} * q * x^2$$

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

$$R_1 - qx = 0$$

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

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

$$M_1 = M_2$$

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

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

2.6. Dasar Perhitungan Dan Pedoman Perencanaan

Dalam perencanaan pembangunan gedung Hotel ini, pedoman peraturan serta buku acuan yang digunakan antara lain :

1. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1728-2002)
2. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI-03-1726-2003)
3. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI-03-1729-2002)
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PIIG) 1983
5. Peraturan - peraturan lain yang relevan.