

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 TINJAUAN UMUM

Pada tahap perencanaan struktur *flat pelate-core wall building system* ini, perlu dilakukan studi pustaka untuk mengetahui dasar-dasar teori dari perancangan elemen-elemen strukturnya.

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari perhitungan struktur bawah sampai perhitungan struktur atas. Perhitungan struktur menggunakan Standar Nasional Indonesia untuk perencanaan bangunan gedung (SNI Beton dan SNI Gempa 2002) sebagai acuan.

Dalam bab ini juga akan dibahas mengenai konsep pembebanan pada struktur yang telah disesuaikan dengan peraturan pembebanan yang berlaku di Indonesia. Sehingga diharapkan dapat menghasilkan struktur yang kuat dan aman.

Struktur adalah suatu kesatuan dari rangkaian beberapa elemen yang didesain agar mampu menahan berat sendiri maupun beban luar tanpa mengalami perubahan bentuk yang melewati batas persyaratan. Struktur yang didesain harus mampu menahan beban, baik beban vertikal (beban mati dan beban hidup) maupun beban horizontal/lateral (beban angin dan beban gempa) yang direncanakan berdasarkan peraturan pembebanan.

Perencanaan struktur bangunan umumnya terdiri dari dua bagian utama, yaitu perencanaan struktur bawah (*Sub structure*) dan perencanaan struktur atas (*Upper structure*). Struktur bawah atau *sub structure* merupakan bagian struktur yang mempunyai fungsi meneruskan beban ke dalam tanah pendukung. Perancangan struktur bagian bawah harus benar-benar terjamin keamanannya, sehingga keseimbangan struktur secara keseluruhan dapat terjamin dengan baik.

Seluruh beban pada bangunan harus dapat ditahan oleh lapisan tanah agar tidak terjadi penurunan diluar batas persyaratan, yang dapat menyebabkan kegagalan struktur. Oleh karena itu, ketepatan pemilihan sistem struktur merupakan sesuatu yang penting karena menyangkut faktor resiko dan efisiensi kerja, baik waktu maupun biaya.

## 2.2 SISTEM STRUKTUR

Setiap gedung terdiri dari elemen struktural ( seperti balok dan kolom ) dan elemen non-struktural (seperti partisi, plafond, pintu). Elemen – elemen struktural apabila digabungkan akan menjadi satu sistem struktur. Fungsinya adalah untuk mendukung berat sendiri dan beban luar, dan untuk menyalurkan gaya-gaya tersebut ke tanah, tanpa mengganggu bentuk geometri, kesatuan, dan daya layan dari struktur secara signifikan.

Sebagian besar dari elemen struktur dapat dianalisis secara sederhana, misalkan elemen satu dimensi (seperti balok, kolom, busur, elemen rangka) atau elemen dua dimensi (seperti *slab*, pelat, dan cangkang). Namun, untuk beberapa elemen seperti *shear wall* membutuhkan analisa yang lebih mendalam lagi.

Untuk lebih mudahnya, sistem struktur dapat dipisahkan kedalam dua mekanisme penyaluran beban, diantaranya ialah pemikul beban gravitasi dan pemikul beban lateral, walaupun dalam kenyataannya, kedua sistem ini bekerja bersamaan sebagai suatu kesatuan. Walaupun bangunan merupakan struktur tiga dimensi, namun untuk penggolongan elemen struktural biasanya hanya ditinjau dalam dua sistem, yaitu sistem horizontal (lantai), dan sistem vertikal (portal).

### 1. Sistem Lantai (*Floor Systems*)

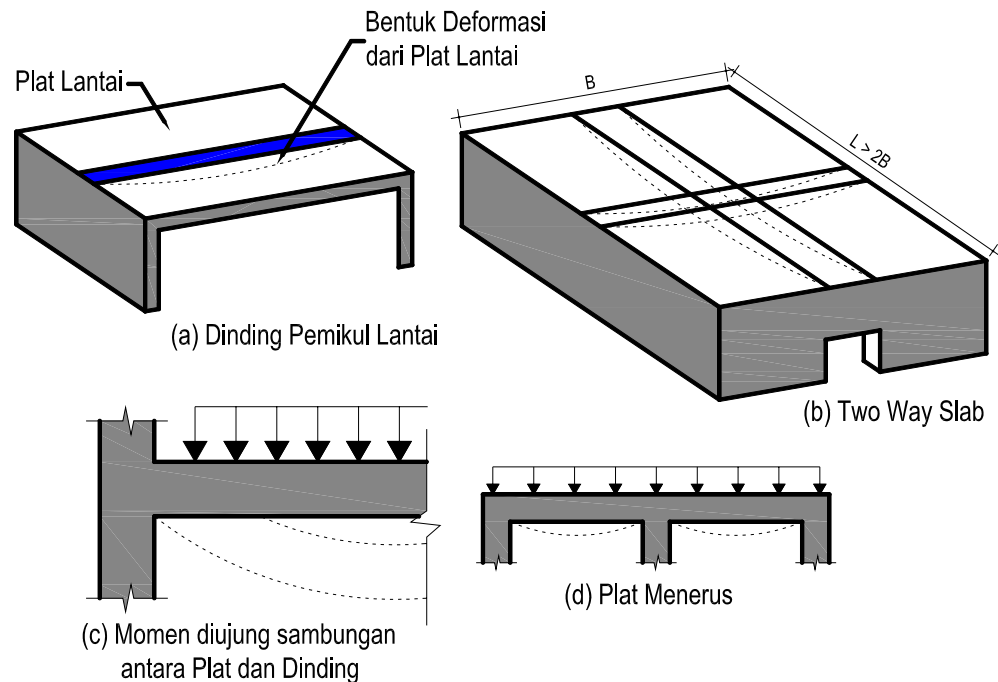
Sistem lantai berfungsi untuk mendukung beban gravitasi, baik beban mati maupun beban hidup yang bekerja padanya, dan menyalurkannya pada sistem vertikal (portal). Dalam prosesnya, sistem lantai biasanya menahan lentur, namun terkadang juga menahan kombinasi antara lentur dan geser. Sistem lantai terbagi menjadi lima jenis sistem struktur sebagai berikut.

#### a. Sistem Dinding Pemikul Lantai (*Wall-Supported Slab System*)

Pada sistem ini, pelat lantai, biasanya dengan tebal 100–200 mm, didukung oleh dinding solid. Sistem ini sering digunakan untuk bangunan bertingkat rendah. Ketika pelat lantai didukung pada kedua sisinya, seperti terlihat di gambar 2.1 (a), pelat melentur hanya pada satu arah saja, yang biasa disebut *one-way slab*. Ketika pelat didukung pada keempat sisinya, dan setiap dimensinya memiliki perbandingan satu sama lain, maka pelat akan melentur pada dua arah, ini yang disebut *two-way slab*, seperti pada gambar 2.1 (b).

Jika pelat merupakan bidang yang panjang (panjangnya lebih besar dari dua kali lebar), maka lentur pada arah longitudinal akan menjadi tidak berarti, bila dibandingkan dengan lentur pada arah transversal, sehingga akan membuat pelat lantai bereaksi seperti *one-way slab*.

Jika dinding tersambung dengan lantai, seperti pada gambar 2.1 (c), pelat tidak didukung secara sempurna, sehingga mungkin saja menimbulkan momen puntir. Dan yang sering digunakan, ialah *one-way continuous* atau *two-way continuous slabs*, tergantung lentur mana yang dominan, apakah terjadi dalam satu atau dua arah. Dalam sistem ini pelat didukung oleh beberapa dinding pemikul seperti pada gambar 2.1 (d).

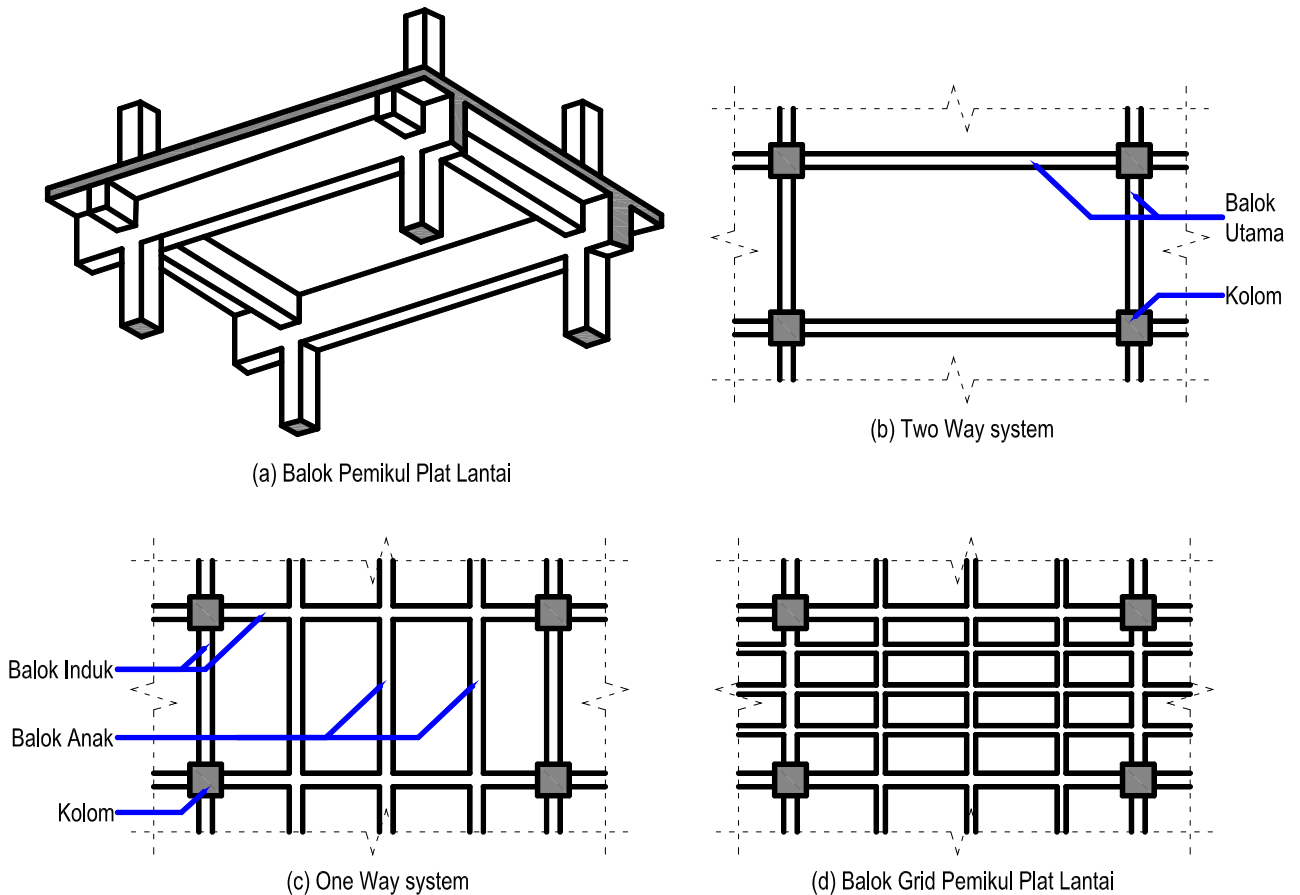


**Gambar 2.1. Wall-supported slab systems.**

### b. Sistem Balok Pemikul Lantai (*Beam-Supported Slab System*)

Pada sistem ini pelat lantai didukung oleh balok. Sistem ini sering digunakan pada bangunan bertingkat, dan juga untuk struktur portal bertingkat rendah. Beban yang bekerja pada lantai didukung dan diteruskan ke kolom oleh jaringan balok. Balok yang terhubung langsung dengan kolom disebut balok induk (*primary beams* atau *girders*), sedangkan balok yang bertumpu pada balok lainnya, bukan kolom, disebut balok anak (*secondary beams*).

Seperti juga dinding pendukung, sistem ini dapat digolongkan menjadi *two-way* atau *one-way*, tergantung dari dimensi panel. Jika balok begitu kaku, maka lendutan balok menjadi tidak diperhitungkan. Namun apabila balok relatif fleksibel, maka lendutan dari balok harus diperhatikan, dan akan mempengaruhi lendutan pada pelat lantai juga.



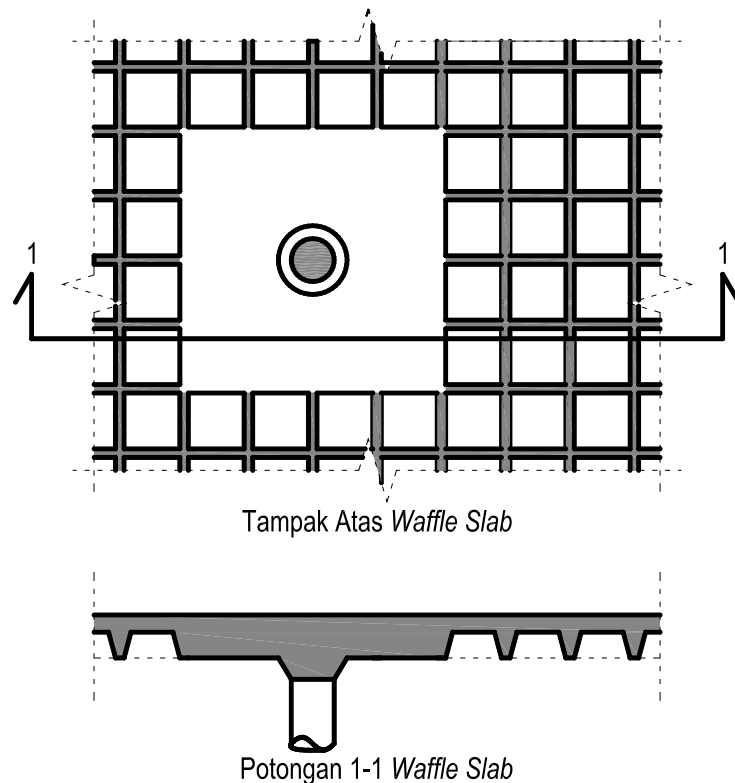
**Gambar 2.2. Beam-supported slab system**

### c. Ribbed Slab System.

Sistem ini merupakan salah satu sistem *slab-beam* yang istimewa, karena pelat merupakan pelat yang tipis (50-100 mm), dan balok, yang disebut ribs, sangat langsing dan memiliki jarak yang dekat (kurang dari 1,5 m). Balok ribs memiliki ketebalan kurang lebih 65 mm, dan tinggi tiga atau empat kali ketebalannya. Sistem ini juga dapat didesain dengan *one-way* atau *two-way*

*pattern*, dan biasanya merupakan proses *cast-in-situ*, walaupun masih memungkinkan jika menggunakan *precast*.

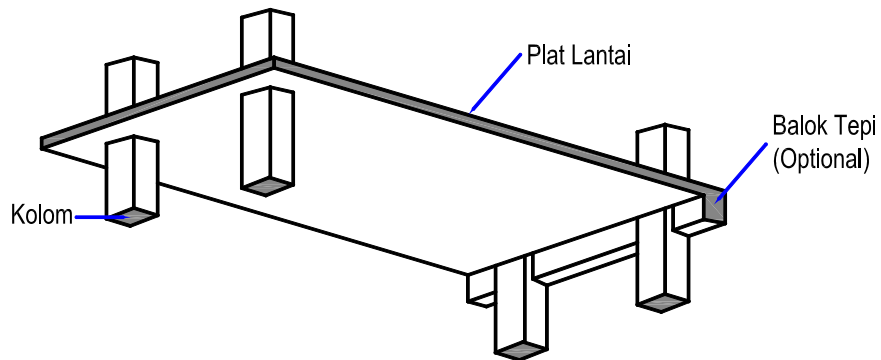
Two-way ribbed slabs biasanya dikenal dengan waffle slab. Sepanjang sisi terluar, sistem ini biasanya didukung dengan balok atau dinding pengaku. *Waffle slabs*, dapat diletakkan langsung pada kolom, biasanya pelat dibuat padat langsung dengan kolom.



**Gambar 2.3. Two-way ribbed slab system (Waffle Slab)**

#### d. Sistem Pelat Datar (*Flat Pelate System*)

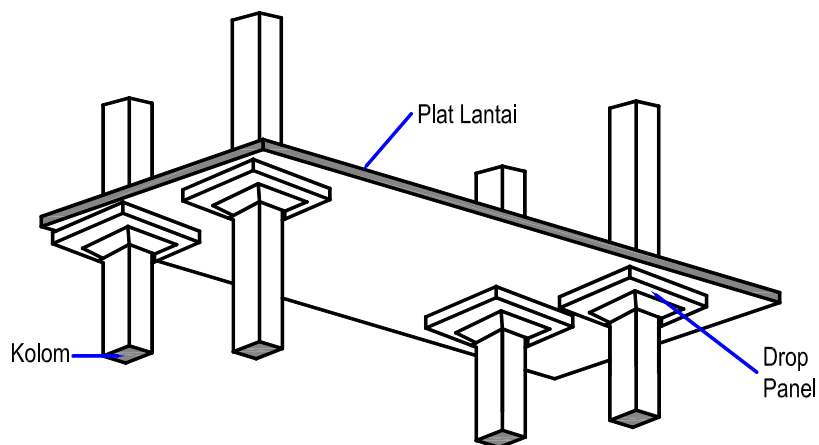
Dalam sistem ini, pelat lantai didukung langsung oleh kolom, tanpa adanya balok pengaku, kecuali balok sisi (*optional*) seperti pada gambar 2.4. Pelat biasanya memiliki ketebalan seragam sekitar 125-250 mm untuk bentang 4,5-6 m. Kapasitas pemikul bebannya dibatasi oleh kuat geser dan kapasitas momen pada kolom pendukung. Sistem ini biasanya disenangi karena memiliki nilai arsitektural yang tinggi, dan biasanya digunakan di negara–negara berkembang (hotel maupun *apartment*), dimana beban lantai masih rendah dan bentang tidak terlalu lebar.



**Gambar 2.4. Flat pelate system**

**e. Flat Slab System.**

Sistem *Flat Slab* ini lebih dapat diterima oleh para arsitek dan perancang bangunan, sistem ini merupakan sistem dimana pelat diberi perkuatan di dekat kolom. Perkuatan ini disebut *drop panel* dan (atau) *column capitals*. Dibandingkan dengan *flat pelate system*, sistem ini dapat digunakan untuk beban yang lebih tinggi, dan bentang yang lebih panjang. Ketebalan pelat dapat berkisar antara 125-300 mm dengan bentang 4-9 m. Dibandingkan dengan sistem lantai lainnya, sistem ini memiliki beban mati per unit area tertinggi.



**Gambar 2.5. Flat slab system**

## 2. Sistem Vertikal (*Vertical Framing System*)

Sistem vertikal terdiri dari portal tiga dimensi yang umumnya tersusun dari balok dan kolom. Untuk lebih mudahnya, sistem portal ini dibagi berdasarkan arah transversal dan longitudinal pada gedung.

### a. Kolom

Kolom biasanya didesain untuk menahan beban aksial tekan, dikombinasikan dengan momen lentur biaksial. Untuk meminimalisasi dimensi kolom, biasanya digunakan beton dengan kuat tekan yang tinggi dan luas tulangan yang tinggi.

### b. Dinding (*Walls*)

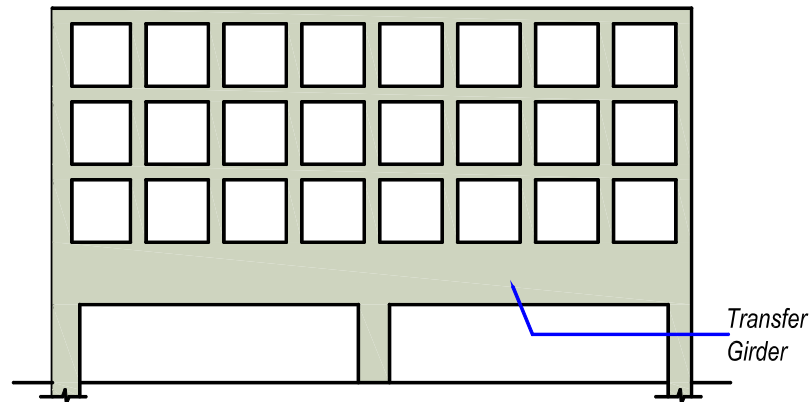
Dinding merupakan elemen vertikal yang terbuat dari batu bata atau beton bertulang. Dinding dapat disebut *bearing walls* apabila fungsi utama struktur adalah untuk mendukung beban gravitasi, dan *shear walls*, apabila fungsi utamanya adalah menahan beban lateral, seperti beban angin dan gempa.

Ketebalan dari dinding beton bertulang bervariasi dari 125 mm hingga 200 mm, walaupun untuk ketebalan *shear walls* bisa lebih besar pada lantai bawah di bangunan bertingkat tinggi. Dinding yang mengelilingi lubang lift juga biasanya bekerja sebagai *shear walls*, tetapi lebih sering disebut sebagai *core walls*.

### c. Balok Penyalur (*Transfer Girders*).

Pada beberapa gedung, terkadang desain arsitektural menginginkan adanya ruang besar di lantai terbawah, misalnya untuk area parkir, lobi hotel, restoran atau *convention hall*.

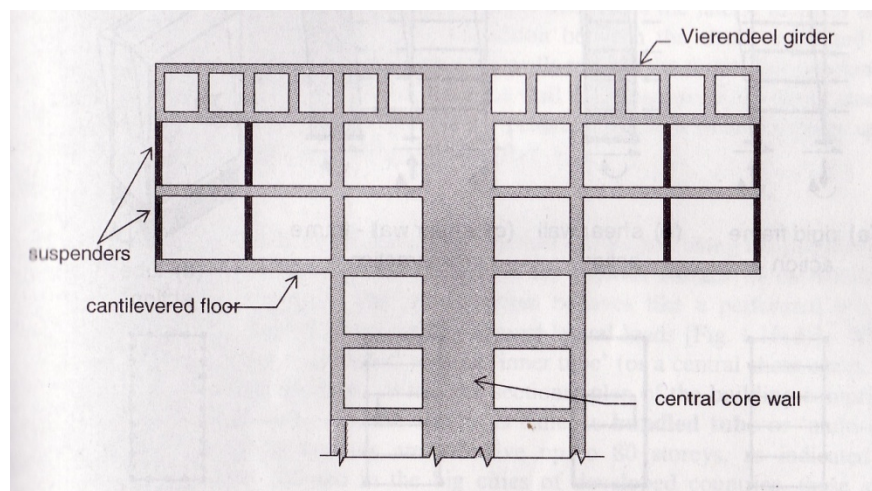
Pada kasus seperti itu, elemen vertikal seperti kolom dan dinding tidak diperkenankan menerus melalui lantai terbawah menuju pondasi. Masalah ini dapat diselesaikan dengan menyediakan balok yang sangat besar dan tinggi, yang disebut *transfer girders*. Kolom-kolom pada lantai atas dapat menyalurkan beban melalui balok ini, yang pada akhirnya akan diteruskan pada kolom utama.



Gambar 2.6. Penggunaan *transfer girders*

#### d. *Suspenders*

*Suspenders* adalah elemen vertikal yang menggantung sistem lantai, seperti lantai kantilever pada bangunan bertingkat yang menggunakan *core wall*. Biasanya *suspender* terbuat dari baja, karena baja memiliki kuat tarik tinggi, selain itu *steel suspender* akan menghabiskan ruang kecil pada lantai. Beban dari *suspenders* disalurkan ke *core wall* melalui balok kantilever atau *Vierendeel girders*.



Gambar 2.7. Penggunaan *suspender*

### 3. Sistem Penahan Beban Lateral (*Lateral Load Resisting System*)

Efek beban lateral, seperti beban angin dan beban gempa cukup mendominasi pada bangunan tinggi, dan menentukan pemilihan dari sistem struktur. Sistem penahan beban lateral terbagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut.

#### a. Portal (*Frames*)

Portal terdiri dari kolom dan balok. Kemampuan untuk menahan beban lateral tergantung pada kekakuan dari sambungan balok-kolom dan kapasitas momen penahan dari masing – masing elemen. Sistem ini biasanya dikenal dengan portal kaku, karena pada masing – masing ujung elemen portal disambung kaku untuk memastikan semua elemen akan bergerak seragam jika bereaksi pada beban. Pada sistem yang menggunakan pelat, pelat akan menggantikan peran balok. Portal biasanya digunakan pada bangunan dengan 15-20 lantai.

#### b. Dinding Geser (*Shear Walls*)

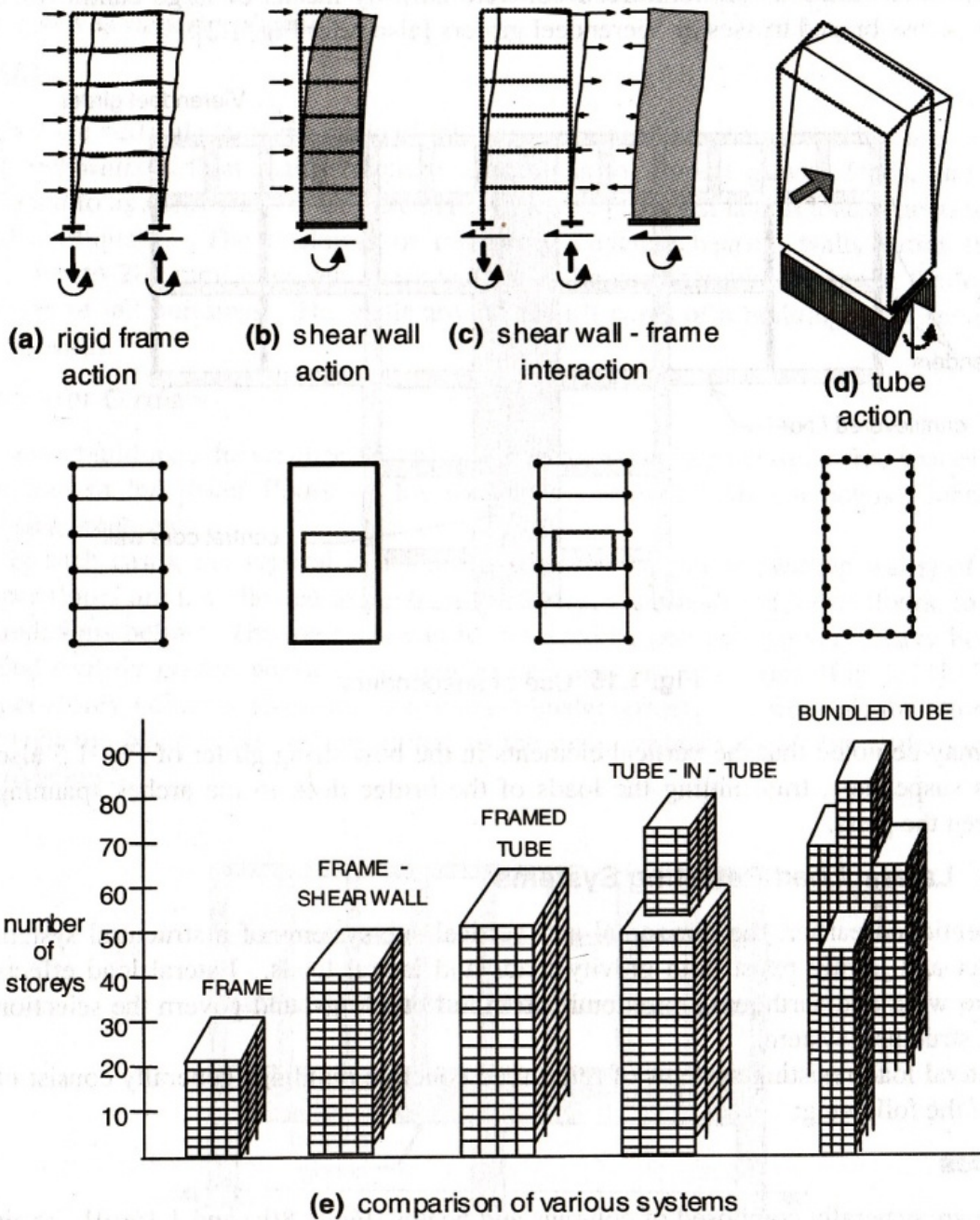
Dinding geser merupakan dinding padat yang biasanya terletak di inti bangunan atau lubang lift dan tangga. Dinding geser juga sering diletakkan sepanjang arah transversal dari bangunan, baik sebagai dinding eksterior ataupun interior. Dinding ini sangat kaku, menahan beban dengan melentur seperti pada gambar 2.8.

Perpaduan antara portal dan dinding geser sangat memberikan keuntungan, dimana dinding mengendalikan deformasi dari portal pada lantai – lantai bawah, sedangkan portal mengendalikan deformasi dari dinding pada lantai atas. Sistem ini biasanya dipakai pada gedung dengan ketinggian lebih dari 40 lantai.

#### c. *Tubes*

Pada sistem ini, terdapat kolom – kolom dengan rentang yang sangat dekat diletakkan di sekeliling bangunan. Balok spandrel, yang diletakkan pada permukaan eksterior dari bangunan menghubungkan kolom – kolom itu. Sistem ini terbagi dalam beberapa jenis, misalnya *framed tube* yang menyerupai kotak berlubang – lubang, memiliki kekakuan lentur yang tinggi dalam menahan beban lateral. Ketika *tube* luar dikombinasikan dengan *tube* dalam atau *central core*, sistem ini disebut *tube-in-tube*. Adapula bangunan yang memiliki beberapa *tube* yang digabungkan, disebut *bundled*

*tube*, atau *multi-cell framed tube*. Sistem *tubes* sangat efektif untuk bangunan yang memiliki lebih dari 80 lantai.

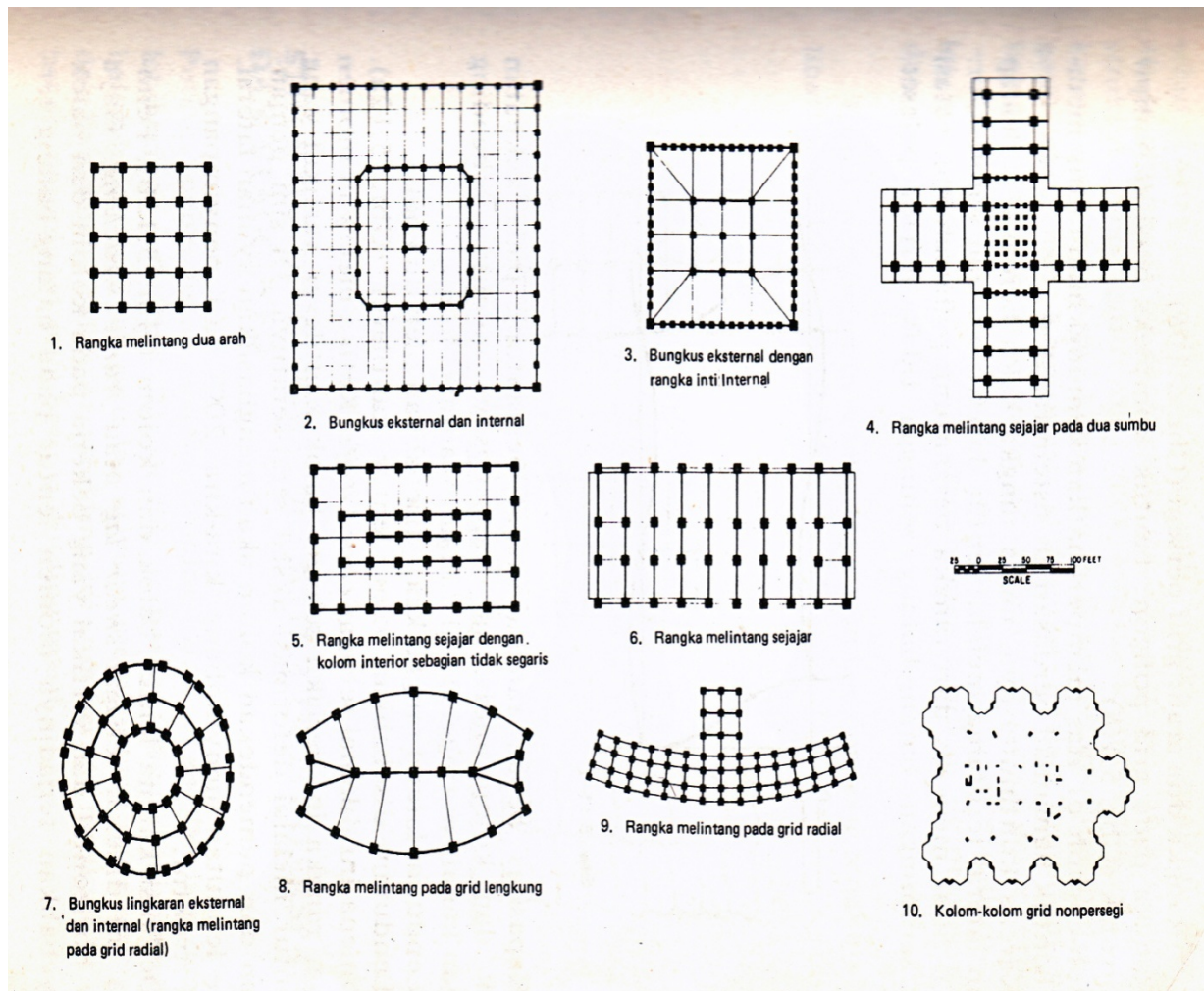


**Gambar 2.8. Lateral Load Resisting System**

Selain sistem struktur diatas, terdapat juga sistem – sistem struktur yang merupakan gabungan dari sistem – sistem struktur di atas, diantaranya:

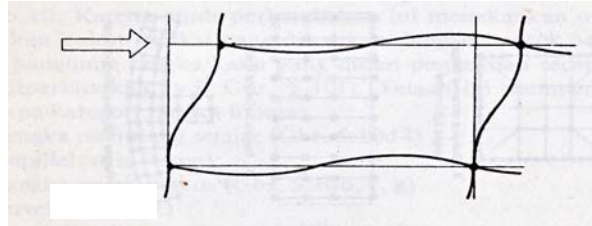
### 1. Sistem Rangka Kaku (*Rigid Frame System*)

Sistem rangka kaku pada umumnya berupa grid persegi teratur terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang dihubungkan di suatu bidang dengan menggunakan sambungan kaku (*rigid*). Prinsip rangka kaku akan ekonomis sampai 30 lantai untuk rangka baja, dan 20 lantai untuk rangka beton. Beberapa bangunan rangka kaku tipikal diperlihatkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Sistem Struktur Rangka Kaku

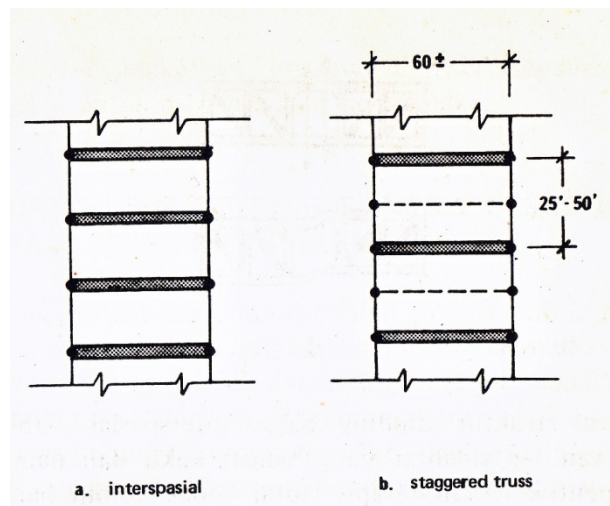
Karena kontinuitasnya, maka rangka kaku bereaksi terhadap beban lateral, terutama melalui lentur dari kolom dan balok seperti gambar 2.10. Sifat menerus dari rangka bergantung pada tahanan rotasi dari sambungan batang – batang sehingga tidak terjadi peleset.



**Gambar 2.10** Lentur dari Kolom dan Balok

## 2. Sistem Struktur Dinding – Balok

Struktur Balok – Dinding yang lazim ditemui adalah sistem rangka interspasial dan berselang – seling (*staggered*). Suatu sistem rangka interspasial diperlihatkan pada gambar 2.11(a). Rangka digunakan pada lantai antara, serta mendukung bagian atas dan bagian bawah pelat lantai. Ruang bebas yang tercipta pada lantai antara sangat menguntungkan untuk jenis bangunan tertentu yang memerlukan fleksibilitas dalam perencanaan.



**Gambar 2.11** Sistem Struktur Dinding- Balok

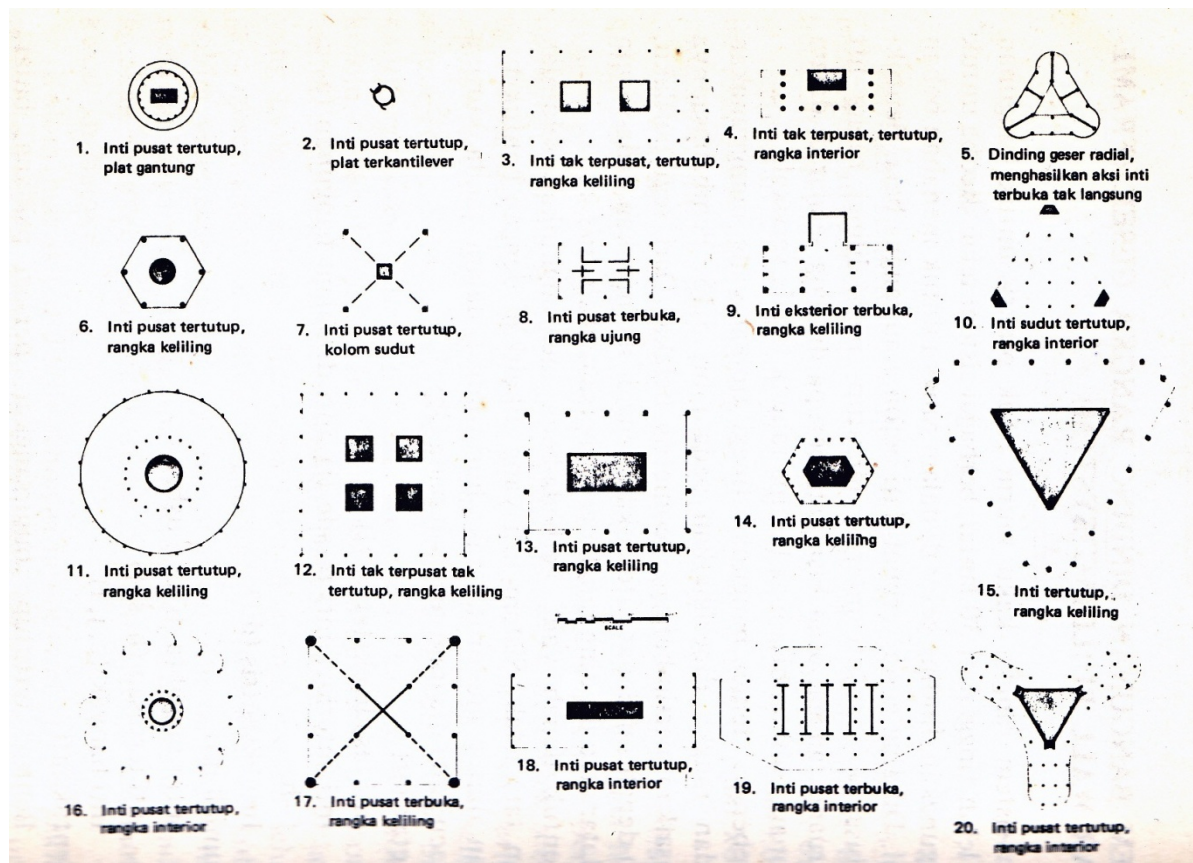
Bangunan rangka staggered (Gambar 2.11 (b)) lebih kokoh daripada sistem interspasial. Disini rangka digunakan pada setiap lantai dan disusun menurut pola berselang – seling.

Dengan membuat rangka berselang – seling pada satu lantai dengan lantai lainnya, dapat dihasilkan ruang bebas yang cukup besar, sedangkan pelat lantai digunakan untuk membenteng separuh dari jarak rangka tersebut.

Prinsip membuat rangka berselang – seling sangat efisien apabila diterapkan untuk menahan beban horizontal dan vertikal. Sistem ini telah diterapkan pada bangunan dengan ketinggian sampai 30 lantai.

### 3. Sistem Bangunan Dinding Rangka Geser (*Frame-Shear Wall Building System*)

Sistem rangka kaku murni tidak praktis untuk bangunan yang lebih tinggi dari 30 lantai, berbagai sistem telah dicoba untuk menggunakan dinding geser di dalam rangka untuk menahan beban lateral. Dinding geser terbuat dari beton atau rangka baja, dapat berupa inti interior tertutup, mengelilingi ruang lift atau ruang tangga, atau bisa juga berupa dinding sejajar dalam bangunan. Beberapa denah bangunan tinggi tipikal yang menggunakan inti dan rangka diperlihatkan pada gambar 2.12.

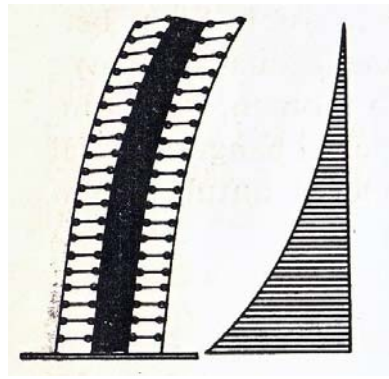


Gambar 2.12 Sistem Bangunan Dinding Rangka Geser

Sistem rangka dinding geser dikelompokkan menurut reaksinya terhadap beban geser ke dalam tipe berikut:

**a. Sistem rangka bersendi dinding geser**

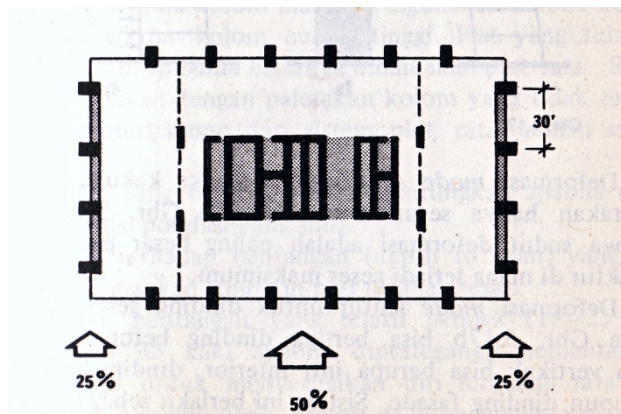
Karena balok rangka diberi persendian, maka rangka ini hanya dapat memikul beban gravitasi. Dinding geser akan memikul semua beban lateral.



**Gambar 2.13 Sistem rangka bersendi dinding geser**

**b. Sistem interaksi rangka bersendi-Vierendeel-dinding geser**

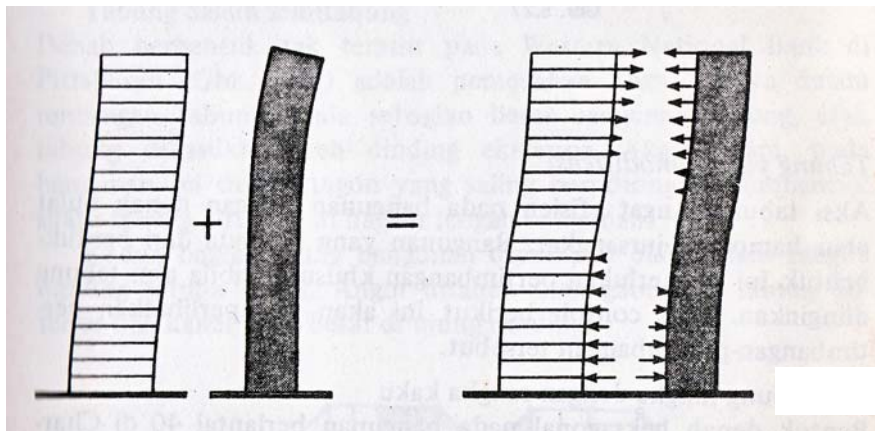
Gaya – gaya lateral dipikul oleh sistem dinding geser dan rangka kayu. Pada contoh gambar 2.14, kedua dinding fasade pada arah pendek bangunan akan memikul separuh jumlah gaya angin, dan inti akan memikul separuh sisanya. Rangka fasade memanjang hanya memikul gaya gravitasi.



**Gambar 2.14 Sistem interaksi rangka bersendi-Vierendeel-dinding geser**

### c. Interaksi rangka kaku-dinding geser

Di atas 500 kaki, penggunaan hanya dinding geser untuk menahan beban lateral menjadi tidak praktis. Agar cukup kuat, inti harus sedemikian besar sehingga tidak sesuai lagi dengan fungsinya sebagai wadah transportasi vertikal dan distributor energi. Lebih jauh lagi, lendutan yang terjadi akan demikian besarnya sehingga menyebabkan keretakan partisi atau jendela, bahkan dapat menimbulkan reaksi psikologis pada penghuni bangunan. Kekakuan lateral sangat diperbaiki dengan menggunakan tidak hanya sistem dinding geser, tetapi juga rangka kaku untuk menahan gaya – gaya lateral. Defleksi total sistem dinding geser dan rangka kaku diperoleh dengan cara membuat *superimpose mode* individual dari deformasi ( gambar 2.15).



**Gambar 2.15 Interaksi rangka kaku-dinding geser**

### 4. Sistem Bangunan Pelat Rata-Dinding Geser (*flat plate-shear wall building system*)

Sistem pelat rata terdiri atas pelat beton padat ataupun jenis wafel sehingga tidak memerlukan pembalokan lantai. Hal itu mengurangi jarak antara lantai ke lantai berikutnya sehingga menghemat ruang. *Drop panel* dan kepala kolom biasanya digunakan karena konsentrasi geser di sekitar kolom biasanya tinggi. Sistem ini dapat disesuaikan dengan perletakan kolom yang tidak teratur.

Sistem ini hanya mempunyai kolom sebagai unsur pendukung, bergantung pada rasio tinggi terhadap lebar bangunan tersebut. Sistem ini dilengkapi dengan dinding geser untuk meningkatkan kekuatan lateral.

Sifat monolit struktur beton memaksa seluruh bangunan untuk melawan beban lateral sebagai satu unit. Tidaklah realistis untuk beranggapan bahwa beban lateral

sempurnanya dipikul oleh dinding geser dan bahwa kolom maupun pelat sama sekali tidak memikul beban.

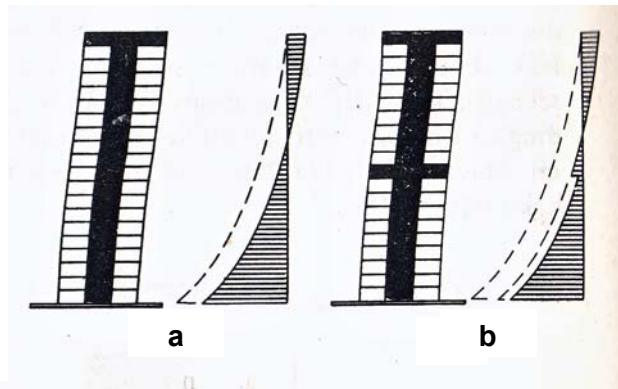
Pelat rata itu sendiri, walaupun fleksibel, memberikan kekuatan pada sistem karena sifatnya menerus dengan dinding geser dan kolom. Kita dapat membayangkan bahwa sebagian pelat tersebut akan berlaku sebagai balok tipis yang menerus dengan kolom sehingga akan memiliki perilaku seperti rangka kaku.

Maka perilaku sistem ini serupa dengan sistem rangka dinding geser. Gambar 2.15 juga memperlihatkan perilaku bangunan dengan sistem pelat rata-dinding geser. Gaya – gaya lateral terutama dipikul oleh aksi rangka pada bagian atas struktur dan oleh dinding geser di bagian bawahnya.

#### 5. Sistem Interaksi Dinding Geser-Rangka dengan *Belt Truss* Kaku.

Rangka diperkaku (bangunan rangka-dinding geser) menjadi tidak efisien lagi di atas ketinggian 40 lantai, karena banyak sekali diperlukan bahan untuk membuat pengaku yang cukup kaku dan kuat. Efisiensi struktur bangunan akan meningkat sebesar 30% dengan menggunakan rangka sabuk (*belt truss*) horizontal untuk mengikat rangka ke inti. Rangka tersebut diikat secara kaku ke inti dan dihubungkan dengan kolom eksterior. Apabila inti geser melentur, maka *belt truss* berlaku sebagai lengan yang menyalurkan tegangan – tegangan aksial langsung ke kolom luar. Selanjutnya kolom – kolom ini berlaku sebagai *strut* untuk melawan lendutan dari inti.

Reaksi bangunan rangka inti dengan rangka sabuk terhadap pembebanan lateral diberikan pada Gambar 2.16. Apabila rangka diikat ke inti dengan menggunakan *belt truss*, maka rotasi di bagian atas sistem ini akan ditiadakan. ( Gambar 2.16 (a)). Kekuatan dan kekakuan sistem ini selanjutnya ditingkatkan dengan menambah rangka sabuk tambahan pada lantai – lantai antara di dalam bangunan (Gambar 2.16 (b)). Pada setiap tingkat yang dilengkapi dengan rangka sabuk, rotasi akan dicegah.



**Gambar 2.16 Sistem Interaksi Dinding Geser-Rangka dengan *Belt Truss* Kaku.**

### 2.3. KONSEP PEMILIHAN SISTEM STRUKTUR

Konsep pemilihan struktur gedung ini mengacu pada:

#### 1. Aspek arsitektural

Hal ini berkaitan dengan denah dan bentuk struktur yang dipilih, yang diharapkan memiliki nilai estetika.

#### 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. Aspek kekuatan dan stabilitas

Aspek ini berkaitan dengan kemampuan struktur dalam menerima beban-beban yang bekerja baik beban vertikal maupun beban lateral yang disebabkan oleh gempa serta kestabilan struktur.

#### 4. Aspek ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Biasanya pada suatu gedung dapat digunakan beberapa macam sistem struktur. Oleh sebab itu faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang akan dipilih.

#### 5. Faktor kemampuan struktur dalam mengakomodasi sistem layanan gedung

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

## 6. Aspek lingkungan

Aspek lain yang ikut menentukan dalam perencanaan 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.

## 2.4. PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN

### 2.4.1 Pembebanan

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 adalah beban yang memiliki perubahan intensitas beban terhadap waktu berjalan lambat atau konstan. Jenis-jenis beban statis menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung 1987 adalah sebagai berikut:

##### a. Beban mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Beban mati pada struktur bangunan ditentukan oleh berat jenis bahan bangunan, berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1987, dan unsur – unsur yang tercantum pada denah arsitektur dan struktur.

Beban Mati pada struktur dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu beban mati akibat material konstruksi dan beban mati akibat komponen gedung. Beban mati akibat material konstruksi dan komponen gedung dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Berat sendiri material konstruksi dan komponen gedung

No	Material Konstruksi	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )
1	Baja	7850
2	Besi tuang	7250
3	Beton	2200
4	Beton bertulang	2400
5	Kayu (nilai rata-rata berbagai jenis kayu)	1000
6	Pasangan bata merah	1700
7	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
8	Pasangan batu cetak	2200
9	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 - 1700
10	Pasir (jenuh air)	1800
11	Tanah, lempung dan lanau (kering - basah)	1700 – 2000
12	Batu alam	2600
13	Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500
14	Batu pecah	1450

Tabel 2.2 Berat sendiri komponen gedung

No	Komponen Gedung	Beban mati (kg/m <sup>2</sup> )
1	Adukan (per cm tebal)	
	- Dari semen	21
	- Dari kapur, semen merah atau tras	17
2	Aspal (per cm tebal)	14
3	Dinding pasangan bata merah	
	- Satu batu	450
	- Setengah batu	250
4	Dinding pasangan batako	
	- Berlubang (tebal 20 cm)	200
	- Berlubang (tebal 10 cm)	120
	- Tak berlubang (tebal 15 cm)	300
	- Tak berlubang (tebal 10 cm)	200
5	Langit-langit (termasuk rusuk, tanpa	

	penggantung)	11
	- Semen asbes / eternit (tebal maks 4 mm)	10
	- Kaca (tebal 3 – 5 mm)	
6	Lantai kayu sederhana, tanpa langit-langit	40
7	Penggantung langit –langit kayu (bentang maks 5 m)	7
8	Penutup atap genting dengan reng & usuk (per m <sup>2</sup> )	50
9	Penutup atap sirap dengan reng & usuk (per m <sup>2</sup> )	40
10	Penutup atap seng gelombang tanpa gording	10
11	Penutup lantai dari ubun semen / beton (per cm tebal)	24
12	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

### b. Beban hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu bangunan, termasuk beban–beban pada lantai yang berasal dari barang–barang yang dapat berpindah dan atau beban akibat air hujan pada atap.

**Tabel 2. 3 Beban Hidup pada Struktur**

Beban Hidup Pada Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai Kantor	250 kg/m <sup>2</sup>
Tangga dan Bordes	300 kg/m <sup>2</sup>
Pelat Atap	100 kg/m <sup>2</sup>
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg/m <sup>2</sup>
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 :	
a. Beban terbagi rata/m <sup>2</sup> bidang datar berasal dari beban hujan	

sebesar  $(40-0,8\alpha)$  kg/m<sup>2</sup>,  $\alpha$ = sudut kemiringan atap(°). Beban tersebut tidak perlu diambil  $\geq 20$  kg/m<sup>2</sup> dan tidak perlu ditinjau bila  $\alpha \geq 50^\circ$

- b. Beban terpusat dari seorang pekerja/pemadam kebakaran dengan peralatannya minimum 100 kg

Sumber : *Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung*  
1987

## 2. Beban Dinamik

Beban dinamik adalah beban dengan variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Beban dinamis ini terdiri dari beban gempa dan beban angin.

### a. Beban gempa

- **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 :

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

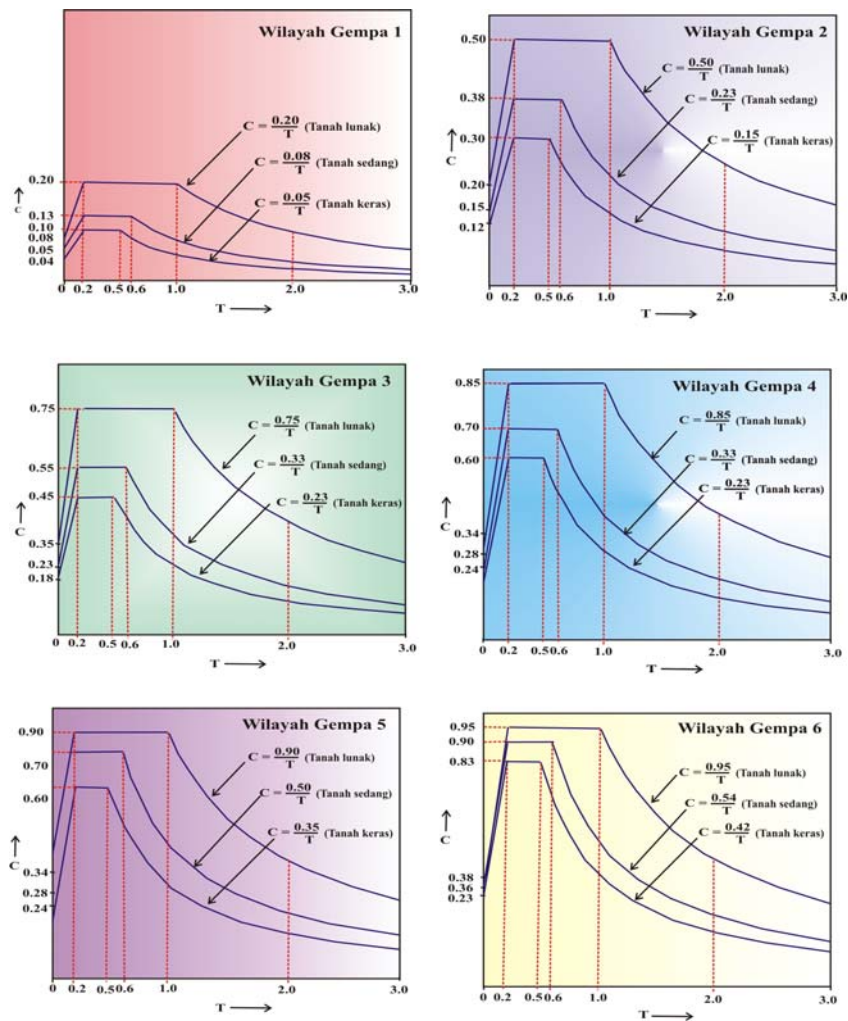
Dimana,  $I$  adalah Faktor Keutamaan Struktur menurut Tabel I,  $C$  adalah nilai Faktor Respon Gempa yang didapat dari Respon Spektrum Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental  $T$ , dan  $W_t$  ditetapkan sebagai jumlah dari beban-beban berikut :

- 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 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 2.17 Spektrum Respon untuk Masing-masing Daerah Gempa

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

**Tabel 2.4 Faktor Keutamaan untuk berbagai gedung dan bangunan**

Kategori gedung / bangunan	Faktor Keutamaan		
	$I_1$	$I_2$	$I (=I_1 \cdot I_2)$
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

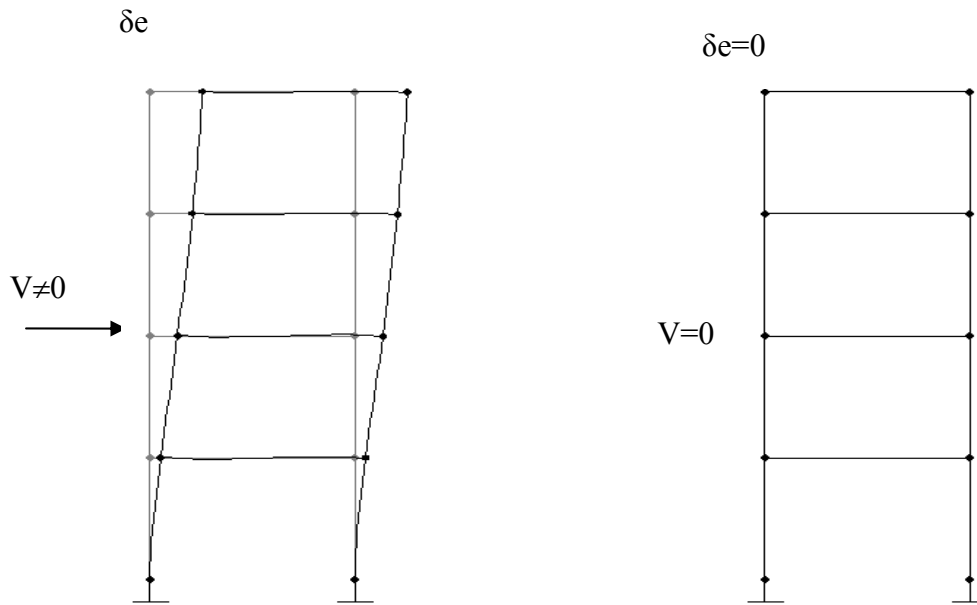
- **Daktilitas Struktur**

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

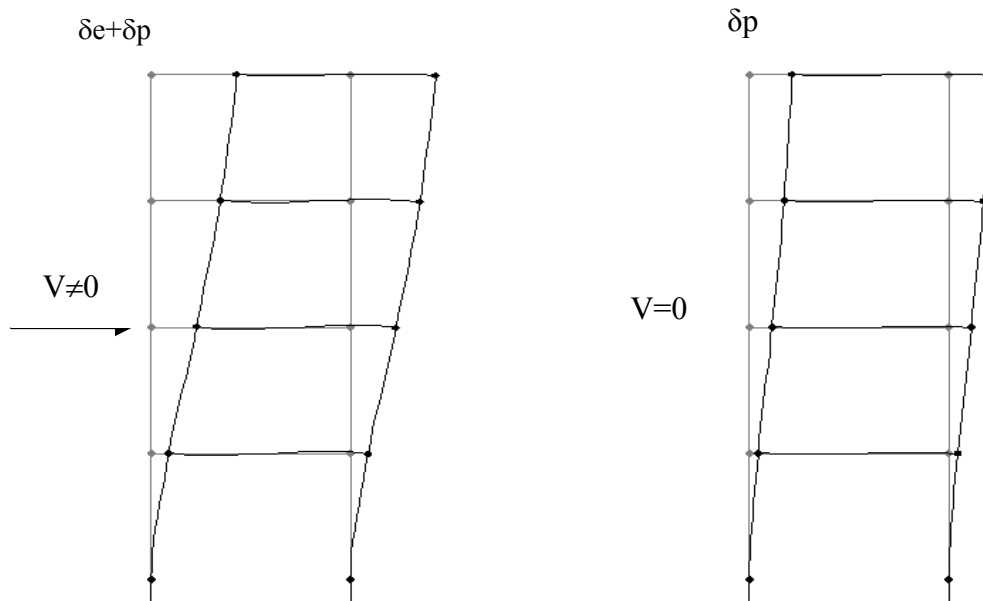
negatif pula, dan besarnya akan sebanding dengan besarnya beban. Pada kondisi seperti ini struktur mengalami deformasi elastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang apabila bebannya dihilangkan, maka deformasi tersebut akan hilang, dan struktur akan kembali kepada bentuknya yang semula.

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 kepada bentuknya yang 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 =  $\delta e$ ), sedangkan sebagian deformasi akan bersifat permanen (deformasi plastis =  $\delta p$ ). Perilaku deformasi elastis dan plastis dari struktur diperlihatkan pada Gambar 2.18.



**Gambar 2.18.a. Deformasi elastis pada struktur**



**Gambar 2.18.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 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 ( $\mu$ ) adalah rasio antara simpangan maksimum ( $\delta_m$ ) struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan, dengan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama ( $\delta_y$ ), yaitu:

$$1,0 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m$$

Pada persamaan ini,  $\mu = 1,0$  adalah nilai faktor daktilitas untuk struktur bangunan gedung yang berperilaku elastik penuh, sedangkan  $\mu_m$  adalah nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur bangunan gedung yang bersangkutan. Parameter daktilitas struktur gedung diperlihatkan pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	$\mu_m$	$R_m$	$f_1$
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2,8	4,4	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3,6	5,6	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja	4,1	6,4	2,2
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4,0	6,5	2,8
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)	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
	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)			
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	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
	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB saja	2,6		
	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

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)	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 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

- **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 biaksial atau sembarang dapat menimbulkan pengaruh yang lebih rumit terhadap struktur gedung ketimbang pembebanan gempa penuh tetapi uniaksial. Untuk mengantisipasi kondisi ini *Applied Technology Council* (ATC, 1984) menetapkan bahwa, arah gempa yang biaksial dapat disimulasikan dengan meninjau beban gempa rencana yang

disyaratkan oleh peraturan, bekerja pada ke dua 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 lurusnya.

- **Wilayah Gempa dan Spektrum Respon**

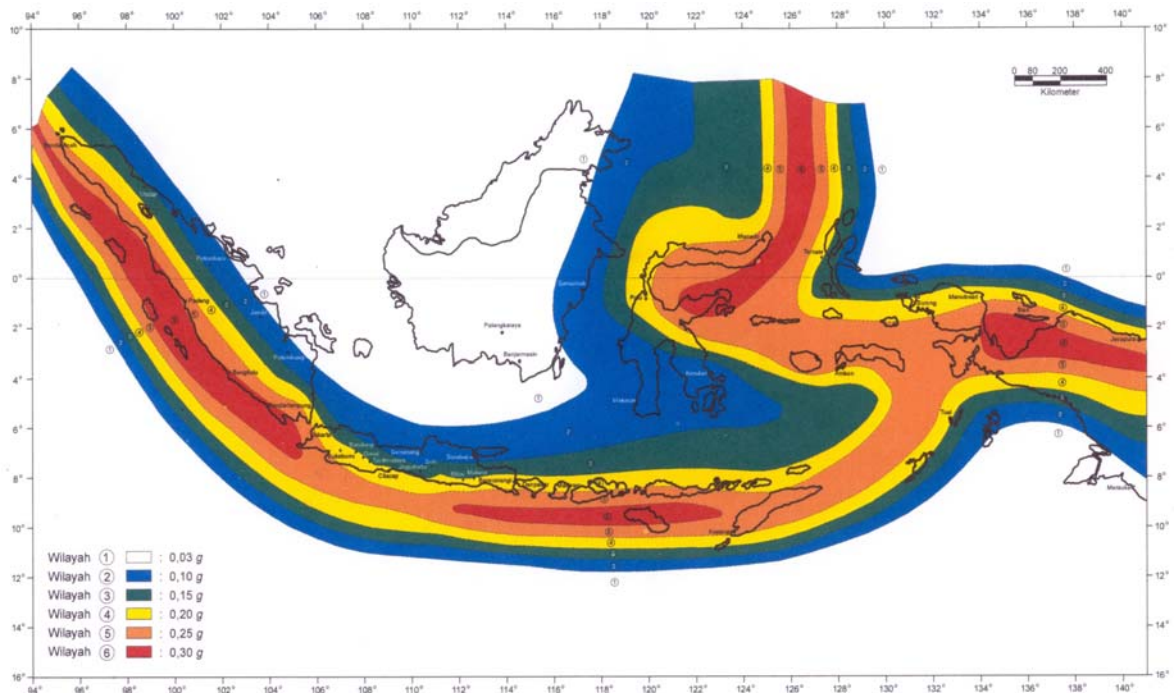
Salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan adalah faktor wilayah gempa. Dengan demikian, besar kecilnya beban gempa, tergantung juga pada lokasi dimana struktur bangunan tersebut akan didirikan. Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 Wilayah Gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.19, dimana Wilayah Gempa 1 adalah wilayah dengan 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 Gambar 2.19 dan Tabel 2.6.

**Tabel 2.6. 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 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 di daerah sumber gempa, fungsi perambatan gempa (atenuasi) yang memberikan hubungan antara gerakan tanah setempat, magnitudo gempa di sumber 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 2.19. Peta kegempaan Indonesia, terdiri dari 6 Wilayah Gempa**

- **Pembatasan Waktu Getar**

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

$$T < \xi n$$

Dimana : T = waktu getar stuktur fundamental

n = jumlah tingkat gedung

$\xi$  = koefisien pembatas yang ditetapkan berdasarkan tabel 4.16

**Tabel 2.7 Koefisien Pembatas Waktu Getar Struktur**

Wilayah Gempa	Koefisien pembatas ( $\xi$ )
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)

Untuk keperluan disain, analisis dari sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap adanya kombinasi pembebanan (*load combination*) dari beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung 1987, ada dua kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu: Kombinasi pembebanan tetap dan kombinasi pembebanan sementara. Kombinasi pembebanan tetap dianggap beban bekerja secara terus-menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan tetap disebabkan oleh bekerjanya beban mati dan beban hidup.

Kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus-menerus pada stuktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa struktur. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Nilai-nilai tersebut 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 bagi struktur. Pada perencanaan struktur komposit gedung Indosat

ini, ditinjau kombinasi pembebanan (menurut SNI 03-1729-2002), dengan nilai kombinasi kuat perlu yang diberikan sebagai berikut:

$$1.2D + 1.6L$$

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

Keterangan :

$D$  adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap. Plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap.

$L$  adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.

$E$  adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-2002.

Dengan,  $\gamma_L = 0.5$  bila  $L < 5$  kPa, dan  $\gamma_L = 1$  bila  $\geq 5$  kPa

- **Jenis Tanah**

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

- *Standard penetrasi test* (N)
- Kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ )
- Kekuatan geser tanah ( $S_u$ )

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



apabila ditambah dengan kekakuan dari dinding geser akan meningkatkan daya tahan untuk beban angin pada beberapa kasus.

Ketika struktur direncanakan untuk menahan beban lateral yang lebih besar, seperti gempa bumi, biasanya digunakan dinding geser pada bangunan gedung.

Umumnya dinding geser berupa dinding beton yang mengelilingi tangga dan atau lorong lift. Bentuk dan penempatan dinding geser dapat disesuaikan dengan bentuk denah bangunan. Pada denah bangunan tertentu, dinding geser dapat dirangkai dan diletakkan di inti bangunan. Sistem penempatan dinding geser seperti ini sering juga disebut dinding inti (*core wall*).

Perhitungan dinding inti merupakan masalah yang cukup sulit dalam analisa struktur. Terdapat perbedaan dalam deformasi struktur pada struktur biasa yang tersusun dari portal terbuka, dan struktur yang menggunakan dinding inti. Deformasi pada dinding geser menyerupai deformasi balok kantilever yang tegak lurus tanah dan selain deformasi lentur, dinding mengalami deformasi geser dan rotasi secara bersamaan. Deformasi pada dinding geser sangat kecil di lantai dasar dan sangat besar dilantai atas bangunan.

Koefisien distribusi dinding geser sangat besar untuk tingkat bawah dan semakin mengecil untuk tingkat yang semakin tinggi. Jika dinding geser sangat langsing dan tinggi, kekuatan penahan pada bagian atas hampir tidak ada dan pengaruh kekuatan pada dinding geser hampir tidak dapat diandalkan untuk menahan beban lateral.

Dasar perhitungan untuk dinding geser menggunakan pendekatan yang hampir sama dengan teori untuk perhitungan balok, yaitu :

- Pada shear wall yang mengalami aksial tarik, tegangan didukung sepenuhnya oleh tulangan.

$$A_s = \frac{P}{\phi \times f_y}$$

- Pada shear wall yang mengalami aksial tekan, tegangan didukung oleh kuat tekan nominal beton, dan sisanya didukung oleh tulangan.

$$A_s = \frac{P - (\phi \times f'_c)}{\phi \times f_y}$$

Dimana:  $A_s$  = luasan tulangan yang dibutuhkan  
 $P$  = gaya aksial yang bekerja pada shear wall  
 $f'_c$  = tegangan nominal dari beton  
 $f_y$  = tegangan leleh dari baja  
 $\Phi_{tekan} = 0,6$   
 $\Phi_{tarik} = 0,8$

#### 2.4.2.2 Perencanaan Pelat

Kekuatan lentur suatu elemen pelat sangat dipengaruhi oleh ketebalannya. Pelat dapat dikategorikan kedalam tipe elemen yang perbandingan lendutannya lebih kecil jika dibandingkan ketebalan pelat. Proses analisisnya menggunakan teori pendekatan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Tidak terjadi deformasi pada bidang tengah pelat. Bidang ini dapat disebut bidang netral pada saat terjadi lentur.
2. Titik-titik yang terletak pada suatu bidang tengah pelat akan tetap berada pada bidang normal permukaan tengah pelat selama terjadi lentur.
3. Tegangan normal pada arah melintang terhadap pelat (tegangan geser pelat) dapat diabaikan.

Dari asumsi-asumsi tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa pengaruh gaya-gaya geser pada pelat dapat diabaikan. Namun dalam beberapa kasus, misalnya jika ada lubang-lubang pada pelat, pengaruh geser menjadi sangat penting dan harus dilakukan sedikit koreksi dari teori pelat ini. Selain itu, jika terdapat beban terpusat pada permukaan pelat, maka akan terjadi deformasi pada bidang tengah pelat sehingga asumsi pertama tidak berlaku lagi.

Pada tipe "pelat tipis dengan lendutan besar" asumsi pertama akan berlaku sepenuhnya hanya jika pelat dibentuk menjadi pelat yang permukaannya dibengkokkan. Pada kasus pelat dengan lendutan yang besar, kita juga harus membedakan antara tepi-tepi terjepit yang tidak dapat bergerak dan tepi-tepi bebas yang dapat berdeformasi pada bidang pelat. Hal ini akan berpengaruh pada besarnya lendutan pada pelat, terutama pada bidang yang tidak terjepit dan dapat bergerak bebas.

Pada prinsipnya dasar teori dari pelat juga membentuk dasar teori umum dari elemen shell. Namun terdapat suatu perbedaan nyata antara elemen pelat dan elemen shell terutama bila mengalami pengaruh dari beban luar. Suatu elemen shell mampu meneruskan beban-beban permukaan yang bekerja pada permukaannya, menjadi gaya-gaya dalam baik itu berupa momen, gaya geser, ataupun gaya aksial serta mendistribusikannya ke elemen-elemen lainnya. Sifat-sifat shell ini menjadikannya jauh lebih stabil jika dibandingkan dengan elemen pelat dengan kondisi kasus pembebanan yang sama.

Elemen shell yang terbuat dari material beton umumnya harus diberi tulangan untuk menahan gaya tarik akibat lentur, momen dan puntir.

Langkah-langkah perencanaan pelat adalah:

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan beban-beban yang bekerja.
3. Menentukan tebal pelat.

Berdasarkan buku "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung" (SNI 03 - 1728 - 2002 pasal 16.5(3)), *ketebalan pelat yang digunakan dalam system struktur flate pelat biasanya memiliki ketebalan 125-250 mm. Jadi, tebal pelat lantai diambil sebesar  $t = 250$  mm.*

4. Menentukan kapasitas momen nominal ( $M_n$ ) yang bekerja pada pelat
5. Menentukan besarnya momen disain ( $M_u$ ), yaitu:
 
$$M_u = \Phi \cdot M_n$$
 dimana:  $\Phi$  = faktor reduksi kekuatan
6. Struktur beton tidak menahan tarik. Oleh sebab itu pada daerah tersebut dibutuhkan tulangan untuk menahan tarik. Cara-cara untuk menentukan tulangan pada daerah tarik :
  - a. Menetapkan tebal penutup beton
  - b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
  - c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.
  - d. Membagi  $M_u$  dengan  $b \times d^2$

$$\left( \frac{M_u}{b \times d^2} \right)$$

dimana  $b$  = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

e. Mencari rasio penulangan ( $\rho$ ) dengan persamaan :

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

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy}$$

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

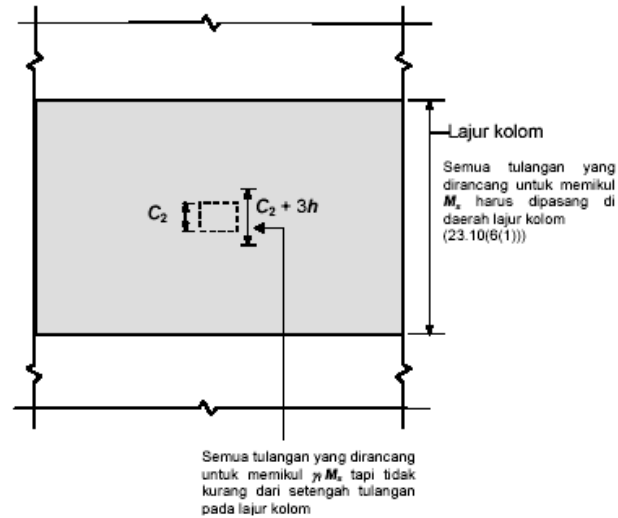
Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

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

Perhitungan pelat lantai pada gedung parkir didesain sama seperti pelat lantai pada gedung utama. Pada gedung parkir juga terdapat ramp. Ramp digunakan sebagai sarana untuk dilalui kendaraan dalam menaiki gedung parkir ke tiap-tiap levelnya. Perencanaan ramp juga seperti perencanaan pelat pada gedung utama yaitu pelat beton.

Pemasangan tulangan pada pelat dua arah harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

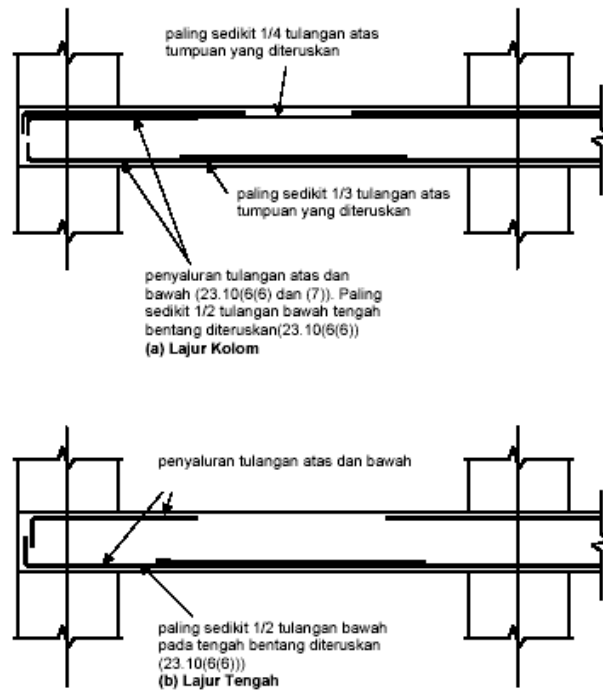
- (1) Momen pelat terfaktor pada tumpuan akibat beban gempa harus ditentukan untuk kombinasi pembebanan. Semua tulangan yang disediakan untuk memikul **Ms**, yaitu bagian dari momen pelat yang diimbangi oleh momen tumpuan, harus dipasang di dalam lajur kolom.
- (2) Bagian dari momen harus dipikul oleh tulangan yang dipasang pada daerah lebar efektif.
- (3) Setidak-tidaknya setengah jumlah tulangan lajur kolom di tumpuan diletakkan di dalam daerah lebar efektif pelat.



Catatan: Ketentuan ini berlaku untuk tulangan atas dan bawah.  
(Lihat pasal 15 untuk notasi)

### Gambar 2.20. Lokasi Tulangan Pada Konstruksi Pelat Dua Arah

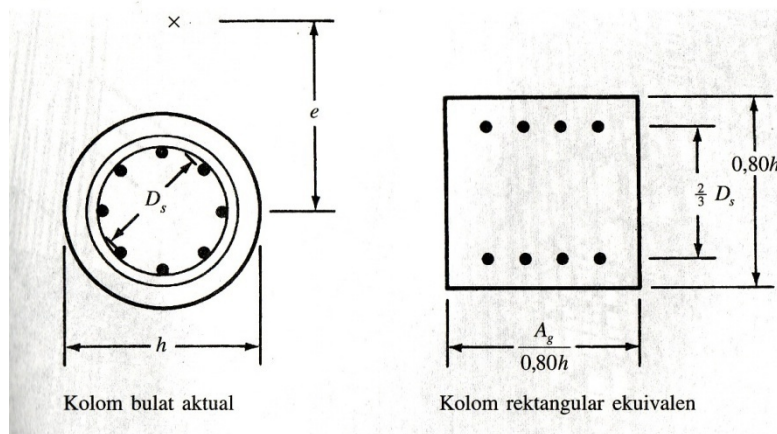
- (4) Paling sedikit seperempat dari seluruh jumlah tulangan atas lajur kolom di daerah tumpuan harus dipasang menerus di keseluruhan panjang bentang.
- (5) Jumlah tulangan bawah yang menerus pada lajur kolom tidak boleh kurang daripada sepertiga jumlah tulangan atas lajur kolom di daerah tumpuan.
- (6) Setidak-tidaknya setengah dari seluruh tulangan bawah di tengah bentang harus diteruskan dan diangkur hingga mampu mengembangkan kuat lelehnya pada muka tumpuan.
- (7) Pada tepi pelat yang tidak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada daerah tumpuan harus dipasang sedemikian hingga mampu mengembangkan kuat lelehnya pada muka tumpuan.



Gambar 2.21. Pengaturan Tulangan Pada Pelat

2.4.2.3 Perencanaan Kolom

Kolom adalah suatu elemen tekan dan merupakan struktur utama dari bangunan yang berfungsi untuk memikul beban vertikal, walaupun kolom tidak harus selalu berarah vertikal. Pada umumnya kolom tidak mengalami lentur secara langsung.



Gambar 2.22 Jenis – jenis Kolom Beton Bertulang

Kolom beton secara garis besar dibagi dalam tiga kategori berikut:

1) Blok tekan pendek atau pedestal.

Jika ketinggian dari kolom tekan tegak kurang dari tiga kali dimensi pedestal terkecil, kolom tersebut dianggap sebagai pedestal.

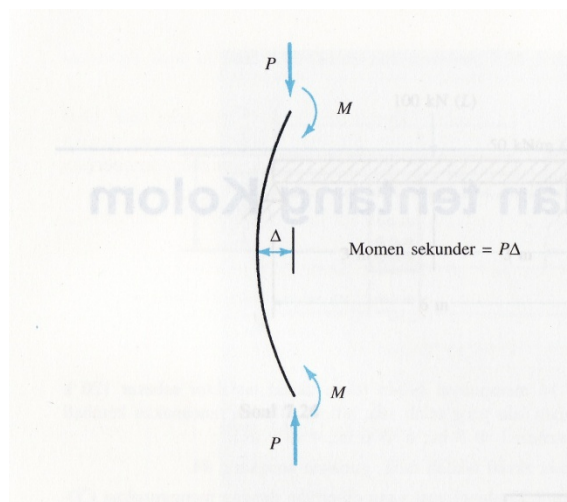
2) Kolom pendek.

Jika kegagalan kolom diawali dengan keruntuhan material, kolom tersebut diklasifikasikan sebagai kolom pendek. Kolom pendek diasumsikan sebagai kolom kokoh dengan fleksibilitas kecil. Kekuatan kolom pendek sangat bergantung kepada luas penampang dan kekuatan material.

3) Kolom panjang atau langsing.

Kolom diklasifikasikan sebagai kolom panjang jika kegagalannya diakibatkan oleh ketidakstabilan, bukan karena kekuatan material. Ketidakstabilan terjadi akibat adanya potensi menekuk pada kolom panjang, sehingga kapasitas kolom dalam memikul beban menjadi lebih kecil. Pada kolom panjang, perbandingan dimensi antara arah memanjang dengan dimensi arah melintang sangat besar.

Jika suatu kolom menerima momen utama (momen yang disebabkan oleh beban kerja, rotasi titik, dan lain – lain), sumbu kolom akan berdefleksi secara lateral, akibatnya pada kolom akan bekerja momen tambahan sama dengan beban kolom dikalikan defleksi lateral. Momen ini dinamakan momen sekunder atau momen  $P\Delta$ , seperti yang diilustrasikan seperti gambar dibawah.



**Gambar 2.23 Momen Sekunder yang terjadi pada kolom**

Kolom dengan momen sekunder yang besar disebut kolom langsing, dan perlu untuk mendimensi penampangnya dengan penjumlahan momen primer dan momen sekunder. Kolom dapat didesain dengan menggunakan kolom pendek jika pengaruh momen sekunder tidak mengurangi kekuatan lebih dari 5%.

Berdasarkan Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI Beton 2002), kuat tekan rencana ( $\phi P_n$ ) dari komponen struktur tekan tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan berikut :

1. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral atau komponen struktural tekan komposit :

$$\phi P_n(\max) = 0,85\phi[0,85 \times f_c'(A_g - A_s) + f_y \times A_s]$$

2. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat

$$\phi P_n(\max) = 0,80\phi[0,85 \times f_c'(A_g - A_s) + f_y \times A_s]$$

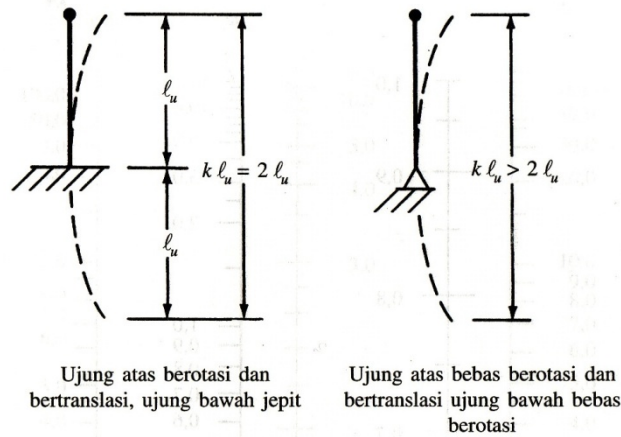
Kolom panjang atau langsing merupakan salah satu elemen yang perlu diperhatikan. Proses perhitungannya didasari oleh konsep perbesaran momen. Momen dihitung dengan analisis rangka biasa dan dikalikan oleh faktor perbesaran momen yang berfungsi sebagai beban tekuk kritis pada kolom.

Parameter yang berpengaruh dalam perencanaan kolom beton bertulang panjang adalah :

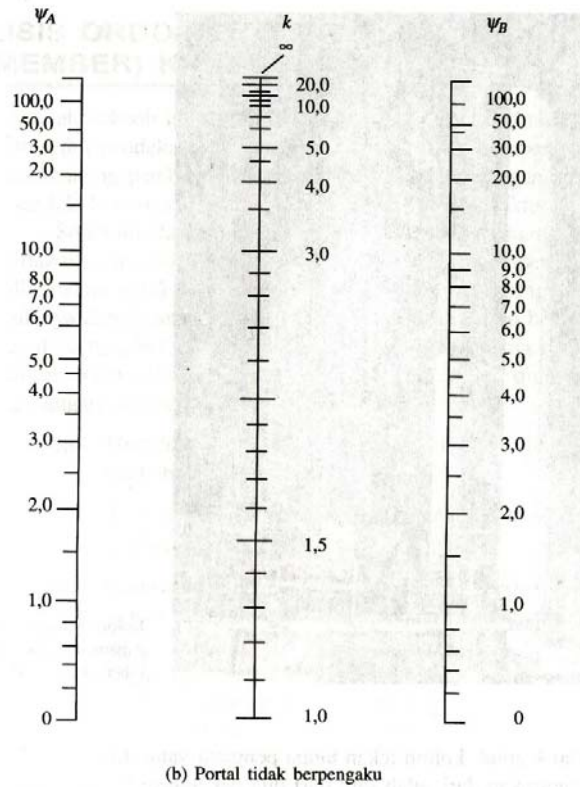
1. Panjang bebas ( $L_u$ ) dari sebuah elemen tekan harus diambil sama dengan jarak bersih antara pelat lantai, balok, atau komponen lain yang mampu memberikan tahanan lateral dalam arah yang ditinjau. Bila terdapat kepala kolom atau perbesaran balok, maka panjang bebas harus diukur terhadap posisi terbawah dari kepala kolom atau perbesaran balok dalam bidang yang ditinjau.
2. Panjang efektif ( $L_e$ ) adalah jarak antara momen – momen nol dalam kolom. Prosedur perhitungan yang digunakan untuk menentukan panjang efektif dapat menggunakan kurva alinyemen.

Untuk menggunakan kurva alinyemen dalam kolom, faktor  $\Psi$  dihitung pada setiap ujung kolom. Faktor  $\Psi$  pada satu ujung kolom sama dengan jumlah kekakuan  $[\sum(EI/l)]$  kolom yang bertemu pada titik tersebut, termasuk kolom yang ditinjau, dibagi dengan jumlah semua kekakuan balok yang bertemu

pada titik tersebut. Satu dari dua nilai  $\Psi$  disebut  $\Psi_A$ , yang lain disebut  $\Psi_B$ . Setelah nilai ini dihitung, faktor panjang efektif  $k$  didapat dengan menempatkan mistar antara  $\Psi_A$  dan  $\Psi_B$ . Titik perpotongan antara mistar dengan nomograf tengah adalah  $k$ .



Gambar 2.24 Panjang Efektif untuk Portal Bergoyang



Gambar 2.25 Kurva Alinyemen untuk Portal Bergoyang

Selain itu, nilai  $k$  untuk portal bergoyang juga dapat dihitung melalui persamaan:

Jika  $\psi_m < 2$

$$k = \frac{20 - \psi_m}{20} \sqrt{1 + \psi_m}$$

Jika  $\psi_m \geq 2$

$$k = 0.9 \sqrt{1 + \psi_m}$$

Dengan  $\psi_m$  merupakan rata – rata dari  $\psi_A$  dan  $\psi_B$ .

- Untuk pembahasan kolom ini, perlu dibedakan antara portal tidak bergoyang dan portal bergoyang. Suatu struktur dapat dianggap rangka portal bergoyang jika nilai indeks stabilitas ( $Q$ )  $> 0,05$ .

$$Q = \frac{\sum Pu \times \Delta o}{Vu \times Lc}$$

Dimana :

$Pu$  = Beban Vertikal

$Vu$  = Gaya geser lantai total pada tingkat yang ditinjau

$\Delta o$  = Simpangan relatif antar tingkat orde pertama

$Lc$  = Panjang efektif elemen kolom yang tertekan

- Untuk komponen tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan samping, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan apabila

$$\frac{k \times Lu}{r} < 22$$

- Jari-jari girasi ( $r$ ) boleh diambil sama dengan 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang di tinjau untuk komponen struktur tekan persegi, dan sama dengan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur bulat. Untuk bentuk penampang lainnya,  $r$  dapat dihitung dengan rumus :

$$r = \sqrt{(I / A)}$$

- Properti yang digunakan untuk menghitung pembesaran momen yang nantinya akan dikalikan dengan momen kolom, diantaranya adalah:
  - Modulus elastisitas ditentukan dari rumus berikut:

$$E_c = w_c^{1.5} 33 \sqrt{f_c}$$

Untuk  $w_c$  antara 90 sampai 155 lbs/ft<sup>3</sup> atau 57.000  $\sqrt{f_c}$  untuk beban normal.

- b) Momen inersia dengan  $I_g$  = momen inersia penampang bruto terhadap sumbu pusat dengan mengabaikan penulangan :

**Tabel 2.9 Momen Inersia**

Nama Elemen	Momen Inersia
Balok	0.35 $I_g$
Kolom	0.70 $I_g$
Dinding tidak retak	0.70 $I_g$
Dinding Retak	0.35 $I_g$
Pelat lantai dan lantai dasar	0.25 $I_g$

Dalam portal bergoyang untuk setiap kombinasi pembebanan perlu menentukan beban mana yang menyebabkan goyangan cukup berarti (kemungkinan beban lateral) dan mana yang tidak. Momen ujung terfaktor yang menyebabkan goyangan dinamakan  $M_{1s}$  dan  $M_{2s}$ , dan keduanya harus diperbesar karena pengaruh  $P\Delta$ .

Momen ujung lain yang tidak menyebabkan goyangan cukup berarti adalah  $M_{1ns}$  dan  $M_{2ns}$ . Momen ini ditentukan dari analisis orde pertama dan tidak perlu diperbesar. Pembesaran momen  $\delta_s M_s$  dapat ditentukan dengan rumus berikut

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq M_s$$

Dimana:

$P_u$  = beban vertikal dalam lantai yang ditinjau

$P_c$  = beban tekuk Euler untuk semua kolom penahan goyangan

dalam lantai tersebut, dicari dengan rumus  $P_c = \frac{\pi EI}{(kl_u)^2}$

Sehingga momen desain yang digunakan harus dihitung dengan rumus:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

Kadang – kadang titik momen maksimum dalam kolom langsing dengan beban aksial tinggi akan berada di ujung – ujungnya, sehingga momen maksimum akan terjadi pada suatu titik di antara ujung kolom dan akan melampaui momen ujung maksimum lebih dari 5%. Hal ini terjadi bila :

$$\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f_c' A_g}}}$$

Untuk kasus ini, momen desain ditentukan dengan rumus berikut:

$$M_c = \delta_{ns} (M_{2ns} + \delta_s M_{2s})$$

Selain itu, portal bergoyang mungkin saja menjadi tidak stabil akibat beban gravitasi, sehingga harus dilakukan kontrol terhadap ketidakstabilan beban gravitasi. Portal menjadi tidak stabil akibat gravitasi apabila  $\delta_s > 2.5$ , sehingga portal harus diperkaku.

Desain kolom langsing sangat rumit dibandingkan dengan kolom pendek. Akibatnya akan bijaksana untuk mempertimbangkan penggunaan dimensi minimum sehingga tidak ada kolom yang langsing. Dengan cara ini kolom langsing hampir dapat dihindari sama sekali dalam bangunan berbentuk rata-rata. Misal, jika kita memiliki portal bergoyang, dan diasumsikan  $k = 1.2$ , perlu dipertahankan agar  $l_u/h$  sama dengan 6 atau lebih kecil. Jadi untuk kolom dengan tinggi bersih 10 ft, perlu menggunakan  $h$  minimum sekitar  $10 \text{ ft}/6 = 1.67 \text{ ft} = 20$  inchi dalam arah lentur untuk menghindari kolom langsing.

Penulangan dalam kolom juga merupakan salah satu faktor yang ikut membantu komponen beton dalam mendukung beban yang diterima. Penulangan pada kolom dibagi menjadi tiga jenis, diantaranya adalah:

1. Tulangan utama (*longitudinal reinforcing*).

Tulangan utama (*longitudinal reinforcing*) merupakan tulangan yang ikut mendukung beban akibat lentur (*bending*). Pada setiap penampang dari suatu komponen struktur luas, tulangan utama tidak boleh kurang dari:

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{2 f_y} b d$$

Dan tidak lebih kecil dari:

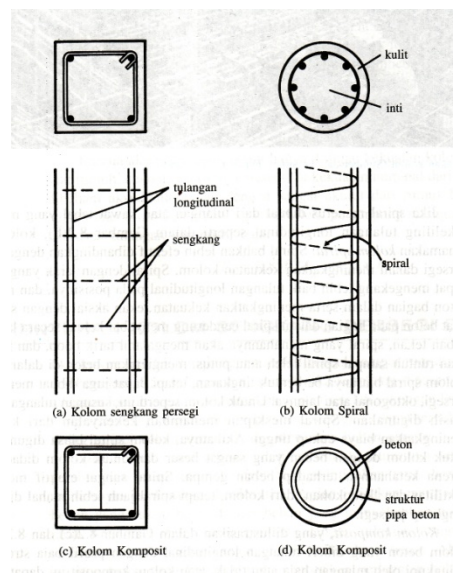
$$A_s \text{ min} = \frac{1.4}{f_y} b d$$

Dimana:

- As = luas tulangan utama
- fc' = tegangan nominal dari beton
- fy = tegangan leleh dari baja
- b = lebar penampang
- d = tinggi efektif penampang

Sebagai alternatif, untuk komponen struktur yang besar dan masif, luas tulangan yang diperlukan pada setiap penampang, positif atau negatif, paling sedikit harus sepertiga lebih besar yang diperlukan berdasarkan analisis.

Luas tulangan utama komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 0.01 ataupun lebih dari 0.08 kali luas bruto penampang  $A_g$ . Jumlah minimum batang tulangan utama pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segiempat atau lingkaran, 3 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segitiga, dan 6 untuk batang tulangan yang dilingkupi oleh spiral.



**Gambar 2.26 Jenis – jenis Sengkang Pengikat**

Rasio tulangan spiral tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh persamaan:

$$\rho_s = 0.45 \left[ \frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{f_c'}{f_y}$$

Dimana:

- $\rho_s$  = rasio tulangan spiral
- $A_g$  = luas kotor penampang
- $A_c$  = luas bersih penampang beton
- $f_c'$  = tegangan nominal dari beton
- $f_y$  = kuat leleh tulangan spiral, tidak boleh lebih dari 400 Mpa.

## 2. Tulangan geser (*shear reinforcing*).

Tulangan geser (*shear reinforcing*) merupakan tulangan yang ikut mendukung beban akibat geser (*shear*). Jenis tulangan geser dapat berupa:

- a. Sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur,
- b. Jaring kawat baja las dengan kawat – kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur,
- c. Spiral, sengkang ikat bundar atau persegi.

Bila pada komponen struktur beton bertulang (prategang maupun non-prategang) bekerja gaya geser terfaktor  $V_u$  yang lebih besar dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton  $\Phi V_c$ , maka harus selalu dipasang tulangan geser minimum. Tulangan geser minimum dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f_c'} b \times s}{1200 f_y}$$

$$A_v \geq \frac{1 b \times s}{3 f_y}$$

Dimana:

- $A_v$  = luas tulangan geser
- $f_c'$  = tegangan nominal dari beton
- $f_y$  = tegangan leleh dari baja
- $b$  = lebar penampang
- $s$  = jarak antara tulangan geser

Perencanaan tulangan geser harus memperhatikan kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser dalam menahan beban. Bila digunakan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, maka perencanaan tulangan geser dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

$$V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f_c' b} \times d$$

Dimana:

- $V_s$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser
- $A_v$  = luas tulangan geser
- $f_c'$  = tegangan nominal dari beton
- $f_y$  = tegangan leleh dari baja
- $b$  = lebar penampang
- $s$  = jarak antara tulangan geser
- $d$  = tinggi efektif penampang

### 3. Tulangan puntir (*torsional reinforcing*).

Tulangan puntir (*torsional reinforcing*) merupakan tulangan yang ikut mendukung beban akibat puntir (torsi). Pengaruh puntir dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang daripada:

- a. Untuk komponen struktur non-prategang

$$\frac{\phi \sqrt{f_c'}}{12} \left[ \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right]$$

- b. Untuk komponen struktur non-prategang yang dibebani gaya tarik atau tekan aksial.

$$\frac{\phi\sqrt{f_c'}}{12} \left[ \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right] \sqrt{1 + \frac{3N_u}{A_g\sqrt{f_c'}}$$

Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir harus ditentukan dari:

$$\phi T_n \geq T_u$$

Dengan  $T_u$  adalah momen puntir terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $T_n$  adalah kuat momen puntir nominal penampang. Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yv}}{s} \cot \theta$$

Dimana:

$T_n$  = kuat momen puntir nominal penampang

$A_o$  = luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser

$A_t$  = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak

$f_{yv}$  = kuat leleh tulangan sengkang torsi

$s$  = jarak tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal

Dengan  $A_o$  dapat diambil sebesar  $0.85 A_{oh}$ . Nilai  $\theta$  boleh diambil sebesar :

- $37,5^\circ$  untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif tidak kurang daripada 40 % kuat tarik tulangan longitudinal.
- $45^\circ$  untuk komponen struktur non prategang atau komponen struktur prategang dengan nilai prategang yang besarnya kurang daripada yang telah disebutkan di atas.

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir tidak boleh kurang daripada:

$$A_t = \frac{A_t}{s} p_h \left[ \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right] \cot^2 \theta$$

Dimana:

$p_h$  = keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar

$f_{yt}$  = kuat leleh tulangan torsi longitudinal

Luas minimum tulangan puntir harus disediakan pada daerah dimana momen puntir terfaktor  $T_u$  melebihi nilai yang disyaratkan. Luas minimum tulangan sengkang tertutup dapat dihitung dengan ketentuan:

$$A_v + 2A_t = \frac{75\sqrt{f_c'} b s}{1200 f_{yv}}$$

$$A_v + 2A_t \geq \frac{1}{3} \frac{b \times s}{f_{yv}}$$

Luas total minimum tulangan puntir longitudinal harus dihitung dengan ketentuan:

$$A_{t \min} = \frac{5\sqrt{f_c'} A_{cp}}{12 f_{yl}} - \left( \frac{A_t}{s} \right) p_h \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{b}{6 f_{yv}}$$

Dimana:

$A_{cp}$  = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton

$f_{yl}$  = kuat leleh tulangan torsi longitudinal

Pemasangan tulangan pada kolom harus memenuhi beberapa persyaratan diantaranya adalah:

- (1) Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $0l$  dari muka hubungan balok-kolom adalah  $s0$ . Spasi  $s0$  tersebut tidak boleh melebihi:
  - a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
  - b) 24 kali diameter sengkang ikat,
  - c) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur, dan
  - d) 300 mm.

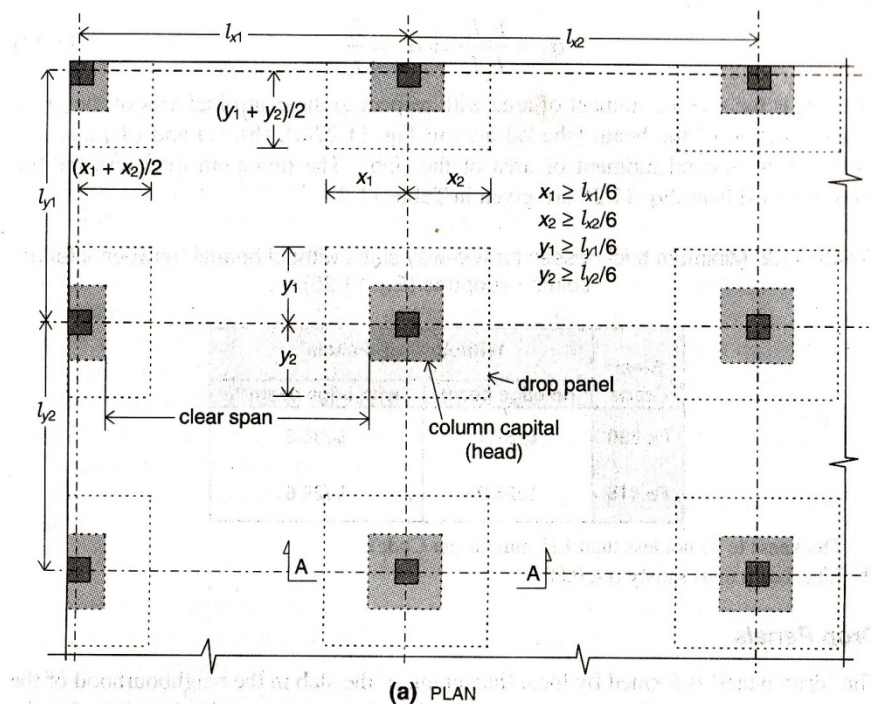
Panjang  $0l$  tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini:

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,
  - b) Dimensi terbesar penampang kolom, dan
  - c) 500 mm.
- (2) Senggang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada  $0,5 s_0$  dari muka hubungan balok-kolom.
  - (3) Tulangan hubungan balok-kolom harus memenuhi 13.11(2).
  - (4) Spasi senggang ikat pada penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 s_0$ .

#### 2.4.2.4 Perencanaan *Drop Panel*

*Drop panel* terbentuk dari penebalan lokal pada pelat di sekitar kolom pendukung. *Drop panel* memiliki fungsi utama untuk mengurangi tegangan geser di sekitar kolom, juga berfungsi untuk mengurangi kebutuhan tulangan untuk menahan momen negatif.

*Drop panel* direkomendasikan memiliki bentuk seragam, dan panjang di setiap sisinya tidak kurang dari seperenam kali jarak kolom seperti yang terlihat pada gambar 2.27. Ketebalan *drop panel* tidak ditentukan, namun sebaiknya tidak kurang dari 100 mm, dan tidak kurang dari seperempat kali ketebalan pelat.

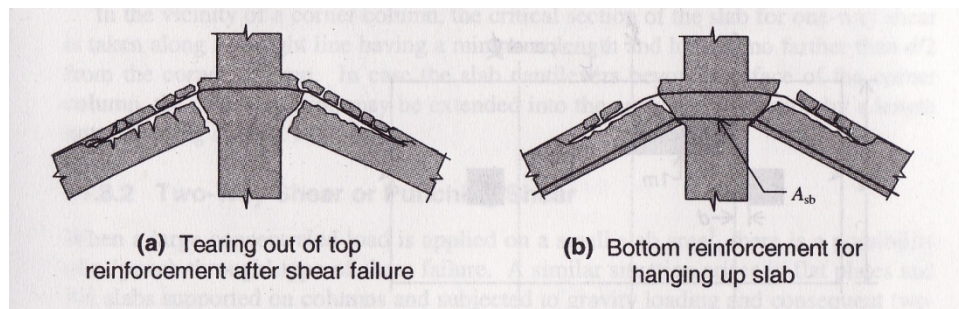


Gambar 2.27 Dimensi *Drop Panel*

Pada kolom, kegagalan geser akan menyebabkan retak pada tulangan atas, seperti terlihat pada gambar 2.28, sehingga tulangan bawah pada *drop panel* akan dibutuhkan. Luas tulangan bawah minimum yang dibutuhkan ialah:

$$A_{sb} = \frac{0.5w \times l_2 \times l_n}{0.87 \times f_y}$$

Dimana  $w$  adalah beban total (beban mati dan beban hidup) per unit area, tapi tidak boleh kurang dari dua kali beban mati.



**Gambar 2.28 Tulangan bawah pada *drop panel***

### 2.4.3 Perencanaan Struktur Bawah

Struktur bawah (pondasi) pada suatu bangunan berfungsi meneruskan atau menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah dasar. Tegangan kontak yang terjadi antara pondasi dan tanah tidak boleh melewati tegangan yang diizinkan, serta tidak boleh mengakibatkan gerakan tanah yang dapat membahayakan struktur. Perencanaan dan perhitungan pondasi dilakukan dengan membandingkan beban-beban yang bekerja terhadap dimensi pondasi dan daya dukung tanah dasar (*Teknik Pondasi 1, 2002*). Jenis pondasi yang dipilih harus mempertimbangkan beberapa hal berikut :

#### 1. **Beban total yang bekerja pada struktur.**

Merupakan hasil kombinasi pembebanan yang terbesar yaitu kombinasi atau superposisi antara beban mati bangunan (D), Beban hidup (L), beban angin ( W ) dan Beban gempa (E).

## 2. Kondisi tanah dasar di bawah bangunan.

Keadaan tanah dimana bangunan akan didirikan merupakan hasil analisa tanah pada kedalaman lapisan tertentu serta perhitungan daya dukung tiap lapisan tanahnya.

## 3. Faktor biaya

Bila berdasarkan hasil penyelidikan tanah menyimpulkan bahwa daya dukung tanah lapisan atas adalah rendah serta melihat letak kedalaman tanah keras, maka akan lebih efisien apabila menggunakan tipe pondasi tiang pancang. Dan apabila sebaliknya, maka tipe pondasi sumuran akan lebih baik digunakan.

## 4. Keadaan di sekitar lokasi bangunan.

Hal ini berkaitan dengan pelaksanaan pemasangan pondasi, apakah dekat dengan lokasi pemukiman penduduk ataukah tidak, sehingga pada saat pemasangan pondasi tidak menimbulkan gangguan bagi penduduk sekitar.

Beban-beban yang bekerja pada pondasi meliputi :

1. Beban terpusat yang disalurkan dari bangunan atas
2. Berat merata akibat berat sendiri pondasi
3. Beban momen, akibat deformasi struktur sebagai pengaruh dari beban lateral.

Analisa daya dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban, baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya, tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah dan biasanya diberi simbol  $q_{ult}$ . Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, rumusnya  $q_a = q_{ult}/FK$ .

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

### 2.4.3.1 Perencanaan Pondasi *Bored Pile*

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

#### 1. Daya Dukung Vertikal Yang Diijinkan Untuk Tiang Tunggal

Tes sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) pada dasarnya adalah untuk memperoleh tahanan ujung ( $q$ ). Tes sondir ini biasanya dilakukan pada tanah-tanah kohesif, dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung keras.

Pondasi dihitung berdasarkan tahanan ujung, dan memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras dibawahnya. Perhitungan yang dipakai untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang adalah:

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} \times P}{SF}$$

Dimana

$Q_{tiang}$  = daya dukung keseimbangan tiang (ton)

$A_{tiang}$  = luas permukaan tiang ( $m^2$ )

$P$  = nilai conus hasil sondir (ton/  $m^2$ )

$SF$  = Faktor Keamanan, biasanya diambil 3

Jika perhitungan pondasi tiang didasarkan terhadap tahanan ujung dan hambatan pekat, maka daya dukung tanah dapat dilihat sebagai berikut:

#### Menurut Wesley

$$Q_{sp} = \frac{q_c \times A_b}{F_b} + \frac{TF \times U}{F_s}$$

Dimana:

$Q_{sp}$  = daya dukung vertikal yang diijinkan untuk sebuah tiang tunggal (ton)

$q_c$  = tahanan konus pada ujung tiang (ton/ $m^2$ )

$A_b$  = luas penampang ujung tiang ( $m^2$ )

$U$  = keliling tiang (m)

TF = tahanan geser (*c/leef*) total sepanjang tiang (ton/m)

$F_b$  = faktor keamanan = 3

$F_s$  = faktor keamanan = 5

### Daya Dukung Tiang Berdasarkan SPT

$$P = \frac{(q_d \times A + U \times \sum l_i f_i)}{SF}$$

Nilai  $q_d$  untuk pondasi tiang yang dicor di tempat diambil berdasarkan tabel 2.10

**Tabel 2.10 Nilai SPT dan  $Q_d$  untuk berbagai jenis tanah**

Jenis Tanah	Nilai SPT	$Q_d$ (t/m <sup>2</sup> )
Lapisan Kerikil	$N \geq 50$	750
	$50 > N \geq 40$	525
	$40 > N \geq 30$	300
Lapisan berpasir	$N \geq 30$	300
Lapisan lempung keras		$3 q_u$

Untuk intensitas gaya geser dinding tiang ( $f_i$ ) pada tiang yang dicor di tempat adalah  $N/2$ , tetapi tidak boleh lebih besar dari 12.

### Kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan

$$P_{tiang} = \sigma_{bahan} \times A_{tiang}$$

Dimana:

$P_{tiang}$  = kekuatan yang diijinkan pada tiang

$A_{tiang}$  = luas penampang tiang (cm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bahan}$  = tegangan tekan ijin bahan tiang (kg/cm<sup>2</sup>)

## 2. Pondasi Tiang Kelompok (*Pile Group*)

Dalam pelaksanaan, jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dari satu tiang saja, tetapi terdiri dari kelompok tiang. Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara

individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi.

Daya dukung kelompok tiang dihitung berdasarkan *cleef*. Persamaan-persamaan yang digunakan dirumuskan berdasarkan efisiensi kelompok tiang.

$$Q_f = eff \times Q_s$$

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

Dimana:

- m = jumlah baris
- n = jumlah tiang 1 baris
- $\theta = \tan^{-1} (d/s)$
- d = diameter tiang (cm)
- s = jarak antar tiang (cm)

#### 2.4.3.2 Perencanaan *Pile Cap*

Pada struktur dengan kolom yang memikul beban berat, atau jika struktur kolom tidak didukung oleh tanah yang kuat dan seragam, umumnya digunakan pondasi menerus untuk menyalurkan beban ke tanah. Pondasi menerus dapat terdiri dari *pile cap* menerus yang mendukung kolom-kolom yang berada dalam satu baris, tetapi jenis pondasi menerus yang paling sering digunakan ialah pondasi *pile cap* menerus yang menggabungkan dua baris *pile cap* yang berpotongan, sehingga mereka membentuk pondasi grid. Namun, untuk kasus beban yang lebih besar lagi atau tanah yang lebih lemah, baris-baris *pile cap* digabungkan menjadi satu *pile cap* monolit membentuk pondasi rakit (*raft foundation*).

Pondasi rakit (*raft foundation*) adalah pondasi yang membentuk rakit melebar ke seluruh bagian dasar bangunan. Bila luasan pondasi yang diperlukan > 50 % dari luas bagian bawah bangunan maka lebih disarankan untuk menggunakan pondasi rakit, karena lebih memudahkan untuk pelaksanaan penggalian dan penulangan beton.

Penentuan dari dimensi atau ketebalan pondasi *pile cap* ditentukan oleh daya dukung yang dibutuhkan, faktor keamanan dan batas penurunan yang masih diizinkan, dengan memperhatikan kondisi dan jenis tanah di lokasi bangunan. Area maksimal yang tertutup oleh pondasi rakit umumnya adalah seluas bagian dasar bangunan. Jika daya dukung yang dibutuhkan masih belum tercapai, maka solusinya adalah dengan memperdalam pondasi atau memperdalam ruang bawah tanah dari bangunan.

Walaupun perhitungan daya dukung pondasi *pile cap* menggunakan pendekatan teori perhitungan daya dukung untuk pondasi telapak, tetapi karakter penurunan untuk kedua tipe pondasi itu sangat berbeda. Penurunan pondasi *pile cap* umumnya lebih seragam dibandingkan dengan penurunan pada pondasi telapak.

Pada proses analisisnya, pondasi *pile cap* dianggap sebagai material yang sangat kaku dan distribusi tekanan yang ditimbulkan akibat beban dapat dianggap linier. Penentuan kedalaman pondasi dilakukan dengan cara coba-coba, setelah kedalaman ditentukan, gaya-gaya yang bekerja pada dasar pondasi dihitung. Beban-beban dari kolom diperoleh dari perhitungan struktur atas, dan berat sendiri pondasi *pile cap* juga dimasukkan dalam proses analisis. Pada pondasi *pile cap* setiap titik didukung secara langsung oleh tanah dibawahnya, sehingga momen lentur yang terjadi menjadi sangat kecil.

Penyebaran tekanan pada dasar pondasi dihitung dengan persamaan berikut :

$$q = \frac{\Sigma P}{A} + \frac{\Sigma(P \times y)}{I_x} + \frac{\Sigma(P \times x)}{I_y}$$

Dimana :

$\Sigma P$  = Jumlah total beban pondasi

A = Luas total pondasi *pile cap*

x, y = jarak eksentrisitas dari pusat beban kolom ke pusat pondasi

$I_x, I_y$  = Momen inersia pondasi *pile cap* terhadap sumbu-x dan sumbu-y

Persyaratan yang harus dipenuhi :

$$\text{Beban normal} \quad : \sigma_{maks} \leq \sigma_{Tanah}$$

$$\text{Beban sementara} \quad : \sigma_{maks} \leq 1,5 \times \sigma_{Tanah}$$

$$\sigma_{Min} > 0 \text{ (tidak boleh ada tegangan negatif)}$$

#### 2.4.4 Perhitungan Geser Pons

Tegangan geser pons dapat terjadi di sekitar beban terpusat, ditentukan antara lain oleh tahanan tarik beton di bidang kritis yang berupa piramida atau kerucut terpancung di sekitar beban atau reaksi tumpuan terpusat tersebut yang akan berusaha lepas dari (menembus) panel. Bidang kritis untuk perhitungan geser pons dapat dianggap tegak lurus pada bidang panel dan terletak pada jarak  $d/2$  dari keliling beban (reaksi) terpusat yang bersangkutan, dimana  $d$  adalah tinggi efektif pelat.

Jadi tegangan geser pons pada bidang kritis dihitung dengan rumus:

$$Vu = \frac{Nu}{b_o \times d}$$

Dimana

$N_u$  = gaya tekan desain

$b_o$  = keliling bidang kritis pada pelat

$d$  = tebal efektif pelat

Perancangan pelat untuk melawan geser pons adalah berdasarkan :

$$Vu \leq Vc$$

Dimana

$V_u$  = gaya geser yang terjadi pada pelat

$V_c$  = kuat geser pons nominal

Untuk pelat, kuat geser pons nominal diambil dari nilai terkecil dari rumus dibawah ini :

$$Vc = \left(1 + \frac{2}{\beta c}\right) \frac{\sqrt{f'c} \times b_o \times d}{6}$$

$$Vc = \left(\frac{\alpha s \times d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'c} \times b_o \times d}{12}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o \times d$$

Dimana

As = 40, untuk beban normal

Bc = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek dari daerah beban (reaksi) terpusat

f'c = kuat nominal beton

#### 2.4.5 Perhitungan Lendutan Maksimum

Lendutan merupakan aspek yang harus diperhitungkan pada struktur. Apabila lendutan yang terjadi pada struktur melebihi lendutan ijin, selain terjadi ketidaknyamanan pada pengguna struktur, juga dapat menimbulkan kegagalan konstruksi.

Untuk perhitungan lenturan/lendutan dari gelagar dengan perletakan jepit–jepit yang menahan beban baik merata dan beban terpusat digunakan rumus sebagai berikut:

1. Akibat beban merata

$$\delta_1 = \frac{q * L^4}{384 * E * I} \leq \delta_{ijin}$$

2. Akibat beban terpusat

$$\delta_2 = \frac{P * L^3}{192 * E * I} \leq \delta_{ijin}$$

Dimana :

$\delta$  = besarnya lendutan yang terjadi

$\delta_{ijin}$  = besarnya lendutan yang diijinkan = L/480

q = beban merata

P = beban terpusat

L = bentang/panjang gelagar/balok yang ditinjau

E = modulus elastisitas

I = momen inersia

Lendutan izin maksimum pada struktur dapat dilihat dari tabel berikut.

**Tabel 2.11 Lendutan Izin Maksimum**

Jenis Komponen Struktur	Lendutan Yang Diperhitungkan	Batas Lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat Beban hidup (LL)	$\frac{l^4}{180}$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat Beban hidup (LL)	$\frac{l}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) <sup>c</sup>	$\frac{l^4}{480}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$\frac{l^4}{240}$
<sup>a</sup> Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan		

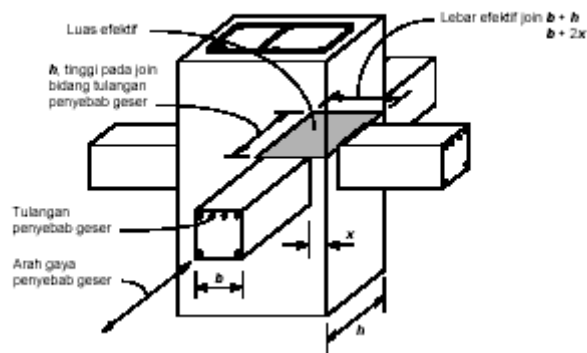
pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase.

<sup>b</sup> Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.

<sup>c</sup> Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 11.5(2(5)) atau 11.5(4(2)), tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.

<sup>d</sup> Tetapi tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktur. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.

#### 2.4.6 Hubungan Balok dan Kolom



Gambar 2.29 Hubungan antara Balok dan Kolom

Ada beberapa ketentuan yang dipatuhi dalam merencanakan hubungan antar balok dan kolom, diantaranya:

- (1) Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ .

- (2) Kuat hubungan balok-kolom harus direncanakan menggunakan faktor reduksi kekuatan.
- (3) Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus diteruskan hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang dan diangkur.
- (4) Bila tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati hubungan balok-kolom, dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang daripada 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton berat normal. Bila digunakan beton ringan maka dimensi tersebut tidak boleh kurang daripada 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.
- (5) Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup harus dipasang di dalam daerah hubungan balok-kolom, kecuali bila hubungan balok-kolom tersebut dikekang oleh komponen-komponen struktur.