

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembebanan Struktur

Pada perencanaan bangunan bertingkat tinggi, komponen struktur direncanakan cukup kuat untuk memikul semua beban kerjanya. Pengertian beban itu sendiri adalah beban-beban baik secara langsung maupun tidak langsung yang mempengaruhi struktur bangunan tersebut. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 pasal 1 hal 7, dicantumkan bahwa pembebanan yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut ini.

1. Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
2. Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.
3. Beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.

Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut.

4. Beban hujan adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh hujan.
5. Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih tekanan udara.

2.2. Elemen Struktur

Suatu bangunan bertingkat tinggi terbentuk dari elemen-elemen struktur yang bila dipadukan menghasilkan suatu sistem menyeluruh. Elemen-elemen struktur pada perancangan ini meliputi pelat, balok, dan dinding geser. Definisi dari elemen-elemen struktur yang menjadi pendukung utama bangunan adalah sebagai berikut ini.

2.2.1. Pelat

Pelat adalah komponen struktur yang merupakan sebuah bidang datar yang lebar dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar. Pelat bisa bertulang 2 atau 1 arah saja, tergantung sistem strukturnya. Bila perbandingan antara panjang dan lebar pelat tidak melebihi 2, digunakan penulangan 2 arah (Dipohusodo, 1996).

Jenis jenis pelat terdiri dari (Jumawa, Jimmy S, 2005) :

- a. Pelat satu arah (*one way slab*), ditumpu oleh balok anak yang ditempatkan sejajar satu dengan yang lainnya, dan perhitungan pelat dapat dianggap sebagai balok tipis yang ditumpu oleh banyak tumpuan
- b. Pelat rusuk satu arah (*one way rib/ joist slab*), ditumpu oleh rusuk, anak balok yang jarak satu dengan yang lainnya sangat berdekatan, sehingga secara visual hampir sama dengan pelat satu arah.
- c. Pelat 2 arah yaitu Pelat yang keempat sisinya ditumpu oleh balok dengan perbandingan $l_x/l_y \leq 2$, perhitungan pelat didasarkan umumnya dilakukan dengan pendekatan dua arah yang tercantum dalam tabel momen pelat dua arah akibat beban terbagi rata.
- d. Pelat wafel yaitu pelat dua arah yang ditumpu oleh rusuk dua arah, pelat ini memberikan kekakuan yang cukup besar, sehingga dapat memikul beban vertikal atau dapat digunakan untuk bentang lantai yang besar

2.2.2. Balok

Balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke penyangga yang vertikal. (Nawy, 1990). Balok merupakan elemen struktural yang didesain untuk menahan gaya-gaya yang bekerja secara transversal terhadap sumbunya sehingga mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya

Berdasarkan jenis keruntuhannya, keruntuhan yang terjadi pada balok dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok sebagai berikut ini :

1. Penampang *balanced*.

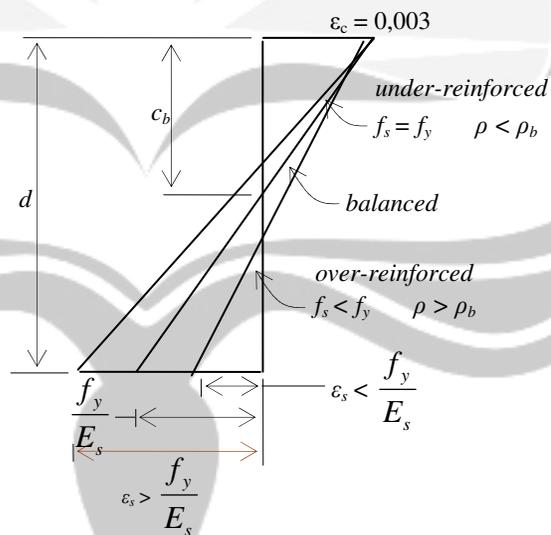
Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada saat serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\varepsilon_y = f_y/E_s$.

2. Penampang *over-reinforced*.

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ε_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ε_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya ε_y , kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

3. Penampang *under-reinforced*.

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan ε_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok bertulang kurang dari yang diperlukan dibawah kondisi *balanced* (Nawy, 1990).



Gambar 2.1 Distribusi regangan penampang balok

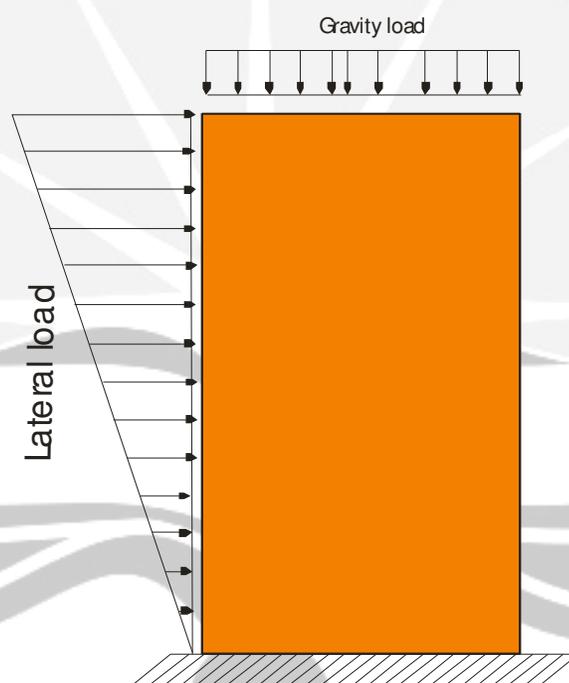
2.2.3. Dinding geser (*shear wall*)

Dinding geser (*shear wall*) didefinisikan sebagai komponen struktur vertikal yang relatif sangat kaku. Dinding geser pada umumnya hanya boleh mempunyai bukaan sedikit (sekitar 5%) agar tidak mengurangi kekakuannya. (Juwana, Jimmy S, 2005)

Berdasarkan ketentuan tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung SK SNI 03-1726-2002 dinding geser yang digunakan biasanya dalam disain bangunan tinggi dengan struktur beton adalah :

1. Dinding geser beton bertulang kantilever adalah suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana, yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur (bukan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis pada kakinya, dimana nilai momen lelehnya dapat mengalami peningkatan terbatas akibat pengerasan regangan.
2. Dinding geser beton bertulang berangkai, menurut SNI 03-1726-2002 adalah suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya untuk memikul beban geser akibat pengaruh Gempa Rencana, yang terdiri dari dua buah atau lebih dinding geser yang dirangkaikan oleh balok-balok perangkai dan yang runtuhnya terjadi dengan sesuatu daktilitas tertentu oleh terjadinya sendi-sendi plastis pada ke dua ujung balok-balok perangkai dan pada kaki semua dinding geser, di mana masing-masing momen lelehnya dapat mengalami peningkatan hampir sepenuhnya akibat pengerasan regangan.

Ketika sebuah dinding struktur (*structural walls*) ditempatkan pada sebuah posisi yang menguntungkan pada sebuah bangunan, maka dinding struktur itu akan sangat efektif dalam menahan beban lateral (*lateral loads*) yang terdiri dari beban angin dan beban gempa (*wind and earthquakes*) (Park R., Paulay T., 1975). Karena porsi yang begitu besar dari beban lateral (*lateral loads*) pada sebuah bangunan, maka beban geser horisontal yang dihasilkan dari beban gempa yang ada, akan dibebankan pada dinding geser (*shear walls*). Bangunan tingkat banyak (*multistory buildings*) biasanya bentuknya tinggi dan langsing (*slender*), dan jika *shear walls* diaplikasikan pada *multistory buildings*, maka bahaya kritis dari beban lateral itu akan dapat diredam.



Gambar 2.2 *Shear wall system*

Dalam merancang *Shear wall* perlu ditinjau apakah perlu di pasang *boundary elements* pada ujung *wall* atau tidak. *Boundary elements* adalah bagian dari struktur dinding yang berada di ujung struktur dinding yang fungsinya sama seperti kolom pada struktur yang dipasangi tulangan arah vertikal yang disatukan dengan sengkang. Fungsi dari *boundary elements* pada *bearing wall* adalah untuk mencegah gaya tarik dan desak yang besar pada dinding struktur serta mencegah tekuk (*buckling*) pada dinding struktur.

Sebuah dinding struktural (*shearwall*) disyaratkan harus mempunyai daerah ujung (*boundary elements*) jika tegangan maksimum pada bagian *shearwall* melampaui 0,2 f'c. sebuah *boundary element* sama fungsinya seperti kolom yang disediakan pada bagian ujung *shearwall* yang menyatu dengan dinding.

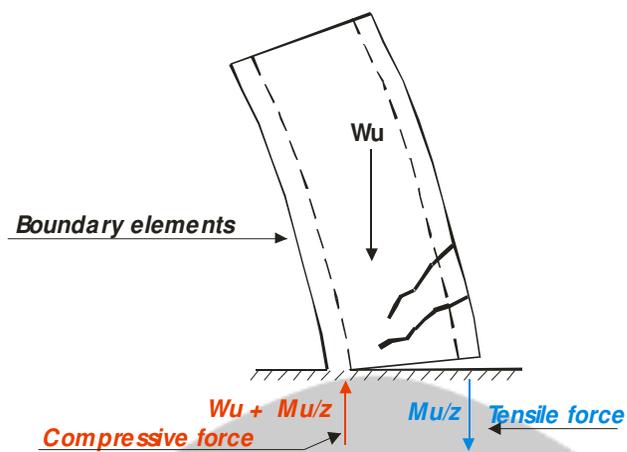
Jika tegangan pada badan (*stem*) *shearwall* melampaui 0,2 f'c dan *boundary element* tidak disediakan, *shearwall* itu harus mempunyai tulangan melintang (*transverse reinforcement*) yang sesuai dengan spesifikasi persyaratan untuk daerah kritis seperti pada bagian ujung kolom. Namun ini akan menjadikan tidak ekonomisnya bangunan, dan untuk lebih ekonomisnya bangunan maka sebisa mungkin *boundary element* dibuat dari pada menambah tulangan melintang.

Prosedur perencanaan *boundary elements* pada *shearwalls* menurut UBC – 94 dapat disimpulkan dalam tiga langkah sebagai berikut sebagai berikut:

1. *Shearwalls* direncanakan untuk menahan beban lentur dan beban aksial yang disebabkan oleh karena *shearwalls* dianggap sebagai kolom pendek. Lelehnya tulangan harus sesuai dengan tulangan lentur (UBC 1921.6.5.1). cek tahanan

geser (*shear resistance*) dari dinding yang disediakan oleh keseluruhan dinding struktur termasuk didalamnya *stem* dan *flange* (UBC 1921.6.4).

2. Sediakan pendetailan yang sesuai di UBC 1921.6.5.6 pada *boundary zone* disetiap ujung dinding kecuali $P_u \leq 0.10A_g f'_c$ (untuk dinding yang bentuknya simetris) dan salah satu dari $M_u/V_u l_w \leq 1.0$ atau $V_u \leq 1/6 A_{cv} \sqrt{f'_c}$ dan $M_u/V_u l_w \leq 3.0$ (UBC 1921.6.5.4) dalam banyak kasus *shearwalls* dengan $P_u > 0.35P_o$ tidak diijinkan untuk menahan beban gempa termasuk gaya-gaya dalam bangunan itu sendiri (UBC 1921.6.5.3).
3. Untuk *shearwalls* dimana pendetailan pada *boundary elements* harus di sediakan, maka panjang dari *boundary zone* dapat dilakukan dengan dua cara. Metoda konservatif (*conservative method*) *boundary zone* disediakan dengan jarak maksimum $0.25 l_w$ pada setiap dinding (UBC 1921.6.5.4). Metode Alternative yaitu panjang *boundary zone* bisa berdasarkan pada tingkatan tegangan desak pada setiap tepi dari dinding, ketika dinding ditujukan untuk menahan perpindahan (*displacement*) yang dihasilkan dari *ground motion* yang spesifik pada UBC 1629.2, ini menggunakan penampang retak (*cracked section*) dari dinding (UBC 1921.6.5.5). Pengekangan (*confinement*) disediakan ketika regangan desak (*compressive strain*) mendekati 0.003.



Gambar 2.3. Gaya di daerah *boundary element*

2.3. Kategori Gedung

Untuk berbagai kategori gedung yang sesuai dengan SNI 03-1726-2003 Tabel 1 dibagi menjadi 5 kategori gedung. Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada tingkat kepentingan gedung pasca gempa, pengaruh gempa terhadapnya harus dikalikan dengan suatu factor Keutamaan I.

Gedung *Apartment salemba residence Jakarta* ini termasuk dalam kategori gedung umum.

Tabel 2.1 Faktor keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I ₁	I ₂	I
Gedung umum seperti perumahan, 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, instalansi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gasa, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

2.4. Keteraturan Gedung

Keteraturan gedung akan sangat mempengaruhi kinerja gedung sewaktu kena gempa rencana, karena itu menurut SNI 03-1726-2003 struktur gedung dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu yang beraturan (Ps. 4.2.1.) dan yang tidak beraturan (Ps. 4.2.2).

2.5. Jenis Sistem Struktur Gedung

Sistem struktur utama yang tercantum dalam SNI-1726 Tabel 3 antara lain:

1. Sistem dinding penumpu

Pada sistem dinding penumpu (*bearing wall system*) baik beban gravitasi maupun beban lateral didukung oleh dinding. Dinding penumpu mendukung hampir semua beban gravitasi. Beban lateral juga dipikul oleh dinding sebagai dinding geser.

2. Sistem Rangka Gedung

Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh dinding geser. Sistem rangka gedung umumnya diharapkan digunakan pada daerah dengan wilayah gempa sedang sampai tinggi. Pada sistem rangka gedung, kolom-kolom dianggap tidak memikul beban lateral. Walaupun demikian, karena dinding geser dan portal-portal merupakan satu kesatuan sistem struktur yang mendukung beban secara bersama-sama, maka struktur akan mengalami perpindahan secara bersama-sama. Untuk itu perpindahan pada portal-portal

harus kompatibel dengan perpindahan dinding gesernya, sehingga portal-portalnya tidak mengalami keruntuhan pada pembebanan gempa besar.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.

4. Sistem Ganda

Sistem ganda adalah suatu sistem struktur kombinasi dinding geser dan rangka pemikul momen. Dalam hal ini :

- a) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi;
- b) pemikul beban lateral berupa dinding geser dengan rangka pemikul momen;
- c) kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda.
- d) Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral.

5. Sistem struktur bangunan gedung kolom kantilever.

6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka.

7. Subsistem tunggal

Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur bangunan gedung secara keseluruhan.

2.6. Daktilitas Gedung

2.6.1 Pengertian Daktilitas

Tata Cara Perencanaan Ketahanan untuk bangunan gedung SNI 03-1726-2002 pasal 3.13, memberikan pengertian daktilitas dan faktor daktilitas sebagai berikut ini :

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

Faktor daktilitas struktur gedung adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan δ_m dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelepasan pertama δ_y .

2.6.2 Tingkat *Daktilitas*

Mengenai tingkatan *daktilitas*, Tata Cara Perencanaan Struktur Ketahanan Gempa untuk bangunan gedung SNI 03-1726-2002 , mengklasifikasikan tingkat *daktilitas* sebagai berikut :

1. *Daktail* penuh adalah suatu tingkat daktilitas struktur gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan *pasca-elastik* pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor *daktilitas* sebesar 5,3 (SNI 03-1726-2002 pasal 3.1.3.3).

2. *Daktail parsial* adalah seluruh tingkat *daktilitas* struktur gedung dengan nilai faktor *daktilitas* diantara untuk struktur gedung yang *elastik* penuh sebesar 1,5 dan untuk struktur gedung yang *daktail* penuh sebesar 5,0 (SNI 03-1726-2002 pasal 3.1.3.4).
3. *Elastik* penuh adalah suatu tingkat *daktilitas* struktur gedung dengan nilai faktor *daktilitas* sebesar 1,0

2.7. Pemilihan kriteria desain

Pada dasarnya struktur atas tower A pada perancangan ini terbuat dari beton bertulang dan merupakan *wall frame*, yang berfungsi menahan beban gravitasi maupun beban gempa. Dalam hal ini, seluruh struktur menggunakan sistem pelat dengan balok. Secara keseluruhan struktur ini tidak simetris dan termasuk tidak beraturan, sehingga perlu dilakukan analisis respon dinamis secara 3D sesuai dengan ketentuan SNI 03-1726-2002 pasal 7.1.1.

kekakuan unsur-unsur struktur beton bertulang dihitung berdasarkan pengaruh perekatan beton sesuai dengan ketentuan SNI 03-1726-2002 pasal 5.5.1. untuk itu, momen inersia penampang struktur dapat ditentukan dengan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang, dimana untuk shear wall persentase efektifnya adalah 60% sedangkan pada balok persentase efektifnya adalah 75%.

Selanjutnya sehubungan dengan ketentuan 03 -1726-2002 pasal 5.7 untuk memperhitungkan adanya pembesaran momen akibat efek kelangsingan pada shear wall pada gedung tinggi (diatas 40m) maka digunakan P-delta analisis yaitu, suatu

gejala yang terjadi pada struktur gedung yang fleksibel, dimana simpangan kesamping yang besar akibat beban gempa lateral menimbulkan beban gempa lateral tambahan akibat momen guling yang terjadi oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang kesamping.

Untuk perencanaan dan konstruksi komponen struktur beton bertulang dari suatu struktur, untuk mana gaya rencana, akibat gerak gempa, telah ditentukan berdasarkan dissipasi energi didalam daerah *non linier* dari respon struktur tersebut. Dalam hal ini, beban rencana lateral dasar akibat gerakan gempa untuk suatu daerah harus diambil sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726-2002 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung yaitu :

- a. Untuk daerah dengan resiko gempa yang rendah, ketentu dari SNI 03-2847-2002 pasal 3 hingga pasal 20 tentang cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung tetap berlaku kecuali bila dimodifikasi oleh ketentuan dalam hal ini.
- b. Untuk daerah dengan resiko gempa menengah, harus digunakan sistem rangka pemikul khusus (SRPMK) atau menengah (SRPMM), atau sistem dinding struktural beton biasa atau khusus untuk memikul gaya-gaya yang diakibatkan oleh gempa.
- c. Untuk daerah gempa dengan resiko tinggi, harus digunakan sistem rangka pemikul momen khusus, atau sistem dinding struktural beton khusus, dan diafragma serta rangka batang.

d. Komponen struktur yang tidak direncanakan memikul gaya-gaya yang diakibatkan oleh gempa harus direncanakan sesuai dengan ketentuan dalam hal ini.

Tipe gempa bumi yang ada di Indonesia terdiri dari 6 wilayah gempa. 6 wilayah gempa tersebut diklasifikasikan menjadi 3 yaitu wilayah 1 dan 2 masuk resiko wilayah gempa rendah, 3 dan 4 masuk pada resiko wilayah gempa menengah, sedangkan wilayah gempa 5 dan 6 masuk pada resiko wilayah gempa yang tinggi.

Pembagian wilayah gempa dapat membantu menentukan perencanaan gedung dalam menentukan faktor *daktilitas* yang sesuai. Tidak hanya wilayah gempa tetapi jenis struktur yang digunakan juga menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan.

Struktur bangunan dirancang untuk memenuhi persyaratan daktilitas, dimana unsur-unsur struktur akan direncanakan kekuatannya berdasarkan prinsip perencanaan beban dan kuat faktor (*load and Resistance factor design*), yang mana faktor beban akan diberikan oleh suatu kombinasi pembebanan.

Ada dua jenis batasan dalam kombinasi pembebanan struktur untuk menentukan desain bangunan tinggi yang harus dipertimbangkan yaitu :

1. *Ultimate limit state* yaitu, pembebanan hasil kombinasi acak sebagai faktor keamanan yang dipakai untuk kondisi yang mencerminkan kemungkinan keadaan dari pembebanan struktur yang menyebabkan kegagalan, mencakup ketidakstabilan dan digunakan untuk desain struktur Atas Gedung.
2. *Serviceability limit state* yaitu, pembebanan hasil kombinasi acak sebagai faktor keamanan yang dipakai untuk kondisi yang mencerminkan

kemungkinan keadaan dari pembebanan struktur yang melibatkan kriteria masa layan bangunan, ini mempunyai kaitan dengan kekuatan bangunan untuk penggunaan yang normal terhadap keamanan dan digunakan untuk struktur bawah gedung (pondasi).

Faktor kekuatan ketentuan SNI 03-2847-2002 pasal 11.3 dengan tulangan terpasang kekuatan dirancang dengan menggunakan desain kapasitas. Pada prinsipnya jika terjadi gempa, maka penyebaran energi ke elemen-elemen struktur dapat dengan sempurna terjadi, pada saat gempa rencana bekerja sehingga, diharapkan struktur tetap dapat bertahan terhadap serangan gempa yang lebih besar dari beban gempa rencana, tanpa harus mengalami kerusakan yang berarti.

Daerah-daerah kritis yang sering disebut sendi plastis dirancang secara inelastis, dan keruntuhan akibat geser dihindari. hal ini berarti bahwa kapasitas (momen leleh) penampang elemen vertikal (dalam hal ini dinding geser), selalu harus lebih besar dari pada kapasitas (momen leleh) penampang elemen horizontal (balok) pada setiap pertemuan. dengan demikian, pada saat gempa rencana bekerja, sendi *plastis* diharapkan akan terbentuk pada ujung-ujung balok dan kaki dinding-dinding geser (pada elemen batas).