

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Dalam perancangan bangunan tingkat tinggi tahan gempa, selama gempa bumi, bangunan mengalami gerakan vertikal dan gerakan horisontal. Gaya gempa baik dalam arah vertikal maupun horisontal, akan membebani titik-titik pada massa struktur. Struktur biasanya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang cukup memadai, sebaliknya gaya gempa horisontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan langsung menyebabkan keruntuhan atau kegagalan (*failure*). Atas alasan ini, prinsip utama dalam perencanaan bangunan tahan gempa ialah meningkatkan kekuatan struktur terhadap gaya lateral yang umumnya tidak memadai, salah satu alternatifnya adalah dinding geser (Muto, 1987).

Dalam literatur lain disebutkan bahwa dalam merencanakan gedung tahan gempa, hal yang harus dipertimbangkan adalah sifat-sifat plastis dari gedung, dengan kata lain, pada pembebanan gempa yang besar tegangan bahan pada struktur sudah tidak berperilaku elastik lagi, tetapi terjadi sendi-sendi plastis pada tempat-tempat yang diharapkan sehingga dapat memancarkan energi gempa dan struktur secara keseluruhan belum runtuh. Hal ini terjadi karena elemen-elemen struktur direncanakan dengan sifat daktail sehingga elemen tersebut dapat berdeformasi maksimum tanpa

timbul kerusakan getas. Artinya sejauh mana gedung dapat meleleh setelah kekuatan elastisnya tercapai akibat gempa (Widodo, 1995).

3.2. Analisa Beban Statik Ekuivalen

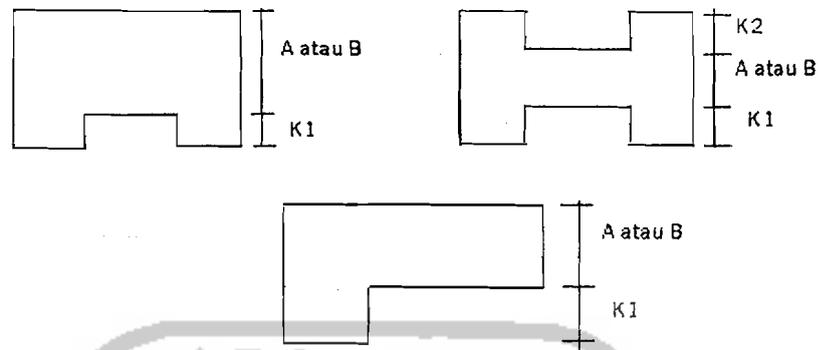
Analisa beban statik ekuivalen adalah cara pembagian beban geser tingkat akibat pergerakan tanah pada suatu sistem struktur, dengan meniru perilaku beban dinamik. Beban yang bekerja dianggap sebagai beban statik horisontal yang terdistribusi sepanjang tinggi struktur.

Cara analisa beban statik ekuivalen hanya dapat digunakan untuk struktur yang memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Simetri

Unsur penahan gempa dari sebuah struktur gedung sejauh keadaan memungkinkan hendaknya diletakkan sesimetris mungkin terhadap pusat masa gedung tersebut. Kesimetrisan suatu struktur gedung berkait dengan bentuk denah struktur gedung tersebut. Struktur gedung yang memiliki tonjolan-tonjolan melampaui 0,25 dari ukuran terbesar bagian inti denah struktur, dianggap sebagai sangat tidak beraturan.

Gambar 3.1. menunjukkan bentuk denah struktur bangunan dengan pembatasan tonjolan k_1 dan k_2 harus lebih kecil dari $0,25A$ atau $0,25B$ (PPKURG,1987).

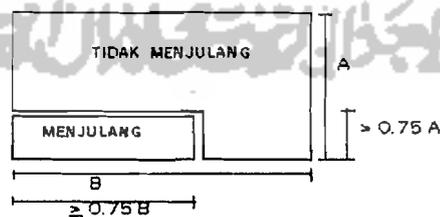


Gambar 3.1. bentuk denah struktur gedung

2. Loncatan bidang muka

Gedung dengan loncatan bidang muka, ukuran denah bagian menjulang dalam arah masing-masing lebih besar dari 75% ukuran terbesar denah disebelah bawahnya, dapat dianalisa dengan cara beban statik ekuivalen. Seperti tampak pada gambar 3.2.

Struktur rumah atap (*penthouse*) yang tidak lebih dari dua tingkat tingginya perlu dianggap sebagai loncatan bidang muka.



Gambar 3.2. Loncatan bidang muka

3. Keseragaman kekakuan tingkat

Distribusi kekuatan sepanjang tinggi bangunan seragam dan menerus dapat dipenuhi dengan syarat dibawah ini:

- a. Semua kolom dan dinding menerus dan tanpa pemutusan dari atap sampai ke pondasi.
- b. Semua balok berhubungan secara menerus
- c. Balok dan kolom mempunyai sumbu yang sama
- d. Kolom dan balok mempunyai lebar yang sama
- e. Penampang penahan beban gempa tidak boleh berubah secara tiba-tiba
- f. Struktur beton harus menerus dan monolit.

4. Ketinggian Gedung

Cara analisa beban statik ekuivalen hanya dapat dipakai untuk struktur bangunan yang ketinggiannya kurang dari 40 m.

5. Pendetailan

Tempat yang direncanakan sebagai sendi plastis harus dijamin keplastisannya, sehingga struktur berperilaku secara daktail seperti direncanakan. Untuk itu analisa perencanaan harus dilakukan dengan perencanaan kapasitas.

3.3. Daktilitas

Daktilitas adalah rasio antara simpangan rancang maksimum sebelum runtuh dan simpangan leleh awal dari struktur yang ditinjau. Tingkat daktalitas suatu struktur beton menurut SK SNI T-15-1991-03 dibagi dalam 3 kelas, yaitu:

a. Tingkat Daktilitas 1 (Elastis)

Struktur dengan tingkat daktilitas 1 harus direncanakan agar tetap berperilaku elastis saat terjadi gempa kuat. Untuk itu beban gempa rencana harus dihitung berdasarkan faktor jenis struktur $K = 4,0$.

b. Tingkat Daktilitas 2 (Daktilitas Terbatas)

Struktur dengan tingkat daktilitas 2 atau daktilitas terbatas ($\mu = 2,0$) harus direncanakan sedemikian rupa dengan pendetailan khusus sehingga mampu berperilaku inelastis terhadap beban siklis gempa tanpa mengalami keruntuhan getas. Dalam hal ini beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan faktor jenis struktur, K minimum sebesar 2,0.

c. Tingkat Daktilitas 3 (Daktilitas Penuh)

Struktur dengan tingkat daktilitas 3 atau daktilitas penuh ($\mu = 4,0$) harus direncanakan sedemikian rupa dengan pendetailan khusus sehingga mampu menjamin terbentuknya sendi-sendi plastis dengan kapasitas pemancaran energi yang diperlukan. Hal ini beban gempa rencana dapat diperhitungkan dengan menggunakan faktor jenis struktur, K minimum sebesar 1,0.

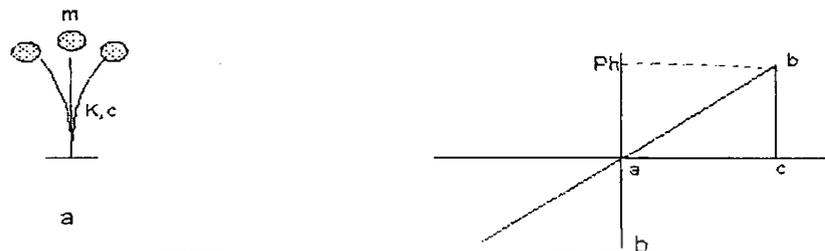
Pada bangunan-bangunan tertentu, beban lateral akibat gempa dapat dihitung dengan cara statik ekuivalen. Pada kenyataannya, analisis dinamik pada kondisi elastik dengan beberapa beban gempa yang diamati menunjukkan hasil bahwa beban yang terjadi pada setiap massa kadang lebih besar daripada beban yang telah direncanakan dengan prinsip statik ekuivalen (Park dan Paulay, 1975). Namun anehnya bangunan yang bersangkutan masih aman dan bertahan terhadap beban gempa. Hal yang terjadi sesungguhnya adalah bangunan tersebut telah mampu berdeformasi secara baik tanpa

menunjukkan sifat-sifat getas, sehingga keruntuhan secara tiba-tiba dapat dihindari. Hal inilah yang kemudian dikenal dengan adanya prinsip daktilitas pada bangunan.

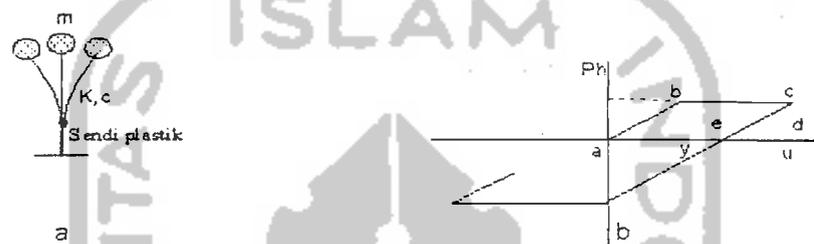
Dengan kenyataan tersebut maka akan lebih ekonomis apabila bangunan dibangun dengan direncanakan dengan prinsip daktilitas (beban didesain relatif kecil) daripada bangunan direncanakan dengan prinsip elastik penuh (*full elastic*) dengan beban desain yang besar.

Dengan prinsip bangunan daktil, maka beban desain yang dipakai akan lebih kecil sehingga dimensi elemen struktur dapat lebih kecil dan dapat dihemat. Pada pembebanan gempa yang besar, pada perencanaan jenis ini tegangan bahannya sudah tidak berperilaku elastik lagi, tetapi sudah terjadi sendi-sendi plastik pada tempat yang diharapkan dan struktur secara keseluruhan belum runtuh. Hal ini terjadi karena elemen-elemen struktur direncanakan dengan sifat daktil, sehingga elemen tersebut dapat berdeformasi plastik secara baik tanpa menimbulkan kerusakan getas.

Untuk menjelaskan masalah ini diambil model struktur dengan derajat kebebasan tunggal sebagai berikut :



Gambar 3.3 Respon struktur (simpangan) elastik



Gambar 3.4 Respon struktur (simpangan) plastik

Pada gambar 3.3. kolom cukup kaku, sehingga pada pembebanan gempa tertentu tegangan bahannya masih tetap elastik. Bila simpangan saat t adalah Δ_0 , maka pada saat tersebut struktur telah menyimpan energi sebesar luas segitiga abc . Energi tersebut akan berubah menjadi energi kinetik apabila struktur kembali pada posisi semula.

Pada gambar 3.4 kolom relatif kecil, sehingga pada pembebanan yang sama dengan beban sebelumnya, pada ujung bawah kolom telah terjadi sendi plastik, sehingga plot antara beban dan simpangan disederhanakan seperti pada gambar 3.3b. Pada kondisi tersebut, simpangan elastiknya sebesar Δ_y dan simpangan total sebesar Δ_u . Energi potensial yang tersimpan pada simpangan tersebut adalah luas segitiga $abcd$, dan apabila masa membalik arah, maka hanya seluas segitiga cde yang diubah

menjadi energi kinetik, sedang energi sebesar luasan abce telah dihamburkan/dilesapkan oleh sendi plastik pada dasar kolom, dan beban yang bekerja pada kolom berarti terbatas oleh sendi plastik tersebut.

Suatu struktur dianggap bersifat elastis sempurna, bila hubungan antara beban dan lendutan dalam hitungan struktur berupa hubungan linier. Bila beban itu dilepas (dikurangi sampai nol lagi) maka lendutan akan hilang (lendutan menjadi nol juga). Jika beban diberikan negatif, maka lendutannya akan negatif juga dan besarnya juga sebanding dengan besar bebannya.

Sudut kemiringan hubungan antara beban dan lendutan itu disebut nilai kekakuan struktur. Makin kaku suatu struktur makin besar nilai kekakuan tersebut.

Pada struktur yang daktail, apabila beban melampaui batas maksimum kekuatan elastisnya maka struktur tidak akan runtuh, hanya mengalami lendutan plastis. Lendutan plastis adalah suatu lendutan yang apabila bebannya dihilangkan lendutan plastis itu tidak akan hilang. Pada kenyataannya lendutan plastis selalu bercampur dengan lendutan elastis, sehingga bila beban dihilangkan hanya sebagian lendutan saja yang hilang dan sebagian masih ada. Lendutan yang hilang itu adalah lendutan elastis, adapun sisanya yaitu lendutan yang tidak hilang ialah lendutan plastis. Bila struktur kemudian dibebani dengan beban yang berlawanan arah dengan beban tadi, maka lendutannya juga akan membalik.

Dengan uraian diatas tampak bahwa pada struktur yang daktail sulit untuk meruntuhkannya, walaupun telah dikerjakan suatu beban bolak-balik yang telah melampaui batas kekuatan elastisnya.

Keadaan yang demikian tersebut menunjukkan bahwa apabila struktur bersifat daktail maka struktur akan sulit runtuh oleh gempa, terlebih karena beban gempa merupakan beban dinamis, yang arahnya bolak-balik. Oleh karena itu, agar tahan gempa struktur sebaiknya bersifat plastis atau daktail.

3.4. Konsep Desain Kapasitas

Terbentuknya sendi plastis, yang mampu memancarkan energi gempa dan membatasi besarnya beban gempa yang masuk dalam struktur, harus dikendalikan sedemikian rupa agar struktur berperilaku daktail dan tidak sampai runtuh saat gempa kuat. Pengendalian terbentuknya sendi plastis pada lokasi-lokasi yang telah ditentukan lebih dulu dapat dilakukan secara pasti terlepas dari kekuatan dan karakteristik gempa. Filosofi perencanaan seperti ini dikenal sebagai Konsep Desain Kapasitas.

Untuk menjamin terjadinya mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok, konsep desain kapasitas diterapkan untuk merencanakan agar kolom-kolom lebih kuat dari balok-balok portal (*strong column-weak beam*). Keruntuhan geser pada balok yang bersifat getas diusahakan agar tidak terjadi lebih dahulu dari kegagalan akibat lentur pada sendi-sendi plastis balok.

Pada prinsipnya, dengan desain kapasitas elemen-elemen utama penahan beban gempa dapat dipilih, direncanakan dan didetail sedemikian rupa, sehingga mampu memancarkan energi gempa dengan deformasi inelastis yang cukup besar tanpa runtuh, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup sehingga mekanisme yang dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

Faktor yang perlu diperhatikan agar mekanisme ini dapat dijamin tercapai adalah faktor peningkatan kuat lentur balok sebagai elemen utama pemencar energi gempa.

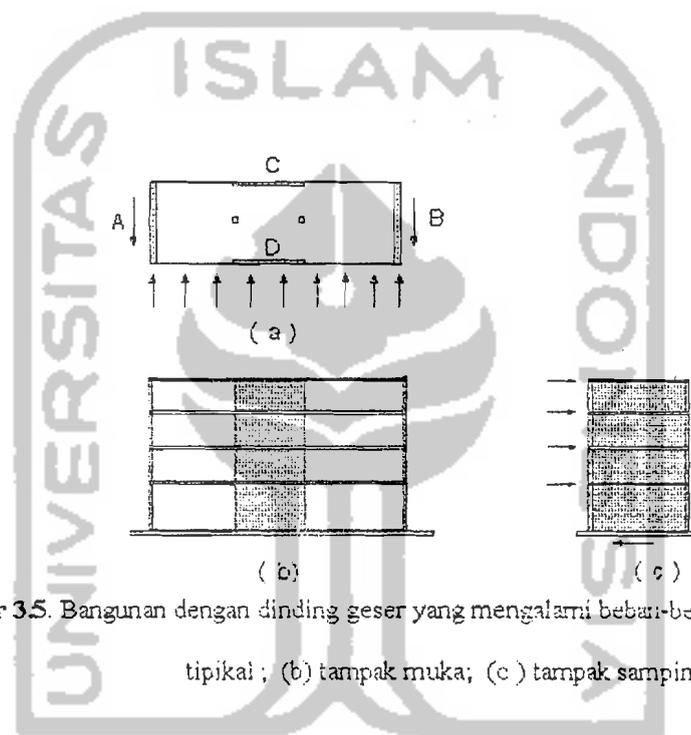
Mengetahui secara tepat kuat lentur daerah sendi plastis balok, yang sengaja direncanakan sebagai bagian lemah, merupakan hal yang sangat penting untuk memastikan kolom-kolom lebih kuat dan kegagalan getas akibat beban geser tidak terjadi lebih awal dari terbentuknya sendi-sendi plastis dengan deformasi lentur yang cukup besar.

Namun kenyataannya sangatlah sulit untuk memperkirakan secara cukup akurat kuat lentur balok saat mengalami deformasi inelastis akibat gempa kuat. Umumnya kuat lentur akibat balok dapat dipastikan lebih besar dari kuat nominalnya. Oleh karena itu diberikan solusi untuk meningkatkan kuat lentur balok, salah satunya dapat dicapai dengan adanya pengekan (dinding geser) balok. Hal ini didasarkan pada kemungkinan bertambah besarnya kuat tekan dan regangan lentur maksimum beton akibat adanya pengekan yang baik.

3.5. Dinding Geser

Gaya-gaya horisontal yang bekerja pada bangunan misalnya gaya-gaya yang disebabkan oleh beban angin atau gempa, dapat diatasi dengan berbagai cara. Dalam banyak hal, daya pikul rangka kaku dari struktur ditambah dengan sumbangan kekuatan yang diberikan oleh dinding pasangan batu yang biasa serta partisi-partisi dapat memikul beban-beban horisontal angin. Namun demikian, apabila beban-beban horisontal yang bekerja merupakan beban yang berat seperti misalnya beban yang

dihasilkan oleh beban gempa bumi, maka perlu dipakai dinding-dinding geser yang terbuat dari beton bertulang. Dinding-dinding ini dibuat semata-mata untuk memikul gaya-gaya horisontal. Dan dinding-dinding beton yang mengelilingi tangga atau lift dapat juga difungsikan sebagai dinding geser (George Arthur, 1993).



Gambar 3.5. Bangunan dengan dinding geser yang mengalami beban-beban horisontal : (a) lantai tipikal ; (b) tampak muka; (c) tampak samping

Gambar 3.5. menunjukkan suatu bangunan dengan gaya-gaya gempa atau angin yang ditunjukkan oleh panah-panah yang bekerja pada tepi setiap lantai atau atap. Permukaan-permukaan horisontal berfungsi sebagai gelagar-gelagar tinggi untuk menyalurkan beban-beban ke elemen-elemen penahan vertikal A dan B. Selanjutnya dinding geser ini berfungsi sebagai gelagar-gelagar kantiliver yang terjepit didasarnya untuk menyalurkan beban-beban ke bawah pondasi. Dinding-dinding tersebut

mengalami beban-beban :

1. Geser yang harganya berubah-ubah, yang mencapai harga maksimum pada bagian dasar,
2. Momen lentur, yang cenderung untuk menyebabkan tarik vertikal didekat tepi yang dibebani dan tekan pada tepi yang lain,
3. Tekan vertikal akibat beban gravitasi struktur.

Untuk bangunan seperti yang terlihat pada gambar 3.2, diberikan tambahan dinding geser C dan D untuk memikul beban-beban yang bekerja dalam arah panjang struktur.

3.5.1. Perilaku Getaran dari Dinding Geser

Struktur dinding geser adalah penyebar energi gaya gempa yang paling besar. Dalam beberapa kejadian dinding geser memikul sebagian besar dari gaya geser gempa dasar, sementara keberadaan dari portal terbuka (*open frame*) didesain terutama untuk menahan gaya gempa lapis kedua setelah keretakan dan/atau keruntuhan dari dinding geser.

3.5.2. Keuntungan dari Struktur Dinding Geser

Keuntungan utama penggunaan dinding geser digunakan pada suatu struktur bangunan dalam menahan beban gempa adalah peningkatan kekakuan bangunan tersebut dan merupakan struktur yang mereduksi paling awal efek dari beban horisontal gempa, sehingga meningkatkan standart keamanan dan mengurangi beban

psikologis penduduk dari resiko tinggi keruntuhan bangunan. Dengan desain kapasitas, perasaan seperti itu seharusnya dapat diminimalkan.

Keuntungan lainnya, struktur dinding geser setelah mengalami keretakan masih mampu menahan sebagian dari beban vertikal, ini merupakan perilaku struktur (kapasitas struktur).

Keuntungan selanjutnya, perilaku bangunan dengan struktur dinding geser secara umum lebih dapat dipercaya, dalam standart keamanan, dibanding gedung yang bangunan yang dirancang menggunakan portal terbuka saja. Hal ini dikarenakan bahwa pada keseluruhan bangunan terbentuk sendi plastis pada balok dan tidak pada dinding/kolom, yang berfungsi mereduksi sebagian besar beban eksternal.

