

# Perencanaan dan Evaluasi Bangunan Tahan Gempa Secara Sederhana

Oleh : Adang Surahman



*Dr. Ir. Adang Surahman, dilahirkan di Cimahi pada tanggal, 7 September 1954. Alumnus Fak. Teknik Sipil ITB (1978) dan Program S-2 di selesaikan di Virginia Polytechnic Institute State University (1980) dan program Doktor dalam Bidang Struktur di selesaikan di Lehigh University (1984). Selain sebagai dosen tetap pada Fak. Teknik Sipil ITB, ia juga sebagai peneliti pada PAU ITB dan juga Ketua Laboratorium Mekanika Struktur PAU Ilmu Rekayasa. Dan aktif mengikuti Seminar baik dalam negeri maupun luar negeri yang berkaitan dengan Gempa.*

## Pendahuluan

Dalam tulisan ini diuraikan secara singkat mengenai peraturan perencanaan bangunan tahan gempa. Peraturan gempa yang ada di Indonesia sebenarnya digunakan juga di hampir seluruh negara lainnya di dunia yang mempunyai masalah gempa. Beberapa peneliti terkemuka di dunia [1,7] menunjukkan bahwa ternyata falsafah yang digunakan dalam peraturan tersebut masih ada kekurangannya sehingga akhirnya mengusulkan pendekatan yang lain. Akan tetapi pendekatan yang diusulkan tersebut (akan juga disinggung secara singkat dalam tulisan ini) masih belum dikenal secara umum sehingga sampai saat ini belum ada yang menggunakannya. Selain itu peraturan beban gempa di Indonesia masih diragukan terutama dalam hal besaran gempa yang diambilnya. Hal ini disebabkan ketidak lengkapan data gempa

yang ada di Indonesia sehingga seringkali digunakan perumusan yang dipakai di luar negeri yang sebenarnya hanya cocok di lokasi yang keadaan geologis dan tanahnya yang serupa saja. Selain itu dari segi probabilitistik, pendekatan statistik yang digunakan untuk menentukan beban gempa juga belum sepenuhnya tepat. Dalam tulisan ini akan diuraikan juga penuturan statistik beban gempa secara singkat.

Peraturan yang ada ini, walaupun masih mengandung beberapa kekurangan, ternyata masih dianggap terlalu sulit oleh sebagian perencanaan terutama di daerah-daerah terpencil yang justru rawan gempa seperti Halmahera, Flores, Irian Jaya, Bengkulu, Liwa, Pancer dsb. Hal ini menjadi lebih sulit lagi dengan diperkenalkannya prinsip capacity design yang belum dimengerti oleh kebanyakan praktisi dalam perencanaan gedung.

Memang ada juga pedoman yang diberikan, terutama untuk bangunan yang sederhana [5], tetapi pedoman-pedoman tersebut sangat disederhanakan sehingga lebih berbentuk gambar kerja saja karena tidak disertai perhitungan-perhitungan sama sekali. Dalam tulisan ini akan diberikan beberapa petunjuk perencanaan bangunan tahan gempa yang disederhanakan (sehingga sifatnya berupa pendekatan, tidak eksak) yang dapat digunakan oleh perencana yang enggan mempelajari peraturan yang berbelit-belit tetapi masih ingin menggunakan pengetahuan dasarnya dalam bidang mekanika.

#### Penentuan beban gempa.

Beban gempa adalah beban pada bangunan, pada umumnya dalam arah lateral, yang diakibatkan oleh gempa. Walaupun gempa ini bekerja secara dinamik, untuk maksud perencanaan beban gempa ini dinyatakan secara statik yaitu dalam bentuk percepatan tanah maksimum (*maximum ground acceleration*). Untuk menjadi beban gempa yang dapat dipakai dalam perencanaan, masih diperlukan analisis tambahan yaitu perhitungan *response spectra*. Karena perhitungan *response spectra* ini tergantung kepada sifat struktur dan filosofi perencanaan, maka biasanya hanya dilakukan penentuan percepatan (horizontal) maksimum di permukaan tanah. Untuk mendapatkan beban gempa seperti diuraikannya diatas, biasanya digunakan koreksi yaitu berupa faktor pengali.

Dalam praktek sehari-hari perencanaan gempa dilakukan dengan menggunakan koefisien gempa statik ekuivalen {2}, yaitu penentuan koefisien

gempa dasar (base shear coefficient) dengan Persamaan (1)

$$V = CIK \quad (1)$$

dan distribusi gaya gempa statik ekuivalen dengan Persamaan (2)

$$F_i = W_i h_i V / \sum W_i h_i \quad (2)$$

Nilai I dan K tergantung fungsi dan jenis struktur sehingga setelah ditetapkan terlebih dahulu, untuk selanjutnya dapat dianggap konstan.  $F_i$  adalah gaya statik ekuivalen pada tingkat ke  $i$  sedangkan  $W_i$  dan  $h_i$  adalah masing-masing berat lantai tersebut dan tinggi lantai tersebut dari permukaan tanah.

$$C = f(T) \quad (3)$$

dimana T adalah waktu getar dan dalam [2] C disederhanakan menjadi fungsi trilinear. Nilai C tersebut berlaku untuk bangunan satu tingkat sampai bertingkat banyak.

Dari analisis yang dilakukan [4,6,8,9,10,11,12] ternyata didapatkan bahwa cara ini masih banyak kekurangannya. Antara lain kekurangan tersebut ialah bahwa Persamaan (2) kurang menunjukkan peranan kekakuan struktur walaupun panjang lantai ada kaitannya dengan kekakuan struktur sedangkan Persamaan (1) tidak memperhitungkan faktor lamanya gempa. Oleh karena itu pernah diusulkan metoda lain [7,12] yaitu pendekatan energi input gempa pada bangunan seperti dijelaskan dibawah ini.

#### Pendekatan energi input

Pembahasan suatu input dimulai dengan sistem satu derajat kebebasan yang kemudian dapat dikembangkan untuk bangunan bertingkat setelah ada penyesuaian rumus-rumus. Persamaan gerak dibawah ini.

$$My + H y' + F(y) = Fe \quad (4)$$

dimana

$M_y$  : gaya inersia (massa bangunan dikalikan percepatan)

$H y$  : Gaya redaman (koefisien redaman dikalikan kecepatan)

$F(y)$  : Gaya perlawanan (restoring force)

$F_e$ : Gaya gempa

$y$ : Perpindahan massa relatif terhadap tanah. dapat dikalikan dengan  $y$  dan diintegrasikan sepanjang waktu terjadinya gempa ( $t_0$ ) untuk mendapatkan satuan energi.

$$M \int_0^t \ddot{y} dt + \int_0^t H \dot{y}^2 dt + \int_0^t F(y) y dt = \int_0^t F_e dt \quad (5)$$

Besarnya suku disebelah kiri dan kanan persamaan disebut energi input (E). Agar persamaan diatas berlaku untuk semua bangunan yang ditinjau tanpa tergantung massa bangunan, energi input dapat dinyatakan sebagai kecepatan ekuivalen VE sebagai besaran yang tidak tergantung ukuran bangunan. Untuk sistem tanpa redaman besaran nondimensional ini (walaupun masih dalam satuan kecepatan) berbentuk

$$VE = \sqrt{(2E/M)} \quad (6)$$

Untuk sistem dengan redaman, cara perhitungan kecepatan ekuivalen ini menggunakan Persamaan (7). Seperti diungkapkan oleh Housner [1], struktur yang mempunyai redaman, energi yang merusak struktur (ED) lebih kecil dari energi total E karena sebagian diserap oleh redaman yang ada. Dengan cara yang sama kecepatan ekuivalen VD dapat dihitung.

$$VD = \sqrt{(2ED/M)} \quad (7)$$

Pengaruh redaman dalam perencanaan, secara empirik, VD dapat dihitung dengan pendekatan, sebagai fungsi fraksi redaman kritik h

$$VD/VE = 1/(1 + 3h + \sqrt{1.2h}) \quad (8)$$

Dalam praktek fraksi redaman kritik h biasanya diambil 3 % s/d 5 % sementara untuk mengkaitkan kerusakan dengan energi suatu sistem tanpa redaman dapat dinyatakan juga sebagai

$$E = F_y \delta_y \sum (\mu + 0.5) \quad (9)$$

Persamaan (7), (8) dan (9) adalah dasar pedoman perencanaan struktur berdasarkan energi input yang dasarnya ialah bahwa sifat suatu gempa ditentukan oleh kecepatan ekuivalen gempa yang terjadi (konstan untuk suatu lokasi tertentu) dan struktur yang lebih kuat akan mengalami plastifikasi (kerusakan) yang lebih banyak. Disini terlihat pada struktur yang dalam keadaan elastik ( $\mu = 0$ ), maka dibutuhkan nilai  $F_y$  (kekuatan leleh) yang lebih besar. Dalam hal ini baik  $F_y$  maupun  $\delta_y$  (lendutan leleh) diambil nilai maksimum yang terjadi (dalam keadaan elastik).

Untuk bangunan bertingkat analisis yang diperlukan ialah analisis untuk sistem berderajat kebebasan majemuk, misalnya analisis ragam. Keuntungan yang ada dalam hal ini ialah pada umumnya bangunan bertingkat dapat dimodelkan sebagai bangunan geser dengan deformasi yang berpengaruh merupakan deformasi lentur (bukan torsi atau aksial) dan waktu getar pertamanya merupakan ragam yang paling dominan

Dengan cara diatas energi suatu bangunan tingkat tinggi dapat dihitung [1]

$$E = 0.5 \sum M \{ V_i a_i \} \quad (10)$$

dimana M adalah massa total bangunan dan  $V_i$  adalah kecepatan ekuivalen (ragam ke i) sistem berderajat kebebasan tunggal yang tergantung frekwensi ragam tersebut. Koefisien  $a_i$  adalah koefisien yang memenuhi hubungan berikut :

$$\sum a_i = 1 \quad (11)$$

Jika untuk T yang besar diambil  $V_i$  sama dengan VE rencana (konstan) dan juga mengingat T merupakan waktu getar yang predominan (T paling besar) maka energi input untuk setiap gedung yang bermassa sama dapat dianggap konstan tidak tergantung jumlah derajat kebebasan yang ada. Prinsip inilah yang dapat digunakan untuk menghitung distribusi gaya gempa sebagai pengganti Persamaan (2)

### Rumus atenuasi

Seerti diuraikan diatas, besaran gempa yang ada sebenarnya masih berdasarkan data yang kurang lengkap. Untuk mendapatkan beban rencana disetiap tempat diperlukan percepatan tanah maksimum yang didapat dari pengukuran yang nyata. Akan tetapi hal tersebut tidak memungkinkan karena itu berarti bahwa setiap tempat harus ada *accelerograph* yang tentunya tidak memungkinkan. Untuk itu biasanya digunakan rumus empirik *attenuasi* yang jauh lebih praktis karena cukup mengetahui *magnitude* gempa (dalam skala Richter) dan lokasi *Hypocenter*. Dengan rumus *attenuasi* dapat diperkirakan percepatan tanah maksimum disetiap tempat. Beberapa rumus *attenuasi* yang ada antara lain Donovan, Matuska, McGuire, Esteva, Davenport, Kawashumi, dll Persamaan *attenuasi* dari Donovan adalah

$$a_g = 1320e^{0.58M} (R + 25)^{-1.52} \quad (2)$$

dimana

$a_g$  = percepatan gempa maksimum di permukaan [ $\text{cm}/\text{dt}^2$ ]

R = jarak hiposentrum [km]

M = *magnitude* gempa [skala Richter]

Persamaan *attenuasi* dari Donovan ini adalah percepatan dipermukaan tanah tanpa memperhitungkan jenis tanah. Untuk lebih teliti lagi, maka hasil percepatan ini dapat dikalikan dengan faktor 0,9 untuk tanah batuan ( $T =$  periode predominan tanah  $< 0,25$  dt) 1,0 untuk tanah diluvium ( $0,25 < T < 0,5$ ), 1,1 untuk tanah alluvium ( $0,5 < T < 0,75$ ), dan 1,2 untuk tanah alluvium lunak ( $T < 0,75$ )

Salah seorang yang telah membuat persamaan *attenuasi* untuk digunakan di Indonesia ialah Dr. Ir. Wiratman Wangsadinata yang pada dasarnya telah mengambil nilai rata-rata dari beberapa persamaan *attenuasi* yang ada. Persamaan *attenuasi* untuk percepatan pada batuan dasar yang diturunkan tersebut adalah :

$$a_g = 700 e^{0.5M} (R+25)^{-1.5} \quad (13)$$

Rumus-rumus *attenuasi* tersebut digunakan pada setiap peristiwa gempa yang tercatat yang ada disekitar daerah peninjauan. Setelah itu untuk peristiwa gempa yang terjadi pada tahun yang sama diambil nilai percepatan maksimum sehingga nilai yang didapat adalah nilai percepatan maksimum tahunan. Disini sangat penting arti pencatatan gempa. Walaupun dari segi statistik dapat dianggap bahwa semakin banyak tahun yang ditinjau akan menghasilkan data yang lebih akurat, anggapan ini belum tentu berlaku disini. Jika tahun yang ditinjau tidak memberikan data yang lengkap (misalnya karena tidak adanya alat pencatat gempa yang bekerja pada saat kejadian gempa), maka dengan adanya data yang hilang, nilai percepatan maksimum hanya berdasarkan data yang ada saja sehingga menghasilkan nilai yang lebih rendah. Dalam penelitian yang sedang dilakukan, terlihat bahwa data gempa di

Indonesia yang secara statistik dianggap memadai adalah sejak tahun 1971. Oleh karena itu, penentuan beban gempa yang dilakukan sekitar (atau bahkan sebelum) tahun tersebut, secara statistik kurang memenuhi syarat.

**Beban rencana**

Seperti dilihat, beban rencana adalah beban maksimum yang ditinjau pada suatu periode tertentu. Yang dimaksud periode peninjauan disini ialah waktu yang dikaitkan dengan masa pakai bangunan yang direncanakan. Karena nilai yang diambil adalah nilai maksimum, maka pembahasan yang dilakukan untuk itu harus menggunakan teori probalitas terutama yang berkaitan dengan nilai ekstrim (dalam hal ini nilai ekstrim maksimum). selama ini ada dua jenis distribusi probabilitas yang dikenal yang berkaitan dengan nilai ekstrim yaitu Jenis I yang lebih dikenal dengan distribusi Gumbel dan mempunyai persamaan distribusi kumulatif (F) :

$$F_{X_n}(x) = \exp [-e^{-\alpha (x-u_n)}] \quad (14.a)$$

dimana :

- $X_n$  = Nilai maksimum selama n tahun
- $\alpha$  = koefisien penyebaran
- $u_n$  = nilai maksimum karakteristik (nilai untuk periode ulang n tahun)
- $x$  = nilai percepatan yang ditinjau

dengan hubungan sebagai berikut :

$$\mu_n = u_n + 0,577/\alpha \quad (15.a)$$

$$\sigma_n = \pi/2,449 \alpha \quad (16.a)$$

dimana

- $\mu_n$  = nilai rata-rata untuk percepatan maksimum selama n tahun

$\sigma_n$  = deviasi standard untuk percepatan maksimum selama n tahun

Seperti dilihat, data yang dihasilkan dari rumus attenuasi adalah percepatan maksimum tahunan ( $n=1$ ). Untuk menyesuaikan besaran n tahunan menjadi besaran m tahunan maka digunakan penyesuaian sebagai berikut :

$$u_m = u_n + [\ln (m/n)]/\alpha \quad (17.a)$$

Selain distribusi Gumbel, ada juga distribusi ekstrim jenis II (yang digunakan di Amerika dan Kanada untuk distribusi gempa maksimum) dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_{X_n}(x) = \exp[-(u_n/x)^k] \quad (14.b)$$

dimana

- $X_n$  = Nilai maksimum selama n tahun
- $k$  = koefisien penyebaran
- $u_n$  = nilai maksimum karakteristik (nilai untuk periode ulang n tahun)
- $x$  = nilai percepatan yang ditinjau dengan hubungan sebagai berikut :

$$\mu_n = u_n \Gamma (1-2/k) \quad (15.b)$$

$$\sigma_n^2 = \mu_n^2 (\Gamma(1-2/k)/\Gamma^2(1-1/k)-1) \quad (16.b)$$

dimana

- $\mu_n$  = nilai rata-rata untuk percepatan maksimum selama n tahun
- $\sigma_n$  = deviasi standard untuk percepatan maksimum selama n tahun
- $\Gamma(x)$  = nilai integrasi gamma (*Gamma integral*) untuk besaran X

Untuk menyesuaikan besaran 1 tahunan menjadi besaran m tahunan maka digunakan penyesuaian sebagai berikut :

$$u_m = m^{1/k} u_1 \quad (17.b)$$

Dalam penelitian yang sedang dilakukan, untuk sementara didapatkan bahwa jenis I adalah distribusi yang lebih cocok untuk gempa di Indonesia.

Zonasi gempa biasanya dilakukan

terhadap besaran nilai rata-rata dan deviasi standar untuk waktu 20 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Bagi pengguna yang lebih biasa menggunakan besaran untuk periode ulang (*return period*) tertentu maka dapat digunakan hubungan yang dinyatakan oleh persamaan (15). Sedangkan bagi besaran untuk selang waktu diluar yang disebutkan diatas, misalnya untuk periode ulang 500 tahun, maka dapat langsung digunakan persamaan (17). Terhadap hal-hal diatas, perlu tetap diperhatikan prinsip perencanaan bangunan tahan gempa yang optimal, yaitu bangunan harus tetap berfungsi (tidak terganggu sama sekali) dan tidak rusak terhadap gempa kecil (gempa yang kejadiannya cukup sering), jika gempa yang terjadi merupakan gempa yang besar dan kejadiannya jarang (sekitar 50 - 100 tahun sekali) bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh hancur. Prinsip inilah yang harus tetap dipegang baik dalam merencanakan perbaikan maupun perencanaan bangunan baru. Untuk itu selain kekuatan bangunan perlu diperhatikan perilaku bangunan terhadap gempa terutama sifat daktililitas komponen (detail) bangunan tersebut.

#### Pedoman perancangan tahan gempa

Seperti diuraikan diatas, peraturan perencanaan bangunan tahan gempa yang ada masih belum difahami secara mendalam oleh praktis/perencana yang ada di Indonesia. Untuk itu dibawah ini diberikan petunjuk untuk memilih cara-cara merancang bangunan tahan gempa secara sederhana dan singkat.

#### 1. Bangunan Utama/Penting.

Yang disebut bangunan utama/penting ini adalah bangunan yang

menampung kegiatan-kegiatan yang penting, berfungsi untuk kepentingan umum, mempunyai nilai (harga konstruksi) yang tinggi dan jika terjadi keruntuhan akan mengakibatkan korban jiwa yang besar. Bangunan seperti ini biasanya berantai banyak dan terbuat dari beton bertulang atau baja. Dalam hal ini perencanaannya harus memenuhi aturan yang berlaku secara nasional [2]. Bangunan tersebut diatas harus dirancang oleh perencana ahli yang memenuhi syarat. Bangunan yang diklasifikasikan seperti diatas sering disebut sebagai *engineered buildings*.

#### 2. Bangunan Sederhana

Bangunan sederhana ini ialah bangunan yang tidak termasuk klasifikasi bangunan diatas, yaitu dengan ciri-ciri bangunan sebagai berikut: bangunan untuk penggunaan sementara berantai satu, terbuat dari bambu, kayu, atau batu bata. Bangunan seperti ini sering juga disebut sebagai *non-engineered buildings*. Untuk bangunan seperti itu telah diberikan beberapa buah pedoman perencanaan antara lain [5]

Walaupun pada umumnya penggunaan pedoman diatas dapat memberikan hasil yang memuaskan, perlu juga diperhatikan kondisi-kondisi yang tepat untuk penggunaan pedoman-pedoman tersebut diatas. Pedoman ini dapat dipakai jika tidak memungkinkan dilakukan perencanaan dengan seksama (karena keterbatasan dana ataupun waktu). Karena pedoman tersebut sifatnya berlaku umum, maka pedoman tersebut dapat memberikan hasil berupa bangunan yang kurang aman (walaupun tidak terlalu parah) ataupun bangunan yang terlalu boros. Pedoman ini

masih tetap dapat dipakai jika pemakai bangunan tidak berkeberatan terhadap kemungkinan timbulnya masalah tersebut diatas. Pedoman tersebut tidak mencakup perencanaan untuk bangunan yang mempunyai variasi yang lain.

Dengan demikian jika masih diinginkan adanya perhitungan yang lebih teliti walaupun tidak secermat untuk bangunan yang diuraikan dalam butir 6,1 ataupun jika ingin merancang bangunan yang berbeda bentuknya, maka untuk perhitungan gaya atau momen yang ditimbulkan dapat digunakan pendekatan sebagai berikut :

Gaya geser ( $Q$ ) pada bangunan 1 lantai dapat dihitung dengan :

$$Q = 0,1 \times W$$

dimana  $W$  adalah berat bangunan

Gaya geser pada setiap kolom dan momen pada kolom dan balok

Dengan memasukkan  $Q$  sebagai beban, maka gaya geser pada kolom, balok berikut momen-momen (akibat gempa) yang timbul dapat dihitung dengan mekanika teknik.

#### Perhitungan Pendekatan

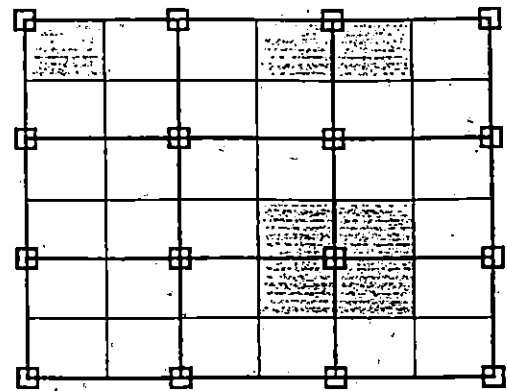
Jika prosedur yang diberikan pada 6.2.2 tidak memungkinkan untuk dilaksanakan, maka gaya geser  $Q_i$  yang didistribusikan kepada kolom dapat dianggap sebagai berbanding lurus dengan kekakuan setiap kolom  $EI/h^3$  ( $E$  = modulus elastisitas bahan,  $I$  = momen inersia kolom, dan  $h$  = tinggi kolom) jika atap bangunan diberikan (dipasang) ikatan angin atau beratap pelat/dak. Jika atap bangunan tidak diberi ikatan angin atau tidak beratap dak atau pelat, maka gaya geser tersebut berbanding lurus berat yang dipikul sesuai luas pengaruhnya (Gambar 1)

Perhitungan momen  $M_i$  dengan metoda

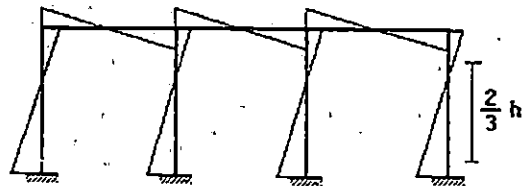
ini dapat dilakukan sebagai

$$M_i = Q_i \times (2/3)h$$

dimana  $Q_i$  didapat dengan salah satu cara yang disebutkan diatas dan  $h$  adalah tinggi kolom (Gambar 2). Momen yang didapat pada kolom ini dapat didistribusikan pada balok yang bertemu dengan kolom. Jika terdapat beberapa balok (yang sebidang) pada pertemuan tersebut, maka perbandingan momen yang dipikul oleh masing-masing balok sebanding dengan  $EI/L$  dimana  $L$  adalah panjang balok.



Gambar 1 : Luas Pengaruh Kolom



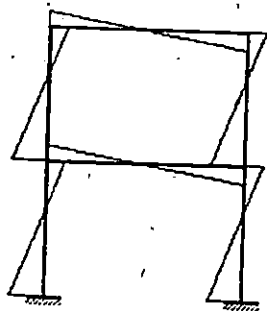
Gambar 2 : Pendekatan Perhitungan Momen

### 3. Pendetailan Struktur

Seperti diuraikan diatas, untuk pendetailan struktur dapat digunakan pedoman yang diberikan pada 6.1 untuk *engineered buildings* atau yang diberikan pada 6.2 untuk *non engineered buildings*. Untuk melengkapai petunjuk yang diberikan diatas, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

Didalam elemen bangunan utama (balok dan kolom) kapasitas momennya harus dapat menerima beban yang ada (yang didapat dari perhitungan struktur), terutama pada titik-titik simpul (joint) Pada struktur beton bertulang, harus dipasang tulangan sengkang untuk dapat menahan gaya geser yang ada. Agar mencapai daktilitas yang diinginkan, dibagian penampang yang menerima momen yang besar, perbandingan kapasitas geser terhadap gaya geser yang ada harus 20 % lebih besar dibandingkan perbandingan kapasitas momen terhadap momen yang ada. Oleh karena itu tulangan sengkang di pertemuan (joint) dibuat lebih rapat [2]

Dalam perencanaan kekuatan jika disyaratkan prinsip kolom kuat balik lemah (gambar 3.) maka pada pertemuan balok dan kolom, kekuatan (momen) kolom harus dirancang 52% lebih kuat (lebih besar) daripada momen balok.



$$M_{CD} = 1.52 \times M_C$$

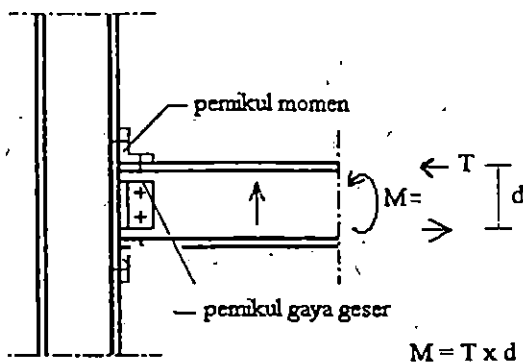
$M_C$  = Momen kolom  
 $M_{CD}$  = Momen kolom rencana

Gambar 3. : Perancangan Balok dan Kolom

Selain perhitungan momen dan geser, pada sambungan antara elemen yang satu dengan elemen yang lain (balok dengan

kolom), kolom dengan kolom, kolom dengan balok) alat penyambung harus dapat menyalurkan gaya dari satu elemen ke elemen yang lain dengan baik.

Pada sambungan antara dua elemen baja, momen pada salah satu elemen yang berbentuk profil I (Gambar 4) dapat diidealisasikan menjadi dua buah gaya kopel yang bekerja pada pelat sayap profil tersebut. Gaya tersebut yang bekerja sebagai beban terpusat terhadap elemen yang lain dan harus dapat dipikul oleh elemen tersebut dengan sambungan yang benar. Pada bangunan baja alat sambung tersebut berupa baut dan/atau las berikut pelat penyambungannya.

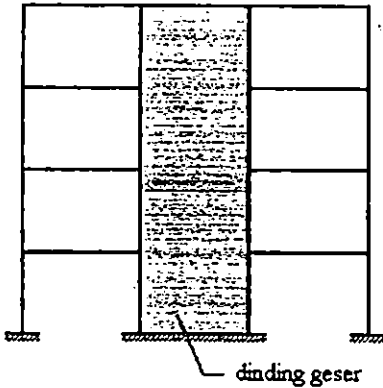


Gambar 4. : Detail Sambungan Baja

Pada sambungan beton bertulang, sambungan tersebut dilengkapi dengan tulangan yang memadai yaitu selain luasnya, panjang penyalurannya pun harus memadai. tatacara pemasangan tulangan dalam sambungan tersebut dapat dilakukan sesuai idealisasi (dan perhitungan mekanika teknik) yang telah dilakukan. Pada bangunan tahan gempa dapat dipasang pengaku untuk memikul gaya horizontal. Untuk bangunan beton pengaku tersebut

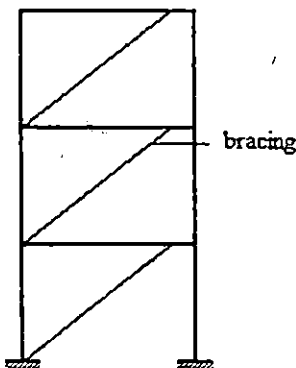


berupa dinding geser (Gambar 5) terutama harus dapat memikul momen dan geser.



Gambar 5. : Dinding Geser

Untuk bangunan baja, pengaku tersebut (Gambar 6) berupa bracing yang harus dapat memikul gaya aksial (tarik dan tekan) dengan baik. Bracing yang memikul gaya tekan harus mempunyai kestabilan memadai untuk pengaku/pengikat yang menerima gaya tarik, perlu diperhatikan pengurangan luasnya jika dilubangi. Prinsip pengurangan luas akibat adanya lubang ini sebenarnya untuk setiap elemen yang menerima gaya tarik.



Gambar 6 : Bracing

Prinsip penyaluran gaya untuk pengaku terhadap gaya horizontal sama seperti untuk elemen yang lain, yaitu dapat dilakukan idealisasi sesuai kaidah mekanika teknik. Sambungan yang digunakan untuk menyambung elemen-elemen tersebut harus dapat menyalurkan gaya-gaya hasil idealisasi tersebut.

Untuk bangunan yang dikategorikan sebagai nonengineered, perilakunya dapat juga disempurnakan (dihitung secara lebih teliti) yaitu dengan memperhatikan juga kaidah-kaidah yang disebutkan diatas.

Setiap elemen penyambung (baut, tulangan, pasak, pelat) harus diperiksa kemampuannya untuk menerima gaya aksial (tarik atau tekan) dan gaya lintang (geser) untuk dapat menyalurkan gaya dari elemen satu ke elemen yang lain yang disambungkannya.

### Kesimpulan

Dari uraian diatas disimpulkan bahwa peraturan perencanaan bangunan tahan gempa yang ada di Indonesia perlu diperbaharui. Mengingat sulitnya pelaksanaan pembaharuan tersebut, maka dalam waktu dekat peraturan tersebut masih akan dipakai. Untuk bangunan-bangunan yang tidak terlalu penting, dapat digunakan juga cara-cara pendekatan. Cara-cara pendekatan tersebut pada dasarnya adalah penggunaan analisis mekanika teknik biasa.

### Daftar Pustaka

- Akiyama, H., " *Earthquake Resistant Limit State Design For Buildings*," University of Tokyo Press, 1985
- Dept. P.U Ditjen Cipta Karya DPMB, " *Peraturan Perencanaan*

- tahan Gempa Indonesia untuk Gedung* 1983
- Dept. P.U. Ditjen Cipta Karya DPMB, "General Reconstruction Guidelines for Flores Reconstruction Project", 1994
- Noor, A, "Studi Parameter energi Input Akibat Gempa Untuk struktur Dengan Satu Derajat Kebebasan", Tesis Pasca Sarjana, ITB, 1989.
- Boen, T "Pedoman Perancangan Bangunan tahan Gempa untuk bangunan Sederhana (Nonengineered Buildings)", Dokumentasi Pribadi
- Surahman, A, "Analisis Kerusakan Pada struktur Elasto-Plastik akibat Gempa", laporan Lembaga Penelitian ITB No. 11198191, 1991.
- Akiyama, H. "Earthquake Resistant Design Based on The energy Concept", Proceeding of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, 1988
- Surahman, A. "Pedoman Perencanaan bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Energi Input dan Respons Struktur", laporan Lembaga Penelitian ITB No. 11655091, 1991.
- Sudarsono, A., et.al, "Energi Input Gempa absolut dan Relatif", Skripsi Strata-1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung, 1993.
- Surahman, A., and Merati., W., "Input Energy Based Seismic Design Code", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake engineering, Madrid, 1992.
- Surahman, A., "Penyelidikan Energi Input Gempa Dengan Metoda Absolut", laporan Lembaga Penelitian ITB No. 1345093, 1993.
- Surahman, A., "Usulan Peraturan Gempa Berdasarkan Eneergi Input", seminar HMS-ITB, 1993.