

Perencanaan Dinding Geser pada Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Ganda

Choerur Robach, Retno Anggraini, Achfas Zacoeb
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur - Indonesia
E-mail: choerur.robach@gmail.com

ABSTRAK

Dinding geser pada Sistem Ganda sebagai salah satu alternatif sistem struktur, disyaratkan untuk memikul sebagian besar beban lateral, yaitu maksimum sebesar 75%. Distribusi beban lateral pada struktur dengan Sistem Ganda adalah proporsional sesuai dengan kekakuan relatif masing-masing komponennya. Selanjutnya, dengan beban yang sudah terdistribusi, dilakukan perencanaan pada dinding geser. Dengan menetapkan kekakuan relatif dinding geser terhadap seluruh gedung, akan didapatkan dimensi dinding geser yang diperlukan untuk memenuhi kekakuan rencana. Selanjutnya, dilakukan perhitungan massa gedung dan didapatkan gaya gempa berupa gaya geser dasar nominal V . Dengan Analisis Statik Ekuivalen didapatkan gaya geser dasar horizontal F_i untuk tiap lantainya. Gaya geser F_i kemudian didistribusikan ke tiap portal yang proporsinya sesuai dengan kekakuan relatifnya, sesuai dengan syarat Sistem Ganda. Dengan memodelkan dinding geser sebagai struktur kantilever, didapatkan gaya geser dan momen lentur, dan dari analisis terhadap tributary area (area yang didukung oleh dinding geser), didapatkan gaya aksial yang bekerja pada penampang dinding geser. Dari gaya-gaya dalam hasil analisis tersebut, direncanakan tulangan tulangan horizontal dan vertikal. Kemudian dari tulangan vertikal yang terpasang, dilakukan pemeriksaan kapasitas penampang terhadap lentur dan aksial dengan bantuan diagram interaksi.

Kata kunci : gedung, beton bertulang, Sistem Ganda, dinding geser, komponen batas.

Pendahuluan

Perkembangan kota Malang yang makin pesat, memicu maraknya pembangunan gedung-gedung tinggi yang memang sudah menjadi kebutuhan karena makin terbatasnya lahan. Struktur gedung beton bertulang menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan itu. Struktur gedung beton bertulang dipilih karena memiliki durabilitas dan kemampuan layan yang lebih baik daripada struktur baja. Selain itu, untuk volume bangunan yang sama, struktur beton bertulang umumnya lebih murah daripada struktur baja.

Meningkatnya kebutuhan akan gedung tinggi harus diimbangi dengan pemahaman tentang sistem struktur gedung tinggi, terutama ketahanan

terhadap gempa. Dalam SNI-1726-2002 telah diatur sistem ataupun subsistem struktur untuk merencanakan struktur gedung tahan gempa di berbagai wilayah gempa. Masing-masing sistem dan subsistem tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing sesuai dengan karakteristik gedung maupun beban, terutama beban gempa yang merupakan beban lateral. Terdapat tujuh sistem dan subsistem struktur gedung menurut SNI-1726-2002, yaitu Sistem Dinding Penumpu, Sistem Rangka Gedung, Sistem Rangka Pemikul Momen, Sistem Ganda, Sistem Struktur Gedung Kolom Kantilever, Sistem Interaksi Dinding Geser dengan Rangka dan Subsistem Tunggal.

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan sistem struktur yang paling umum dipakai di Indonesia. Pada SRPM, komponen utama struktur adalah balok dan kolom yang memikul seluruh beban, baik itu beban gravitasi maupun beban lateral. Sistem Ganda, sebagai salah satu alternatif sistem struktur, merupakan kesatuan antara SRPM dengan dinding geser, yang mana masing-masing komponen memiliki ketentuan dalam hal distribusi beban gravitasi maupun beban lateral. Pada Sistem Ganda, beban gravitasi seluruhnya dipikul oleh portal SRPM. Selain itu, portal SRPM juga harus direncanakan mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral.

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

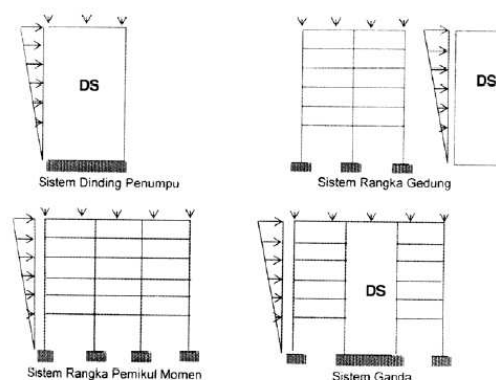
1. Mengetahui mekanisme pembagian beban pada struktur beton bertulang yang menggunakan Sistem Ganda.
2. Mendapatkan hasil rancangan dinding geser pada struktur beton bertulang yang menggunakan Sistem Ganda.

Sistem Struktur

Tinggi atau rendahnya suatu bangunan berkaitan erat dengan masalah sistem pembebanan lateral. Semakin tinggi suatu bangunan, maka sistem pembebanan lateral yang berupa beban angin dan beban gempa akan semakin besar pula. (Juwana, 2005: 24).

Semakin tinggi suatu bangunan, pentingnya aksi gaya lateral menjadi makin berarti. Pertimbangan kekakuan menentukan jenis rancangan. Derajat kekakuannya terutama bergantung pada jenis sistem struktur yang dipilih. (Schueller, 1991: 117)

Untuk itu, dikenal beberapa sistem struktur, terutama dalam kaitannya dengan kemampuan suatu struktur untuk menahan beban lateral seperti pada gambar berikut:



Gambar 1 Sistem struktur beton bertulang penahan gempa bumi

Sumber: Purwono (2005: 23)

Pada dasarnya setiap struktur pada suatu bangunan merupakan penggabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi. Fungsi utama dari sistem struktur adalah untuk memikul secara aman dan efektif beban yang bekerja pada bangunan, serta menyalurkannya ke tanah melalui pondasi. Beban yang bekerja pada bangunan terdiri dari beban vertikal, horizontal, perbedaan temperatur, getaran, dan sebagainya. Dalam berbagai sistem struktur, baik yang menggunakan bahan beton bertulang, baja, maupun komposit, selalu ada komponen (subsistem) yang dapat dikelompokkan dalam sistem yang digunakan untuk menahan gaya gravitasi dan sistem untuk menahan gaya lateral. (Juwana, 2005)

Terdapat 7 sistem dan subsistem struktur penahan gempa menurut SNI 03-1726-2002, yaitu:

1. Sistem dinding penumpu;
2. Sistem rangka gedung;
3. Sistem rangka pemikul momen;
4. Sistem ganda;
5. Sistem struktur gedung kolom kantilever;
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka;
7. Subsistem tunggal;
- 8.

Sistem Rangka Pemikul Momen

Di Indonesia, sistem struktur gedung yang umum digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen, yang mana

beban horizontal akibat gempa akan dipikul terutama melalui mekanisme lentur. Pada saat gempa terjadi, rangka pemikul momen harus berperilaku sebagai rangka daktail supaya integritasnya tetap terjaga sehingga bangunan terhindar dari kemungkinan mengalami roboh dengan seketika. Perilaku daktail ini hanya dapat dicapai apabila pada saat terbentuknya sendi-sendi plastis pada pelat-balok-kolom mampu mentransfer efek beban lateral gempa tanpa kehilangan kekuatan dan kekakuannya.

Menurut tabel 3 SNI 03-1726-2002 tercantum tiga jenis SRPM yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus), yang mana masing-masing jenis SRPM dibedakan berdasarkan wilayah gempa.

Sistem Ganda

Secara umum, menurut SNI-1726-2002 Tabel 3, Sistem Ganda dapat diartikan sebagai kesatuan sistem struktur yang terdiri dari rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi dan pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka pengaku dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/Sistem Ganda.

Menurut Purwono (2005: 25) tipe sistem struktur ini memiliki 3 ciri dasar. Pertama, rangka ruang lengkap berupa SRPM untuk memikul beban gravitasi, yang sekaligus harus bisa memikul sedikitnya 25% dari beban lateral (gempa nominal V). Kedua, dinding struktural (DS) yang memikul sisa beban lateral. Ciri ketiga, SRPM dan DS harus

direncanakan untuk menahan beban gempa V secara proporsional berdasarkan kekakuan relatifnya. Pada wilayah gempa 5 dan 6, rangka ruang itu harus didesain sebagai SRPMK dan DS harus sesuai ketentuan SNI 2847 Pasal 23.6.6 yaitu sebagai DSBK (Dinding Struktural Beton Khusus), termasuk ketentuan pada pasal-pasal sebelumnya yang masih berlaku. Untuk wilayah gempa 3 dan 4, SRPM harus didesain sebagai SRPMM dan DS tidak perlu *detailing* khusus. Sedangkan untuk wilayah gempa 1 dan 2, boleh dipakai SRPM biasa dan DS beton biasa.

Dinding Geser

Dinding struktural pada bangunan berbentuk rangka (frame building) harus dirancang sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang memadai yang diperlukan untuk mengurangi simpangan antar lantai yang disebabkan oleh gempa. Dinding seperti itu disebut dinding geser. Fungsi lainnya adalah untuk mengurangi kemungkinan kehancuran komponen nonstruktural yang ada pada gedung pada umumnya. (Nawy, 2005: 741)

Gedung yang diperkaku dengan dinding geser dianggap lebih efektif daripada gedung dengan rangka kaku, dengan mempertimbangkan pembatasan kehancuran, keamanan secara keseluruhan dan keandalan struktur. Hal ini berdasarkan fakta bahwa dinding geser dianggap lebih kaku daripada elemen rangka biasa sehingga dapat menahan beban lateral yang lebih besar akibat gempa, dan di saat yang bersamaan dapat membatasi simpangan antar lantai. (Nawy, 2005: 741)

Lantai yang berlaku sebagai diafragma horizontal meneruskan beban lateral secara merata ke dinding geser. Dianggap bahwa lantai cukup tebal dan tidak mempunyai bukaan besar, dengan kata lain lantai-lantai sangat kaku dan tidak berubah bentuk. Penyebaran gaya lateral ke dinding geser adalah fungsi

dari susunan geometrisnya. Apabila resultan dari gaya lateral melalui titik berat dari kekakuan relatif bangunan, maka yang dihasilkan hanyalah reaksi translasi. (Schueller, 1991: 110)

Salah satu hal pokok yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan dinding geser pada Sistem Ganda adalah penempatan dinding geser. Dalam sistem gedung tinggi yang bentuknya tidak beraturan, seringkali terjadi eksentrisitas yang berlebihan. Eksentrisitas pada gedung terjadi karena tidak berimpitnya pusat massa dan pusat kekakuan gedung. Eksentrisitas yang besar dapat menyebabkan rotasi pada gedung. Untuk itu, dinding geser harus ditempatkan sedemikian rupa untuk membatasi eksentrisitas itu, atau dengan kata lain agar didapatkan eksentrisitas sekecil mungkin. Selain itu, yang harus menjadi pertimbangan adalah bentuk denah gedung dan tata guna lantai, di mana dinding geser yang menerus umumnya diletakkan di dekat tangga atau lift untuk menghindari terganggunya sirkulasi ruang dan menjaga kenyamanan pengguna gedung.

Analisis Struktur

Analisis struktur menurut cara-cara mekanika teknik yang baku merupakan pra-perencanaan bagi desain beton bertulang. Bentuk dan besarnya ukuran penampang akibat pembebanan akan menentukan desain. Analisis dengan bantuan komputer dalam mendapatkan bentuk dan besarnya sistem struktur berupa gaya-gaya dalam harus dilakukan dengan model-model matematik yang mensimulasikan keadaan struktur yang sesungguhnya dilihat dari segi sifat bahan dan kekakuan unsur-unsurnya.

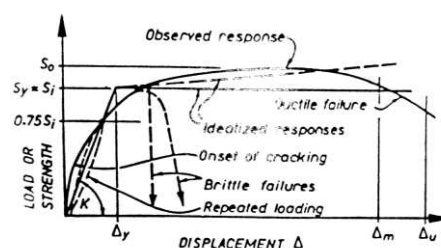
Analisis struktur merupakan salah satu langkah terpenting dalam perencanaan struktur, karena hasil dari analisis struktur nantinya akan digunakan untuk menggambarkan kondisi riil dari struktur yang akan dirancang menggunakan model. Hasil

yang dimaksud dapat berupa perpindahan (*displacement*), reaksi tumpuan dan gaya dalam.

Perencanaan Dimensi

Struktur dengan bentang dan sistem struktur yang berbeda mempunyai ukuran komponen struktur optimal yang berbeda pula, untuk selanjutnya dijadikan patokan bagi perancang untuk merencanakan desain dan menghitung kekuatan strukturalnya. Sebagai contoh, perancang umumnya membuat dimensi pra-perencanaan untuk komponen balok dengan kisaran minimum sebesar 1/12 panjang bentangnya dan maksimum sebesar 1/8 panjang bentangnya. Dimensi komponen ini nantinya akan dievaluasi lagi, karena struktur yang dibahas adalah struktur beton bertulang, yang artinya peranan dari tulangan tidak boleh dikesampingkan. Dimensi penampang komponen struktural akan mempengaruhi hasil desain, seperti penempatan dan jumlah tulangan, yang selanjutnya akan mempengaruhi perilaku struktur secara keseluruhan, sehingga dari perancang yang berbeda masing-masing akan didapatkan pula hasil rancangan dan perilaku struktural yang berbeda.

Kekakuan Struktur



Gambar 2 Hubungan beban dan perpindahan pada struktur beton bertulang

Sumber: Paulay & Priestley (1992: 11)

Hubungan nonlinear khusus antara beban yang bekerja dan perpindahan, yang menjelaskan respon dari komponen struktur beton bertulang terhadap perpindahan, ditunjukkan pada gambar 2. Jika S_y merupakan kekuatan ideal S_i dari masing-masing elemen, dan Δ_y

merupakan deformasi struktural, kemiringan kurva respon elastis linier yang digambarkan, $K = S_y / \Delta_y$ digunakan untuk menghitung kekakuan. Rumus ini berdasarkan pada titik perpotongan kurva beban-perpindahan pada beban sekitar $0,75 S_y$ sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2, yang dapat dipakai sebagai kekakuan efektif yang mendekati kekuatan lentur yang penting saat memperkirakan respon struktur untuk memenuhi syarat kemampuan layan. (Paulay & Priestley, 1992: 11)

Berdasarkan uraian di atas, kekakuan dapat diartikan sebagai gaya per satuan deformasi, atau dengan kata lain, gaya yang diperlukan untuk menahan satu satuan deformasi. Sehingga, untuk membatasi deformasi pada struktur, masing-masing komponennya harus direncanakan dengan baik agar memiliki kekakuan yang memadai. Jika gaya disimbolkan dengan P , dan perpindahan disimbolkan dengan Δ , maka rumus kekakuan dapat juga dituliskan:

$$K = \frac{P}{\Delta}$$

Kekakuan struktur merupakan salah satu parameter penting dalam kaitannya terhadap ketahanan terhadap gempa. Seringkali, untuk suatu struktur yang kekakuannya kurang memadai untuk ketahanan terhadap gempa, ditambahkan komponen untuk meningkatkan ketahanan terhadap beban lateral. Komponen yang dimaksud bisa berupa dinding geser yang sudah dijelaskan sebelumnya, rangka pengaku (*bracing*) dan sebagainya. Kekakuan struktur erat sekali kaitannya dengan dimensi tiap komponen strukturalnya, sehingga perencanaan dimensi akan sangat berpengaruh terhadap kekakuan struktur yang direncanakan secara keseluruhan. Dalam kaitannya dengan ketahanan struktur terhadap gempa, kekakuan geserlah yang menjadi parameter, sehingga momen inersia penampang dalam arah gempa yang ditinjau yang

berperan besar. Sehingga rumus kekakuan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$K = \frac{E.I}{l}$$

Keterangan:

K = kekakuan komponen struktur

E = modulus elastisitas bahan

I = momen inersia penampang

l = panjang komponen struktur

Dalam tingkat yang sama, yang berarti panjang tiap komponen struktur yang menahan gempa (kolom dan dinding geser) adalah sama, maka nilai kekakuan bisa didapatkan dengan membandingkan nilai momen inersia penampang komponen tersebut.

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, pengaruh peretakan beton pada unsur-unsur struktur dari beton bertulang, beton pratekan dan baja komposit harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Untuk itu, SNI-03-1726-2002 telah memberikan ketentuan momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang sebagai berikut:

- untuk kolom dan balok rangka beton bertulang terbuka : 75%
- untuk dinding geser beton bertulang kantilever : 60%

Pembebanan

Pada prinsipnya pembebanan yang akan diperhitungkan dalam perencanaan suatu gedung secara garis besar digolongkan dalam empat jenis pembebanan yaitu sebagai berikut: (Departemen Pekerjaan Umum, 1983: 7)

1. Beban Mati.
2. Beban Hidup.
3. Beban Angin.
4. Beban Gempa.

Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang

dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan: (SNI 03-1726-2002, 2002: 59)

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$$

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E$$

Keterangan :

D : beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen,

L : beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung,

A : beban atap,

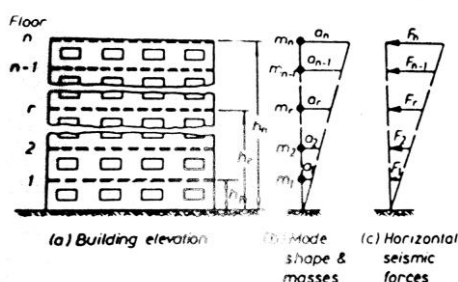
R : beban hujan,

W : beban angin,

E : beban gempa.

Analisis Statis Ekuivalen

Analisis statik ekuivalen merupakan metode yang paling sederhana dan paling banyak digunakan untuk menentukan beban gempa rencana. Metode ini memakai asumsi bahwa respon gedung terhadap beban gempa terjadi pada ragam dinamik pertama, yang ekuivalen dengan ragam statik. Untuk itulah metode ini disebut analisis statik ekuivalen. Respon yang terjadi, terutama pada gedung yang kurang dari 10 lantai, seringkali diasumsikan linier. (Paulay & Priestley, 1992: 83)



Gambar 3 Analisis Statik Ekuivalen untuk menentukan gaya geser dasar
Sumber: Paulay & Priestley (1992: 83)

Berikut ini merupakan langkah-langkah analisis statik ekuivalen:

1. Hitung waktu getar alami pertama gedung

2. Tentukan koefisien gaya geser dasar yang memenuhi

3. Hitung gaya geser dasar (V) berdasarkan berat total gedung

Gaya geser dasar nominal dirumuskan sebagai berikut:

$$V = \frac{C_1 \cdot I \cdot W_t}{R}$$

Keterangan:

C_1 = Faktor Respons Gempa

I = Faktor Keutamaan gedung

W_t = Berat total gedung

R = Faktor reduksi gempa

4. Distribusikan gaya geser dasar untuk tiap lantai struktur gedung (F)

Gaya geser dasar horizontal untuk tiap lantai (F_i) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i \cdot V}{\sum W_i \cdot z_i}$$

Keterangan:

F_i = Gaya geser pada lantai ke-i

V = Gaya geser total

W_i = Berat bangunan lantai ke-i

z_i = Tinggi lantai ke-i

5. Analisis struktur dengan pengaruh beban lateral untuk mendapatkan gaya-gaya dalam, seperti momen lentur dan gaya geser
6. Perkirakan perpindahan struktur dan penyimpangan tiap lantai

Kinerja Struktur Gedung

Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar-tingkat harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi dengan faktor skala. Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 8.1.2, untuk memenuhi persyaratan kinerja

batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil.

Kinerja Batas *Ultimate*

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela dilatasi). Sesuai SNI-03-1726-2002 pasal 8.2.1, simpangan dan simpangan antar-tingkat harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat dari pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ yaitu sebagai berikut :

- Untuk struktur gedung beraturan $\xi = 0,7 R$
- Untuk struktur gedung tidak beraturan $\xi = 0,7 R/\text{faktor skala}$

Penulangan Dinding Geser

Penulangan Geser

Nawy (2005: 742) menjelaskan, jika dinding geser direncanakan untuk menerima gaya geser akibat gempa $V_u > A_{cv} \sqrt{f'_c}$ maka harus dipasang tulangan dengan ratio $\rho_v \geq 0,0025$. Jarak penulangan tidak boleh melebihi 18 inci (45 cm). Jika $V_u < A_{cv} \sqrt{f'_c}$ maka ratio tulangan bisa dikurangi menjadi 0,0012 untuk tulangan no.5 atau yang lebih kecil dan 0,0015 untuk tulangan deform yang lebih besar. Penulangan geser harus menerus dan menyebar pada bidang geser. Setidaknya harus dipakai dua lapis tulangan bila gaya geser terfaktor di

dalam bidang dinding melebihi $2A_{cv} \sqrt{f'_c}$.

SNI 03-2847-2002 pasal 23.2.6)(1) menyebutkan bahwa rasio penulangan ρ_v dan ρ_n untuk dinding struktural tidak boleh kurang dari 0,0025 pada arah sumbu-sumbu longitudinal dan transversal. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm. Paling sedikit dua lapis tulangan harus dipasang pada dinding apabila gaya geser bidang terfaktor yang dibebankan ke dinding melebihi $\frac{1}{6} A_{cv} \sqrt{f'_c}$. Kuat geser nominal, V_n , dinding struktural tidak diperkenankan lebih daripada:

$$V_n = A_{cv} (\alpha \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y)$$

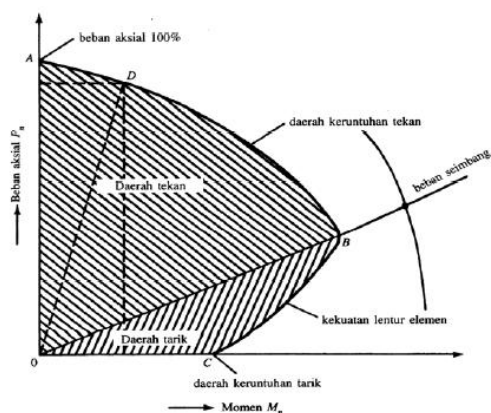
Di mana koefisien $\alpha = 1/4$ saat $h_w/l_w \leq 1,5$ dan $\alpha = 1/6$ saat $h_w/l_w \geq 2,0$, dan dapat digunakan interpolasi linier untuk nilai-nilai di antaranya.

Dinding harus mempunyai tulangan geser tersebar yang memberikan tahanan dalam dua arah orthogonal pada bidang dinding. Apabila rasio h_w/l_w tidak melebihi 2,0, rasio penulangan ρ_v tidak boleh kurang daripada rasio penulangan ρ_n . Kuat geser nominal sistem dinding struktural yang secara bersama-sama memikul beban lateral tidak boleh melebihi $(\frac{2}{3}) A_{cv} \sqrt{f'_c}$, dengan A_{cv} adalah luas penampang total sistem dinding struktural, dan kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh melebihi $(\frac{5}{6}) A_{cp} \sqrt{f'_c}$, dengan A_{cp} adalah luas penampang dinding yang ditinjau.

Penulangan Lentur dan Aksial pada Komponen Batas

Menurut Nawy (2005: 741) dinding geser yang rasio tinggi dibanding panjangnya melebihi 2, perilakunya lebih seperti kantilever vertikal. Untuk itu, kekuatan lenturnya lebih menentukan dibandingkan kekuatan gesernya. Dengan kata lain, dinding geser dapat dimodelkan seperti kolom.

Sehingga, tulangan geser vertikal yang telah terpasang, dapat dianalisis kapasitasnya dengan bantuan diagram interaksi seperti pada kolom.



Gambar 4 Diagram Interaksi

Sumber: McCormac (2006: 288)

Diagram interaksi sangat berguna untuk mempelajari kekuatan kolom dengan proporsi beban dan momen yang bervariasi. Jika kombinasi beban berada di dalam kurva, maka menunjukkan belum terjadi keruntuhan pada penampang. Namun jika kombinasi beban berada di luar kurva berarti menunjukkan sudah terjadi keruntuhan. Jika kolom dibebani sampai runtuh hanya dengan beban aksial, maka keruntuhan akan terjadi pada titik A (Gambar 4). Beranjak dari titik A pada kurva, kapasitas beban aksial makin berkurang sesuai dengan peningkatan kekuatan lentur. Pada dasar kurva, titik C menunjukkan kekuatan lentur jika penampang hanya menerima beban lentur tanpa terjadi beban aksial. Dan di antara titik ekstrim antara A dan C, keruntuhan penampang terjadi karena kombinasi aksial dan lentur. Titik B disebut titik seimbang yang menunjukkan terjadi beban seimbang, yang secara teoretis berarti keruntuhan tekan dan kelelahan tarik terjadi secara bersamaan.

Komponen batas menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.1 adalah bagian sepanjang tepi dinding dan diafragma yang diperkuat oleh tulangan longitudinal dan transversal. Komponen

batas tidak perlu diberi ketebalan melebihi tebal dinding atau diafragma. Pasal 23.6(6(2a)) menyatakan bahwa daerah tekan pada dinding geser perlu diberi komponen batas apabila:

$$c > \frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)}, \text{ dengan } \frac{\delta_u}{h_w} \geq 0,007$$

Nilai c merupakan jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral. Untuk menghitung c , perlu dihitung terlebih dahulu kebutuhan tulangan vertikal DS yang kedua ujung memiliki komponen batas dengan ketebalan minimal sama dengan dinding geser atau lebih besar. l_w merupakan panjang bentang bersih dinding geser, δ_u merupakan simpangan total yang terjadi pada gedung akibat beban gempa, dan h_w merupakan tinggi bersih dinding geser. Nilai c ditentukan konsisten dengan terjadinya δ_u dan harus diperoleh dari dua kombinasi beban aksial yaitu:

$$P_u = 1,2 D + 0,5 L \text{ dan}$$

$$P_u = 0,9 D$$

Bila komponen batas khusus diperlukan sesuai 23.6(6(2(a))) maka tulangannya harus diteruskan secara vertikal dari penampang kritis sejarak tidak kurang daripada nilai terbesar dari l_w atau $M_u/4V_u$.

Bila komponen batas pada dinding struktural tidak diperlukan, maka persyaratan berikut harus dipenuhi, yaitu:

$$\rho_g > \frac{2,8}{f_y}, \text{ dan}$$

$$V_u \geq A_{cv} \sqrt{f'_c}$$

Metode Perancangan

Secara garis besar, perencanaan dinding geser pada struktur gedung dengan Sistem Ganda meliputi:

Perencanaan Dimensi

Perencanaan dimensi adalah langkah awal dalam perencanaan suatu struktur. Penentuan dimensi komponen struktur pada umumnya didasarkan pada panjang bentang komponen yang

bersangkutan berdasarkan pada data gambar denah atau tata ruang arsitektural.

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 16.5.3 tentang perencanaan dinding secara empiris, ketebalan dinding tidak boleh kurang daripada $1/25$ tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak pula kurang daripada 100 mm.

Kekakuan

Kekakuan suatu struktur erat kaitannya dengan dimensi masing-masing komponen strukturnya. Komponen struktur yang dimaksud meliputi kolom, balok, dan dinding geser. Kekakuan masing-masing komponen struktur harus dikontrol untuk menyesuaikan dengan kebutuhan dan memenuhi syarat struktur yang menggunakan Sistem Ganda.

Setiap komponen struktur harus direncanakan sedemikian rupa agar memiliki kekakuan yang cukup, agar tidak terjadi deformasi yang berlebihan akibat beban yang bekerja. Sehingga rumus kekakuan dapat juga dituliskan:

Kekakuan masing-masing komponen struktural kemudian akan dihitung dan diperiksa apakah memenuhi kekakuan yang disyaratkan untuk Sistem Ganda. Syarat Sistem Ganda yaitu beban lateral minimal 25% harus mampu ditumpu oleh sistem rangka (balok dan kolom), sedangkan sisanya harus ditumpu oleh dinding geser. Artinya, sebagian besar beban lateral akan ditumpu oleh dinding geser. Sehingga, kekakuannya juga harus lebih besar daripada kekakuan komponen struktur pada sistem rangka, sesuai dengan proporsi beban lateral yang ditumpunya.

Analisis Statik Ekuivalen

Skripsi ini akan dititikberatkan pada perencanaan dinding geser pada struktur gedung beton bertulang dengan Sistem

Ganda, dengan tetap memperhatikan pembagian beban lateral sesuai dengan ketentuan untuk Sistem Ganda yang disebutkan pada SNI 03-1726-2002. Analisis untuk menghitung gaya pada struktur akibat gaya gempa dilakukan dengan analisis portal dua dimensi, dengan metode statik ekuivalen.

Gaya Geser Rencana

Gaya geser dasar horizontal yang didapatkan dari perhitungan analisis statik ekuivalen kemudian akan didistribusikan lagi ke masing-masing portal sesuai dengan mekanisme pembebanan lateral berdasarkan persyaratan Sistem Ganda, yaitu minimal beban lateral sebesar 25% harus mampu ditumpu oleh Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), dan sisanya ditumpu oleh portal dinding geser. Gaya geser inilah yang disebut gaya geser rencana yang akan digunakan untuk menghitung desain dinding geser.

Berdasarkan denah gedung, dinding geser diletakkan pada portal B dan K (dua buah portal dari total dua belas), sedangkan sepuluh portal lainnya merupakan portal SRPM. Misalnya, ditetapkan bahwa dari 100% beban lateral dalam arah melintang, 25% ditumpu oleh SRPM, maka beban lateral sebesar 25% itu akan dibagi ke sepuluh portal, sehingga masing-masing portal SRPM akan menerima 2,5% beban lateral. Sedangkan 75% sisanya, akan dibagi ke dua portal dinding geser, sehingga masing-masing portal dinding geser akan menerima 37,5% beban lateral.

Hasil dan Pembahasan

Pada gedung dengan Sistem Ganda ini, perencanaan khusus dilakukan pada dinding geser, sehingga komponen struktural lainnya seperti pelat dan balok hanya diperhitungkan sebagai beban. Sedangkan kolom, hanya diperhitungkan kekakuan relatifnya terhadap seluruh

sistem struktur, berdasarkan taksiran ukuran penampang yang dilakukan. Ketebalan dinding geser direncanakan dengan menghitung kekakuan lateral/geser untuk Sistem Ganda, yang merupakan kombinasi antara SRPM dengan dinding geser, yang mana disyaratkan bahwa minimal 25% beban lateral ditumpu oleh SRPM dan sisanya ditumpu oleh dinding geser. Dengan perhitungan yang dilakukan, didapatkan ketebalan dinding geser sebesar 30 cm (untuk lantai 1 sampai dengan 3) dan 25 cm (untuk lantai 4 sampai dengan 7).

Dari perhitungan massa bangunan, didapatkan gaya geser dasar nominal V , yang besarnya sebesar 327046,28 kg. Kemudian gaya geser dasar nominal itu didistribusikan menjadi gaya geser horizontal F_i yang berkerja pada tiap lantai. Untuk menghitung gaya lateral yang bekerja pada portal dinding geser, dilakukan distribusi terhadap F_i untuk tiap portalnya sesuai proporsi beban yang telah ditetapkan (sesuai dengan kekakuan lateral), yaitu 25% untuk portal SRPM dan 75% untuk portal dinding geser. Dengan memodelkan dinding geser sebagai kantilever, didapatkan gaya geser dan momen lentur pada tiap lantai. Sedangkan gaya aksial didapatkan dengan analisis terhadap *tributary area*, yaitu area yang didukung oleh dinding geser, meliputi semua beban hidup dan beban mati yang ditumpu oleh dinding geser pada area tersebut, termasuk berat dinding geser itu sendiri.

Gaya geser, momen lentur dan gaya aksial digunakan untuk perhitungan penulangan dinding geser. Dari perhitungan tulangan geser yang dilakukan, untuk dinding geser lantai 1 sampai dengan 3, diperlukan tulangan horizontal D19 – 160 (2 lapis), dan tulangan vertikal D19 – 160 (2 lapis). Sedangkan untuk dinding geser lantai 4 sampai dengan 7, diperlukan tulangan horizontal D19 – 200 (2 lapis), dan tulangan vertikal D19 – 200 (2 lapis).

Tulangan vertikal terpasang perlu diperiksa kapasitasnya terhadap aksial dan lentur. Untuk memeriksa komponen batas, dilakukan analisis terhadap gaya aksial berdasarkan beban mati dan beban hidupnya yang dikombinasikan sebesar $P_u' = 1,2 D + 0,5 L$. P_u' dari beban mati dan beban hidup ini kemudian dikombinasikan dengan M_u pada diagram interaksi dengan bantuan program PCACOL. Pada diagram interaksi, didapatkan bahwa untuk tulangan vertikal yang terpasang masih cukup memadai untuk menahan aksial ($\phi P_n > P_u'$), namun tidak memadai untuk menahan lentur ($\phi M_n < M_u'$), sehingga rasio tulangan perlu dibesarkan. Sedangkan dari kombinasi $P_u' = 3399,72$ dan $M_n = 15858$ kNm dihasilkan $c = 3230$ mm, yang nilainya lebih besar dari yang disyaratkan pada persamaan 4-6 (1071 mm) sehingga dinding geser perlu dipasang komponen batas khusus. Setelah dipasang komponen batas sebesar 700 mm x 700 mm dengan rasio tulangan sebesar 2,6% untuk 4 sisi atau 0,65% untuk tiap sisi (dipakai 16 – D22) dan rasio tulangan pada badan dinding geser sebesar 1,3% untuk 2 sisi atau 0,65% untuk tiap sisi (dipakai 9 – D22) didapatkan bahwa dinding geser sudah cukup memadai untuk menahan aksial ($\phi P_n > P_u'$) dan lentur ($\phi M_n > M_u'$).

Kesimpulan dan Saran

Distribusi beban pada struktur memakai prinsip bahwa komponen struktur akan menerima beban sesuai dengan kekakuannya. Pada Sistem Ganda, komponen SRPM berupa kolom, menerima beban lateral minimal sebesar 25%, sedangkan sisanya diterima oleh dinding geser. Dengan menghitung massa gedung berdasarkan dimensi komponen-komponennya, didapatkan gaya gempa nominal V yang didistribusikan menjadi gaya geser tiap lantai F_i . Gaya geser F_i kemudian didistribusikan ke tiap portal yang

proporsinya sesuai dengan kekakuan relatifnya. Dengan memodelkan dinding geser sebagai struktur kantilever, didapatkan gaya geser dan momen lentur, dan dari analisis terhadap *tributary area*, didapatkan gaya aksial, yang dipakai untuk merencanakan tulangan pada dinding geser, yang meliputi tulangan horizontal dan vertikal. Tulangan vertikal yang terpasang, diperiksa kapasitasnya terhadap lentur dan aksial dengan bantuan diagram interaksi pada program PCACOL. Jika gaya aksial dan momen nominal pada penampang kurang dari gaya aksial dan momen ultimit hasil analisis, maka rasio tulangan perlu ditambah. Dan dari besarnya nilai c (jarak serat tekan terluar ke sumbu netral) dapat ditentukan apakah dinding geser perlu diberi komponen batas atau tidak. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa tulangan horizontal pada dinding geser lantai 1 sampai dengan 3 adalah D19 – 160 (2 lapis), dan pada lantai 4 sampai dengan 7 adalah D19 – 200 (2 lapis). Sedangkan tulangan vertikal untuk seluruh penampang dinding geser adalah 16 – D22 (2 sisi), dan pada komponen batas adalah 9 – D22 (4 sisi).

Pada perencanaan gedung yang ideal, sebaiknya dilakukan perencanaan terhadap keseluruhan komponen struktural. Tujuannya, selain untuk memberikan kekuatan yang memadai terhadap gedung, juga agar didapatkan hasil perencanaan yang ekonomis dan sesuai kebutuhan. Selain itu, agar didapatkan gambaran perilaku struktural secara menyeluruh pada gedung. Sedangkan dari aspek peraturan, sebaiknya dilakukan tinjauan terhadap peraturan terbaru yang sudah berlaku, baik tentang gempa maupun tentang beton. Untuk itu, sebaiknya dilakukan kajian ataupun perbandingan hasil perencanaan antara peraturan yang lama dengan peraturan yang baru.

Daftar Pustaka

- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-1726-2002*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-2487-2002*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Juwana, J. S. 2005. *Panduan Sistim Bangunan Tinggi*. Jakarta: Erlangga.
- McCormac, J. C. 2006. *Design of Reinforced Concrete*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Muto, K. 1990. *Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, E. G. 2005. *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*. New Jersey, USA: Pearson Education, Inc.
- Paulay, T & M. J. N. Priestley. 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Purwono, R. 2005. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya: ITSpress.
- Schueller, W. 1991. *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung: Refika Aditama.
- Taranath, B. S. 1998. *Structural Analysis and Design of Tall Buildings*. USA: McGraw-Hill.