

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Struktur tidak beraturan memiliki diskontinuitas fisik tertentu baik dalam rencana atau elevasi atau keduanya yang mempengaruhi kinerja struktur yang mengalami beban lateral. Penyimpangan dalam distribusi massa, kekakuan dan geometri sepanjang tinggi bangunan apapun dikelompokkan sebagai ketidakteraturan vertikal.

1. Penelitian Sebelumnya

- a. Shreyasvi.C dan B.Shivakumaraswamy (2015) : membandingkan perilaku struktur reguler dan re-entrant di berbagai zona seismik. Metode spektrum respons dan metode riwayat waktu dilakukan dengan menggunakan ETABS. Akselerogram gempa Bhuj dan Elecentro digunakan untuk metode riwayat waktu. Untuk model reguler dan tidak teratur, perpindahan tingkat, periode waktu, dan geser tingkat dibandingkan. Drift dan perpindahan bertingkat lebih untuk bangunan yang tidak beraturan.
- b. Prajapati P.B dan Prof. Mayur G Vanza (2014) : Pada penelitian ini dilakukan perbandingan respon seismik antara persegi panjang, bentuk C dan bentuk L. Perangkat lunak SAP 2000 digunakan untuk analisis statis dan dinamis. Dalam kasus metode riwayat waktu, akselerogram Uttarkhasi, Bhuj, dan Chamoli dipertimbangkan. Parameter seperti

lendutan pada sambungan, geser lantai dibandingkan untuk model yang berbeda.

- c. Arunava Das dan Priyabrata Guha (2016) : dalam makalah ini, perilaku bangunan tidak beraturan dan beraturan berlantai empat yang mengalami beban gempa dibandingkan. Analisis riwayat waktu dan analisis pushover dilakukan dengan menggunakan SAP2000. Detail percepatan elecentro digunakan untuk metode riwayat waktu. Dari hasil tersebut terlihat bahwa dalam kasus model tidak beraturan, perpindahan dari analisis pushover lebih besar daripada analisis riwayat waktu.
- d. Arvindreddy and R.J.Fernandes (2015) : menyelidiki respon struktur regular dan plan irregular pada zona V. Metode statis dan dinamis dilakukan dengan menggunakan ETABS. Perpindahan model regular dan tidak teratur dibandingkan untuk metode yang berbeda dan disimpulkan bahwa metode statis memberikan perpindahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode dinamis.
- e. Divyashree M, Gopi Siddappa (2014) : *Re-entrant corner* menimbulkan ancaman serius terhadap kinerja seismik bangunan yang menyebabkan konsentrasi tegangan pada takik dan masalah torsi. Dalam studi ini gedung berbentuk L dengan ketinggian empat lantai telah dipertimbangkan. Metode analisis spektrum respons dan analisis pushover telah dilakukan untuk model ini. Untuk memahami kinerjanya, model ini dibandingkan dengan bangunan persegi panjang.

Juga *re-entrant corner* telah diperkuat dengan menggunakan bresing dan dinding geser menggunakan berbagai teknologi perkuatan. Perubahan perilaku struktur akibat perkuatan telah dipelajari.

- f. (O. Esmaili, S. Epackachi, M. Samadzad dan S.R. Mirghaderi) mempelajari aspek struktural dari salah satu bangunan RC tertinggi, terletak di zona seismik tinggi. Di mana sistem dinding geser dengan bukaan tidak beraturan digunakan di bawah beban lateral dan gravitasi, menyimpulkan bahwa pengurangan beton di dinding geser adalah cara yang baik untuk itu memberikan lebih banyak tingkat keuletan dan menjadi lebih stabil.
- g. Milind V. Mohod (2015), telah mempelajari efek dari rencana dan konfigurasi bentuk pada struktur berbentuk tidak beraturan. Itu pengaruh ketidakteraturan (rencana dan bentuk) pada struktur telah dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak analisis struktur STAAD Pro. V8i. Dan dia menyimpulkan bahwa mengingat efek lateral perpindahan pada berbagai bentuk bangunan struktur. Dia telah mengamati bahwa, bangunan bentuk-Plus, bentuk-L, bentuk-H, bentuk-E, bentuk-T dan bentuk-C telah berpindah lebih di kedua arah (X dan Y) dibandingkan dengan yang lain sisa bangunan berbentuk sederhana (*Core-rectangle, Coresquare, Regular building*). Pergeseran lantai menjadi hal yang penting parameter untuk memahami permintaan drift struktur adalah dipertimbangkan saat mengumpulkan hasil dari perangkat lunak.

B. Landasan Teori

1. Tinjauan Umum

Dalam perencanaan, sangat penting untuk melakukan analisis menyeluruh guna mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi pada bangunan tingkat tinggi. Salah satu pendekatan yang efektif adalah menggunakan dinding geser, karena dapat meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya-gaya lateral yang timbul saat terjadi gempa bumi. Dengan demikian, elemen-elemen dari struktur dapat meredam efek gempa bumi dengan lebih baik, sehingga kerusakan dapat diminimalisir. Bangunan yang tidak beraturan secara vertikal sering dibangun di seluruh dunia untuk pertimbangan fungsional dan estetika. Namun, laporan survei pengintaian pascagempa mengungkapkan kerentanan gempa yang tinggi dari bangunan dengan ketidakaturan vertikal. Akibatnya, sangat penting untuk mengeksplorasi alasan di balik kerentanan seismik mereka yang tinggi untuk meningkatkan kinerja mereka selama gempa bumi yang akan datang.

Prinsip perencanaan bangunan tahan gempa secara konvensional adalah untuk meningkatkan kapasitas tahanan struktur terhadap gaya-gaya gempa yang bekerja padanya. Filosofi ini diadopsi hampir oleh seluruh negara di dunia dan mengikuti ketentuan berikut:

- a. Pada gempa kecil, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan. Ini berarti bahwa struktur harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat

menahan gaya-gaya gempa yang relatif kecil tanpa mengalami kerusakan yang signifikan.

- b. Pada gempa menengah, komponen struktural tidak boleh rusak, tetapi komponen non-struktural diizinkan mengalami kerusakan. Ini berarti bahwa struktur harus mampu menahan gaya-gaya gempa yang lebih kuat daripada pada gempa kecil, sehingga komponen struktural tetap utuh. Namun, komponen non-struktural seperti dinding pembatas, lapisan pelapis, dan perabotan interior dapat mengalami kerusakan.
- c. Pada gempa kuat, komponen struktural boleh mengalami kerusakan, tetapi bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan. Ini berarti bahwa struktur harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menahan gaya-gaya gempa yang sangat kuat tanpa mengalami keruntuhan yang mengancam keselamatan penghuninya. Kerusakan pada komponen struktural diizinkan, tetapi harus dikendalikan agar tidak menyebabkan keruntuhan total.

Prinsip-prinsip ini bertujuan untuk melindungi bangunan dan penghuninya dari kerusakan yang berlebihan saat terjadi gempa bumi, dengan mempertimbangkan tingkat kekuatan gempa yang mungkin terjadi.

2. Konsep Dasar Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh gempa rencana, penting untuk mempertimbangkan semua bagian dari struktur, termasuk komponen struktural dan non-struktural, dalam menanggung beban gempa yang direncanakan. Tujuan utama adalah memastikan bahwa struktur yang

direncanakan memiliki kemampuan untuk bertahan terhadap beban siklik yang dihasilkan oleh gempa tanpa mengurangi kekuatannya. Dalam perencanaan ini, penting untuk memperhitungkan daktilitas struktur. Daktilitas merujuk pada kemampuan gedung untuk mengalami deformasi inelastis yang signifikan secara berulang kali dan bolak-balik sebagai respons terhadap beban gempa yang melebihi batas beban elastis. Ketika struktur mengalami deformasi inelastis, energi yang dihasilkan oleh beban gempa dapat diserap oleh struktur. Dengan adanya daktilitas, struktur tetap dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya yang cukup sehingga tetap berdiri, meskipun telah mencapai kondisi ambang keruntuhan.

Dengan memperhitungkan daktilitas struktur dalam perencanaan, struktur gedung dapat dirancang untuk memiliki kapasitas deformasi yang memadai dalam kondisi gempa yang parah. Hal ini membantu mencegah keruntuhan struktur dan memastikan keselamatan penghuninya. Selain itu, daktilitas juga memungkinkan struktur untuk memberikan respons yang lebih prediktif dan terkontrol selama gempa, yang dapat membantu dalam merencanakan strategi perbaikan dan pemulihan setelah gempa. Dalam rangka meningkatkan daktilitas struktur, berbagai teknik dan strategi perencanaan dapat digunakan, termasuk penggunaan material yang memiliki karakteristik deformasi inelastis yang baik, pemilihan sistem struktural yang tepat, dan penggunaan elemen struktural yang dapat mengalami deformasi inelastis dengan aman. Semua ini bertujuan untuk

memastikan bahwa struktur gedung tetap kuat dan stabil, bahkan dalam kondisi gempa yang hebat.

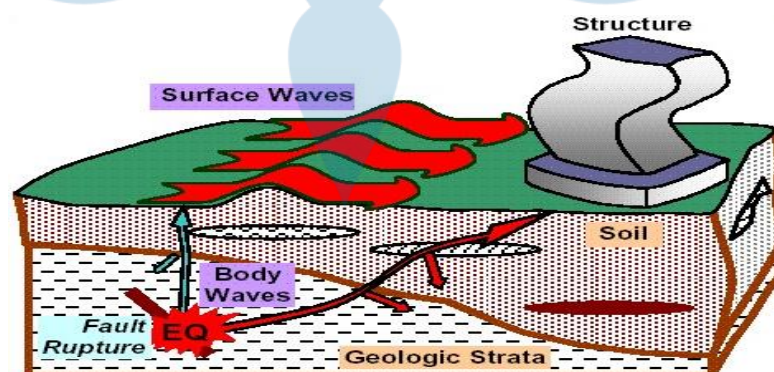
3. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang terjadi akibat pelepasan akumulasi tegangan berupa gelombang saat pecahnya batuan di sepanjang bidang sesar. Kompleksitas dalam memahami perilaku mereka adalah karena banyak faktor seperti efek sumber, variasi dalam jalur yang juga dikenal sebagai efek jalur dan efek situs lokal di mana struktur berada. Beban dinamis yang bekerja pada suatu struktur selama gempa bumi disebabkan oleh aksi gelombang kejut yang menyebabkan pergerakan struktur pendukung seperti pondasi yang mengarah pada perpindahan struktur. Gempa bumi sangat tidak dapat diprediksi di alam dan mereka dapat berlangsung selama beberapa detik tetapi masih menghancurkan. Ada sekitar 11 juta rumah yang rentan secara seismik di zona seismik 5 dan 50 juta di zona seismik 4. Secara keseluruhan 80 juta unit bangunan rentan terhadap aktivitas seismik.

Gerakan tanah seismik berbahaya menyebabkan hilangnya nyawa dan menimbulkan kerugian ekonomi juga. Kerugian ini ditemui karena kerusakan bangunan dan dalam skenario terburuk akibat runtuhnya bangunan. Gerakan tanah ini diukur menggunakan seismogram yang dipasang di lokasi yang telah ditentukan. Struktur yang terletak di dekat pusat gempa lebih terpengaruh daripada yang jauh darinya. Gempa bumi diukur dengan dua cara, salah satu caranya adalah dengan mempelajari

dampak gempa bumi terhadap struktur dan kehidupan yang disebut sebagai intensitas dan cara lainnya adalah dengan mengukur gelombang seismik dari segi magnitudo. Intensitas dan magnitudo tidak memiliki hubungan karena gempa bumi dengan magnitudo yang lebih besar dapat memiliki intensitas yang sangat rendah jika terjadi di daerah yang sepih atau tidak berpenghuni.

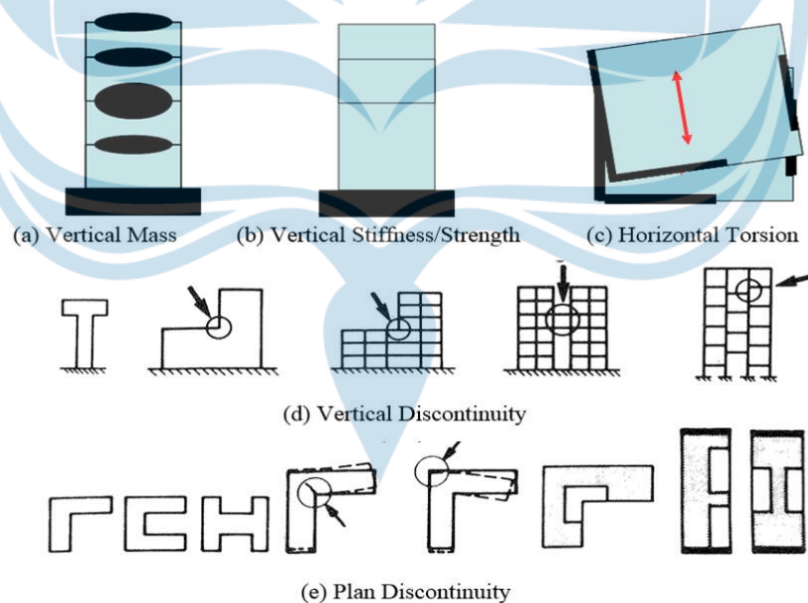
Gempa bumi tidak hanya menyebabkan guncangan tanah, masih banyak efek samping lain darinya seperti tanah longsor, banjir, tsunami, kebakaran, dll yang dapat mengakibatkan kerusakan struktur dan cedera pada kehidupan, kerusakan dalam suatu struktur dimulai dari titik kelemahan, biasanya titik lemah seperti itu hadir dalam struktur karena ketidakteraturan dalam distribusi massa dan kekakuan. Penyimpangan struktural adalah titik lemah dalam struktur dari mana kerusakan dimulai, bangunan yang tidak teratur lebih disukai karena penampilannya yang estetik dan fungsionalitas yang dioptimalkan.



Gambar 2.1. Datangnya Gelombang Seismik Di Situs Lokal

4. Bangunan Tidak Beraturan

Setiap struktur dianggap tidak beraturan jika terdapat variasi dalam distribusi massa atau kekakuan atau keduanya. Struktur reguler tidak memiliki variasi yang signifikan dan karenanya, seismiknya perilaku lebih dapat diprediksi dan menguntungkan. Namun, dalam kasus struktur tidak teratur mereka menjalani perilaku seismik yang kompleks dan tidak dapat diterima yang membuat respons struktural menjadi sulit meramalkan. Masalah kinerja seismik pada bangunan dapat timbul ketika bangunan memiliki konfigurasi yang tidak teratur, yang mengakibatkan respon struktur yang tidak seragam saat menerima beban. Khususnya, hal ini terjadi pada beban gempa yang memiliki sifat dinamis.



Gambar 2.2. Tipe Bangunan Tidak Beraturan

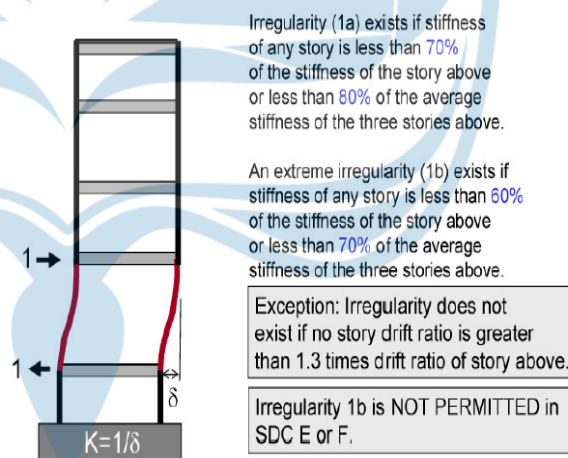
Permasalahan yang muncul dapat bervariasi tergantung pada jenis ketidakberaturan konfigurasi yang ada dalam bangunan. Ada dua jenis ketidakberaturan struktural, yaitu:

a. Ketidakteraturan vertikal.

1) Ketidakberaturan kekakuan

a) Ketidakberaturan dalam kekakuan tingkat lunak terjadi ketika kekakuan lateral suatu tingkat dalam bangunan kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% dari rata-rata kekakuan lateral tiga tingkat di atasnya.

b) Ketidakberaturan dalam kekakuan tingkat lunak yang berlebihan terjadi ketika kekakuan lateral suatu tingkat dalam bangunan kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% dari rata-rata kekakuan lateral tiga tingkat di atasnya.

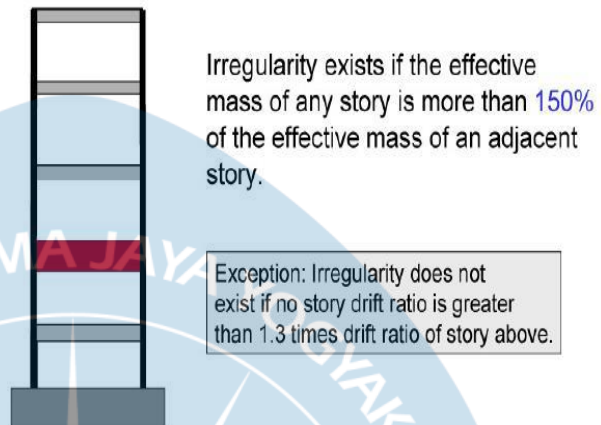


Gambar 2.3. Ilustrasi Ketidakberaturan Kekakuan

2) Ketidakberaturan berat (massa)

Ketidakteraturan berat dalam konteks massa terjadi ketika massa efektif dari semua tingkat dalam bangunan melebihi 150% massa efektif tingkat yang berdekatan. Dalam hal ini, atap yang

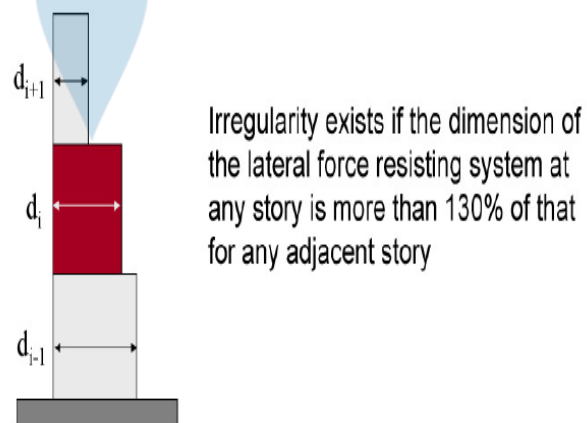
memiliki massa yang lebih ringan daripada lantai di bawahnya tidak perlu dipertimbangkan.



Gambar2. 4. Ilustrasi Ketidakberaturan Masa

3) Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan dimensi horizontal dalam sistem penahan gaya gempa terjadi ketika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat dalam bangunan melebihi 130% dari dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat yang berdekatan.

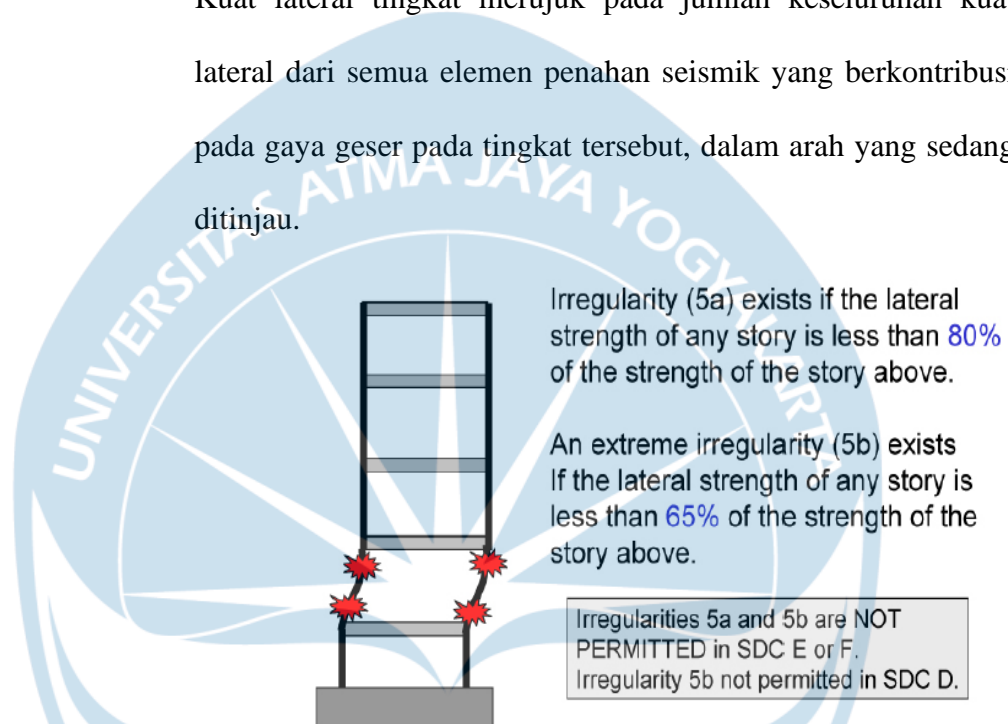


Gambar 2.5. Ilustrasi Ketidakbraturan Geometri

Vertikal

4) Diskontinuitas Sistem Lateral

Ketidakteraturan terjadi ketika kuat lateral suatu tingkat dalam bangunan lebih rendah dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat merujuk pada jumlah keseluruhan kuat lateral dari semua elemen penahan seismik yang berkontribusi pada gaya geser pada tingkat tersebut, dalam arah yang sedang ditinjau.



Gambar 2.6. Ilustrasi Diskontinuitas Dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral.

5) Lantai lemah

Konfigurasi lantai yang lemah sering dihasilkan di gedung hotel dan rumah sakit, di mana tidak hanya lantai pertama dirancang dengan dinding yang lebih sedikit daripada lantai lainnya, tetapi secara umum, karena pentingnya, lantai ini juga memiliki ketinggian yang lebih tinggi daripada lantai lainnya. Lemahnya lantai dapat ditimbulkan dengan:

1. penghilangan atau pelemahan komponen tahan gempa pada lantai pertama.

2. sistem campuran: rangka dan dinding struktural, dengan interupsi dinding di lantai dua atau di lantai tengah. Lihat Gambar 7. Ketidakteraturan ini juga bisa terjadi di lantai satu atau di lantai tengah. Ada banyak contoh dari banyak bangunan yang menghadirkan kombinasi dari jenis ketidakteraturan ini, lantai lunak dan lemah, membuatnya sangat rentan terhadap gempa.



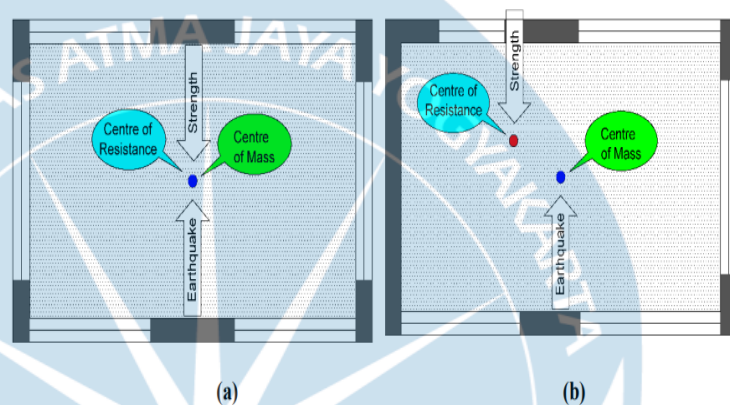
Gambar 2.7. Ilustrasi Lantai Lemah

b. Rencanakan ketidakteraturan.

1) Ketidakberaturan puntir

Ketidakberaturan puntir adalah jenis ketidakteraturan rencana dan terjadi karena eksentrisitas antara pusat massa / *centre of mass (CM)* dan pusat hambatan / *centre of resistance (CR)*. Beban seismik bekerja di pusat massa struktur sementara gaya penahan bekerja di pusat resistensi struktur. Di gedung biasa, pusat massa dan pusat resistensi (atau kekakuan) bertepatan satu sama lain dan tidak ada masalah torsin berpengalaman di sana.

Tetapi ketika pusat massa (CM) dan pusat resistensi (CR) tidak bertepatan satu sama lain, masalah torsi terjadi di gedung dan jika eksentrisitas meningkat di antaranya dua pusat, bangunan mengalami puntiran di sekeliling intinya yang kaku dan mengalami sejumlah besar gaya torsi.

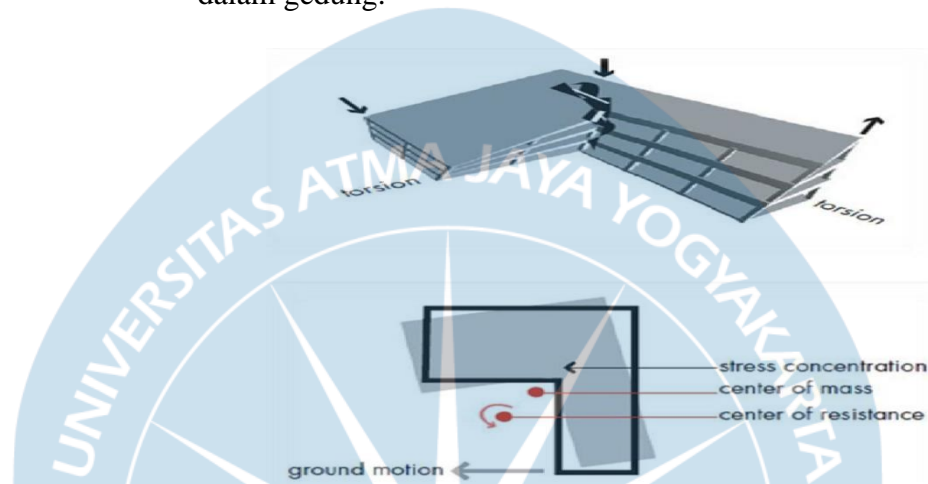


Gambar 2.8. (a) Denah Bangunan Beraturan, (b) Denah Bangunan Tidak Beraturan.

2) *Re-entrant corners*

Ketika bangunan mengalami gaya inersia gerakan tanah dimobilisasi. Gaya-gaya ini bergerak di sepanjang jalur yang berbeda yang dikenal sebagai "jalur beban" melalui berbagai komponen struktural dan akhirnya dipindahkan ke tanah melalui pondasi. Dalam kasus bangunan dengan re-entrant corner, bentuk rencananya sedemikian rupa sehingga memerlukan jalur beban tidak langsung yang mengarah ke konsentrasi tegangan lokal pada titik di mana jalur beban menekuk. Re-entrant corner kembali di sebuah bangunan menimbulkan dua ancaman serius utama. Pertama, mereka menyebabkan gerakan diferensial di

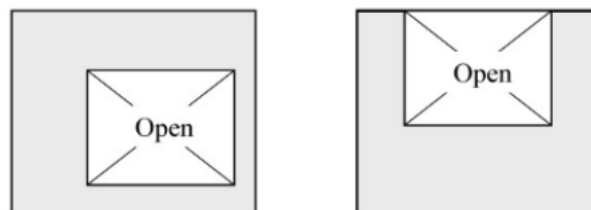
sayap bangunan yang berbeda karena variasi kekakuan yang mengarah ke konsentrasi tegangan lokal pada titik re-entrant corner. Di sisi lain, mereka menginduksi torsi yang signifikan di dalam gedung.



Gambar 2.9. Tindakan Struktural *Re-entrant Corner*

3) Diskontinuitas Diafragma

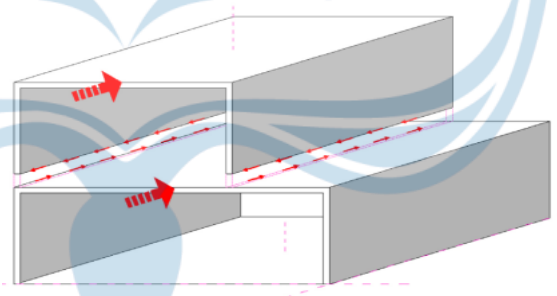
Diskontinuitas diafragma terjadi ketika terdapat variasi atau perubahan mendadak dalam kekakuan diafragma, termasuk ketika ada area yang terpotong atau terbuka dengan luas lebih dari 50 persen dari luas total diafragma, atau ketika terjadi perubahan kekakuan diafragma yang melebihi 50 persen dari satu tingkat ke tingkat berikutnya.



Gambar 2.10. Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma

4) *Out – Of – Plane Offsets*

Penempatan elemen struktural pada sumbu dan kelanjutan dari sumbu ini sepanjang ketinggian bangunan kriteria penting untuk perilaku struktur rasional. Berbeda dengan ketidakaturan diskontinuitas anggota vertical sistem struktural, mengacu pada ketidakaturan bidang-offset fakta bahwa anggota vertikal memikul gaya horizontal terletak pada sumbu lain daripada sumbunya sendiri yang berlanjut sepanjang ketinggian struktur. Divergensi dari sumbu menyebabkan bangunan menggeser pusat kekakuannya ke arah tertentu. Juga, lantai yang terlantar akibat gerakan pada sumbu batas menciptakan gradien kekakuan antara lantai bawah dan lantai atas.

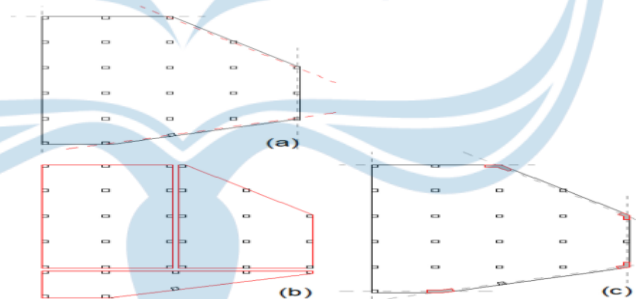


Gambar 2.11. Ketidakaturan *Offset* Di Luar Bidang

5) Sistem tak paralel

Simetri struktur penting dalam konsep rekayasa struktural. Ketidakaturan sistem non-paralel ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak sejajar atau tidak simetris dengan sumbu ortogonal utama dari sistem poros penahan gempa (Teddy et al., 2017). Jenis ketidakaturan ini biasanya terlihat

sebagai akibat dari persimpangan jalan atau persyaratan organisasi ruang dalam desain. Arsitek umumnya mulai merencanakan sesuai dengan bentuk parsel. Tujuan utama mereka untuk melakukan ini untuk memanfaatkan area parsel maksimum di sejalan dengan persyaratan pemilik (Inan dan Korkmaz, 2011). Ketidakteraturan ini, dihasilkan oleh persyaratan-persyaratan tersebut sangat sulit untuk diubah selama desain, menyebabkan bangunan mengalami torsi atau pemusatan tegangan lokal. Ketidakteraturan dalam kode seismik. Kode tersebut harus terdiri dari arahan mengenai ketidakteraturan ini kepada perancang yang menciptakan kesadaran akan perilaku bangunan akibat gempa.



Gambar 2.12. Ketidakteraturan Sistem *Non-Paralel*

5. Kekakuan

Kekakuan elastik merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan kemiringan kurva beban-simpangan atau kurva envelope pada titik beban 0,4 kali nilai puncak beban (P_{peak}). Kemiringan garis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi dan memahami bagian elastis dari kurva tersebut. Selain itu, kemiringan garis ini juga digunakan untuk menentukan

parameter-parameter seperti daktilitas, P_{yield} , dan Δ_{yield} . Kekakuan elastik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$K_e = \frac{0,4P_{peak}}{\Delta_{0,4P_{peak}}} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

K_e = kekakuan elastik (kN/mm)

P_{peak} = beban pada saat $0,4P_{peak}$

$\Delta_{P_{peak}}$ = simpangan pada saat beban $0,4P_{peak}$

Kekuatan geser yang terjadi pada dinding dapat diukur dengan beban ultimit per satuan panjang dinding. Besarnya beban ultimit tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$S_u = \frac{P_u}{b} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

S_u = kuat geser

P_u = beban geser ultimit

b = lebar dinding yang dikenai beban

Beban pada kondisi pelelehan dapat dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_{yeld} = \Delta u - \sqrt{u^2 - \frac{2A}{K_e}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

P_{yield} = beban pada kondisi leleh (kN),

A = luas sesuai beban-simpangan yang diamati (kNmm), dan

K_e = kekakuan elastik (kN/mm).

Simpangan pelelehan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut in.

$$\Delta_{yield} = \frac{P_{yield}}{K_e} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

Δ_{yield} = simpangan leleh (mm),

K_e = kekakuan elastik (kN/mm), dan

P_{yield} = beban pada kondisi leleh (kN).

6. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar adalah pendekatan sederhana untuk memodelkan getaran gempa bumi yang mempengaruhi dasar bangunan. Gaya geser dasar ini digunakan sebagai gaya gempa yang harus diperhitungkan dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung. Pada struktur gedung beraturan, gaya geser dasar dapat diestimasi menggunakan metode statik ekuivalen, sementara pada struktur gedung yang tidak beraturan, metode dinamik digunakan. Gaya geser dasar akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal pada setiap tingkat bangunan. Dengan mengakumulasi gaya horizontal pada tingkat yang dipertimbangkan, dapat diperoleh gaya geser pada tingkat tersebut, yaitu gaya geser yang terjadi di dasar tingkat yang sedang dianalisis. Akibat dari gaya geser yang diterapkan pada tingkat-tingkat tersebut, akan terjadi perpindahan dan simpangan pada tingkat-tingkat tersebut. (Cornelis, Bunganaen, & Umbu Tay, 2014).

7. Perpindahan Tingkat (*Story Displacement*)

Perpindahan merujuk pada simpangan yang terjadi pada lantai tertentu, diukur dari lantai dasar bangunan saat tidak ada getaran atau gerakan yang terjadi. Perpindahan ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kekakuan struktur, kondisi tanah di sekitar bangunan, tinggi bangunan, dan lokasi dinding geser dalam struktur. (Pramesti, 2018)

Menurut SNI 1726:2012, Untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik yang memiliki ketidakberaturan horizontal torsi, simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang sejajar secara vertikal di sepanjang salah satu tepi struktur. Simpangan tersebut biasanya dinyatakan dalam bentuk drift indeks. Drift indeks dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Drift Indeks} = \frac{\Delta}{H} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

Δ = besar defleksi maksimum yang terjadi 43, dan

H = ketinggian struktur.

8. Simpangan Antar Tingkat (*Story Drift*)

Respon struktur bangunan selama gempa dapat diamati melalui simpangan antar tingkat (*story drift*) dalam bangunan. Simpangan drift adalah simpangan yang terjadi pada suatu lantai dan diukur dari dasar lantai di bawahnya. Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.6, penentuan defleksi pada dasar tingkat (δx) dapat dilakukan jika pusat massa tidak berada dalam garis

lurus secara vertikal. Dalam hal ini, defleksi dapat dihitung berdasarkan proyeksi vertikal dan pusat massa pada tingkat di atasnya. Defleksi pusat massa pada tingkat (δx) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

C_d = faktor amplikasi defleksi,

δx_e = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada analisis elastis, dan

I_e = faktor keutamaan gempa.

9. Percepatan Gempa

Setiap kali terjadi gempa bumi, akan ada satu nilai percepatan tanah yang terjadi di lokasi tertentu. Dalam perencanaan bangunan, nilai yang umumnya diperhitungkan adalah percepatan tanah maksimum atau Peak Ground Acceleration (PGA). Semakin besar nilai percepatan tanah, semakin besar pula risiko yang timbul akibat gempa bumi. Pengukuran percepatan tanah dilakukan secara empiris dengan menggunakan pendekatan berdasarkan rumus yang dikembangkan dari magnitude gempa atau data intensitas yang tercatat.

Persamaan empiris yang menghubungkan PGA dengan intensitas gempa bumi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PGA = \exp \left(\frac{I-0.7}{2} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

$$I = I_0 \exp(-b\Delta),$$

Δ = jarak episentrum,

b = 0,00051,

I_0 = intensitas sumber gempa = 1,5 ($M-0,5$), dan

I = intensitas pada jarak episentrum (stasiun pengamatan).

Data getaran gelombang gempa yang tercatat oleh seismograf dapat dinyatakan dalam beberapa parameter, seperti simpangan kecepatan dalam satuan kine (cm/dt), simpangan dalam satuan mikrometer, dan percepatan dalam satuan gal atau cm/dt^2 . Dalam seismologi teknik atau rekayasa gempa, parameter yang paling penting adalah nilai percepatan tanah. Percepatan tanah dapat dihitung secara langsung oleh seismograf khusus yang disebut strong motion seismograph atau accelerograf. Namun, jaringan accelerograf seringkali tidak lengkap dalam hal cakupan waktu dan lokasi, sehingga perhitungan empiris sangat diperlukan. Terdapat beberapa persamaan pendekatan yang digunakan dalam perhitungan empiris tersebut:

Rumusan Donovan

$$a = \frac{5600 \exp^{0.5M}}{(R+25)^{1.32}} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

a = percepatan,

M = magnitudo,

R = jarak hiposentrum (Km),

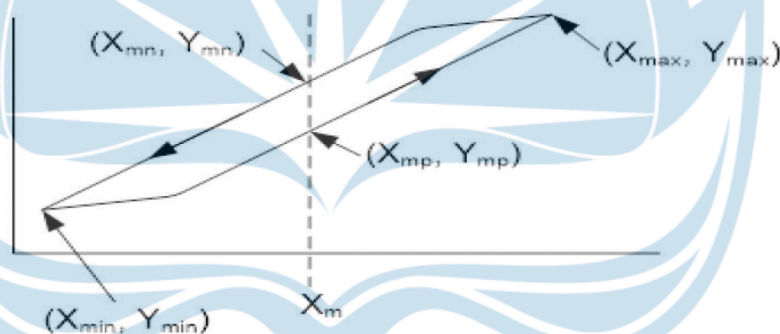
$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

Δ = jarak episentrum (Km), dan

h = kedalaman sumber gempa (Km).

10. *Histerisis Energi*

Kurva loop histeretik yang terbentuk dari pengujian dengan pembebanan bolak-balik adalah representasi dari hubungan antara beban (load) dan simpangan (displacement). Kurva ini menggambarkan kapasitas dan perilaku struktur dalam menerima dan menahan beban pada setiap siklus. Semakin datar kurva histeresis pada setiap siklus, menunjukkan bahwa kekakuan geser struktur lebih rendah akibat beban eksternal. Selain itu, dari kurva loop histeretik ini juga dapat diketahui seberapa banyak energi yang diserap atau dilepaskan oleh struktur pada setiap siklusnya.



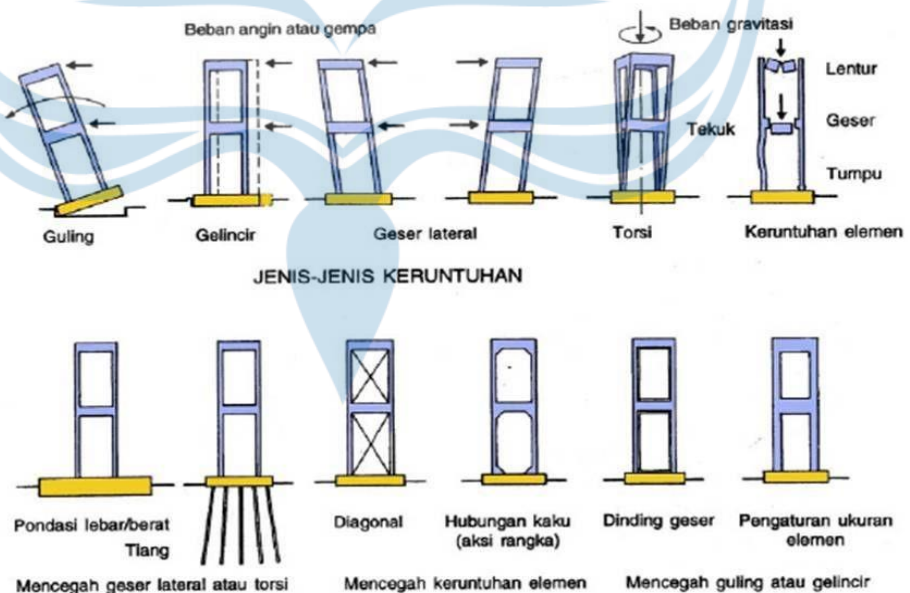
Gambar 2.13. Kurvva *Histeris*

11. *Torsion / puntir*

Torsi merujuk pada momen dan putaran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama suatu elemen struktur. Beban lateral pada bangunan dapat menghasilkan torsi ketika beban tersebut cenderung memutar bangunan dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak sejajar dengan pusat kekakuan vertikal dari elemen struktur atau sistem penahan lateral. Eksentrisitas antara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama gempa terjadi. Torsi ini

dapat meningkatkan simpangan pada titik ekstrim bangunan dan menyebabkan masalah pada elemen penahan lateral yang berada di tepi gedung.

Torsi pada bangunan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk bentuk bangunan, gangguan struktural lainnya, dan pengaruh dinamis. Sayangnya, seringkali pengaruh torsi ini diabaikan oleh para perencana. Meskipun tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, efek torsi dapat diperkecil. Untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismic C, D, E, atau F, di mana terdapat ketidakberaturan torsi tipe 1a dan 1b, momen torsi bawaan setiap tingkat harus dikalikan dengan faktor pembesaran torsi. Pengaruh torsi perlu diperhatikan dalam perhitungan simpangan antar lantai jika ditemukan ketidakberaturan dalam kekakuan vertikal struktur..



Gambar 2.14. Jenis-jenis Keruntuhan Bangunan.

12. Dinding Geser / Shear Wall

a. Pengertian umum

Gaya horisontal yang diberikan pada konstruksi gedung, seperti beban angin atau beban gempa, dapat diatasi melalui berbagai metode. Salah satu cara yang umum digunakan adalah dengan memanfaatkan rangka struktur yang kaku, yang didukung oleh kekuatan dari dinding pasangan bata dan partisi-partisi yang mampu menahan beban angin. Namun, jika gaya horisontal yang bekerja pada elemen-elemen struktur gedung bertingkat disebabkan oleh lorong vertikal yang berfungsi sebagai jalur lift, diperlukan perencanaan struktur khusus untuk menahan beban lateral tersebut. Dalam hal ini, dinding geser berfungsi sebagai gelagar kantilever yang terjepit di dasarnya, untuk menyalurkan beban-beban ke bawah hingga ke pondasi.

Dinding geser adalah elemen struktural vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gempa yang bekerja pada bangunan. Dinding geser dapat berupa dinding luar, dinding dalam, atau inti yang memuat ruang lift atau tangga. Penempatan dinding geser yang tepat pada gedung bertingkat akan memberikan sistem penahan gaya lateral yang efisien. Pada gedung bertingkat tahan gempa dengan tinggi kurang dari 20 lantai, penggunaan struktur dinding geser merupakan alternatif yang baik. Namun, untuk gedung dengan lebih dari 20 lantai, penggunaan struktur dinding geser sudah menjadi keharusan, baik dari segi ekonomis maupun pengendalian defleksi.

Dinding geser terpasang (coupled shear wall) terdiri dari dua atau lebih dinding kantilever yang dapat membentuk mekanisme pelelehan lentur di dasarnya. Dinding geser-kantilever ini dihubungkan oleh balok perangkai yang cukup kuat untuk memindahkan gaya dari satu dinding ke dinding lainnya. Struktur dinding berpasangan (coupled shearwall) adalah variasi bentuk lain dari dinding geser, yang terdiri dari dua atau lebih dinding geser dalam bidang yang sama, yang dihubungkan dengan menggunakan balok penghubung (coupling beams).

b. Fungsi dinding geser

Pada konstruksi bangunan hunian dan apartemen, dinding geser berpasangan sering digunakan karena antara dinding geser tersebut memberikan ruang untuk pintu, koridor, lift, atau bukaan jendela. Balok perangkai yang digunakan bukan untuk memikul beban di atasnya, tetapi untuk menghubungkan dua dinding geser yang berada dalam bidang yang sama, sehingga diharapkan dapat membentuk satu kesatuan. Akibatnya, dinding geser berperilaku seperti gabungan dari kantilever pada bidang masing-masing dan berdeformasi sejalan dengan sumbu dinding. Hal ini mengakibatkan kekakuan horisontal menjadi jauh lebih besar daripada dinding geser kantilever tunggal. Tujuan lain dari penggunaan balok perangkai adalah untuk menyalurkan pemancaran energi, sehingga tercapai penyebaran sendi-sendi plastis pada balok-balok perangkai. Selain itu, balok perangkai juga berfungsi

untuk mengalirkan gaya geser dari satu dinding ke dinding lainnya..

Fungsi Dinding Geser ada 2:

1) Kekuatan

- Dinding geser perlu memiliki kekuatan lateral yang memadai untuk melawan gaya gempa horizontal.
- Ketika dinding geser memiliki kekuatan yang cukup, mereka akan mengalihkan gaya horizontal ini ke elemen-elemen berikutnya dalam jalur beban di bawahnya, seperti dinding geser lainnya, lantai, dan pondasi dinding.

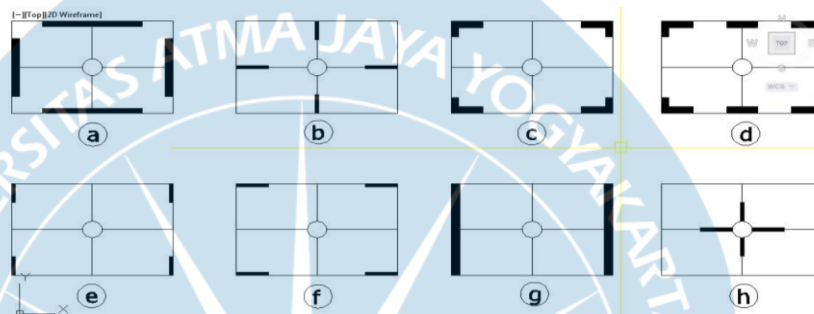
2) Kekakuan

- Dinding geser juga berperan dalam memberikan kekuatan lateral untuk mencegah atap atau lantai di atasnya agar tidak mengalami goyangan yang berlebihan.
- Bangunan yang memiliki kekakuan yang cukup biasanya akan mengalami kerusakan yang lebih sedikit pada elemen non-struktural.

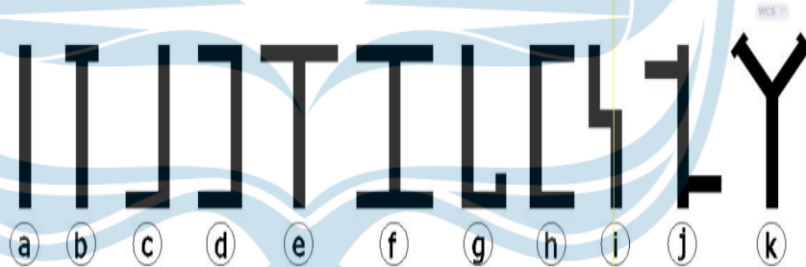
c. Dinding geser berdasarkan bentuk dan letak

Sistem dinding geser dapat diklasifikasikan menjadi sistem terbuka dan sistem tertutup. Sistem terbuka terdiri dari elemen linier tunggal atau kombinasi elemen yang tidak lengkap, membentuk pola asimetris. Contohnya termasuk pola L, X, T, V, Y, atau H. Sementara itu, sistem tertutup membentuk pola geometris yang melingkupi ruang, seperti persegi, segitiga, persegi panjang, atau lingkaran. Bentuk dan

penempatan dinding geser memiliki pengaruh signifikan terhadap perilaku struktural saat terkena beban lateral. Dinding geser yang ditempatkan secara asimetris terhadap bentuk bangunan akan menanggung momen torsi, selain momen lentur dan gaya geser langsung..



Gambar 2.15. Tata Letak Dinding Geser



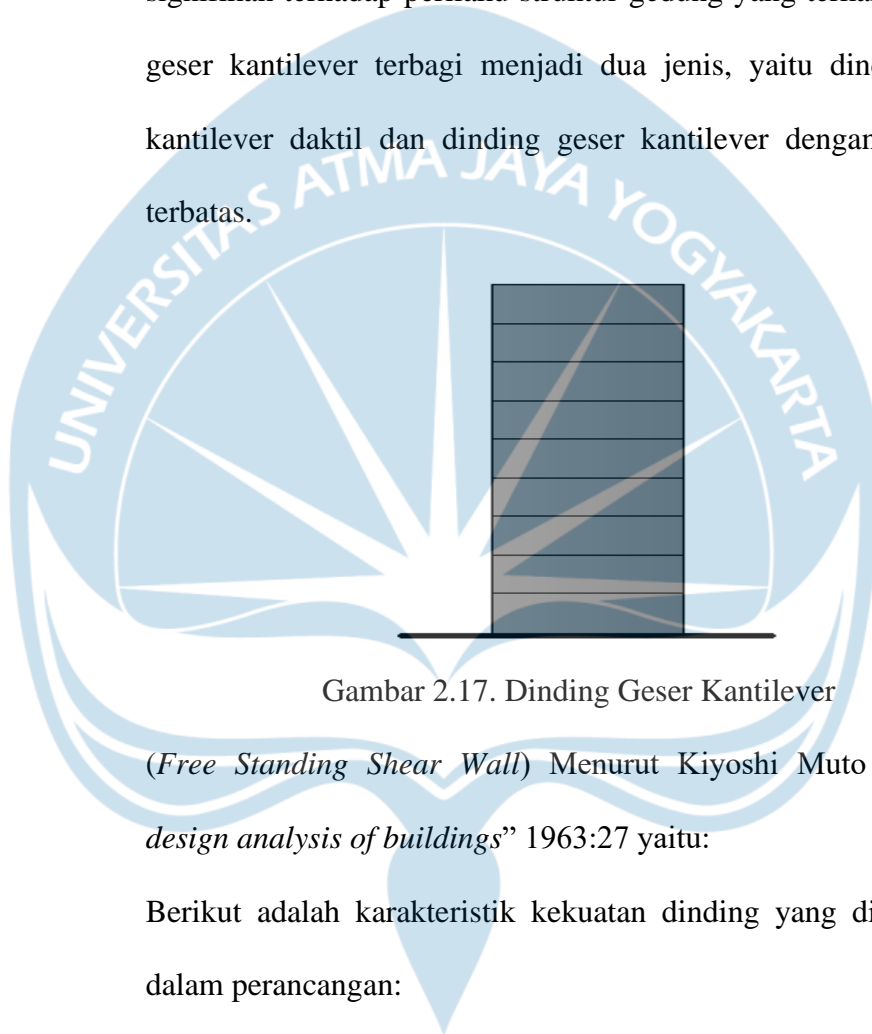
Gambar 2.16. Bentuk Dinding Geser

d. Jenis-jenis dinding geser

Dinding geser adalah elemen struktural vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Fungsi utamanya adalah untuk menahan beban lateral, seperti gaya gempa dan angin. Dinding geser dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan geometrinya, antara lain:

1) Dinding geser kantilever (*free standing shearwall*).

Dinding geser solid atau massif adalah jenis dinding geser yang tidak memiliki lubang atau celah, dan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku struktur gedung yang terkait. Dinding geser kantilever terbagi menjadi dua jenis, yaitu dinding geser kantilever daktil dan dinding geser kantilever dengan daktilitas terbatas.



Gambar 2.17. Dinding Geser Kantilever

(*Free Standing Shear Wall*) Menurut Kiyoshi Muto “*Aseismic design analysis of buildings*” 1963:27 yaitu:

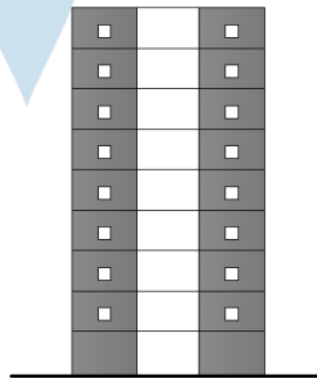
Berikut adalah karakteristik kekuatan dinding yang diperhatikan dalam perancangan:

- Dinding geser sebaiknya berlanjut hingga ke bagian atas bangunan.
- Untuk mendapatkan dinding geser yang kuat, perkuatlah balok keliling dan balok pondasi.

- Jika dinding di bagian atas dan bawah tidak berlanjut, gaya gempa yang ditahan oleh dinding harus dialirkan melalui lantai.

2) Dinding Geser dengan Bukaannya (*Opening Shear wall*)

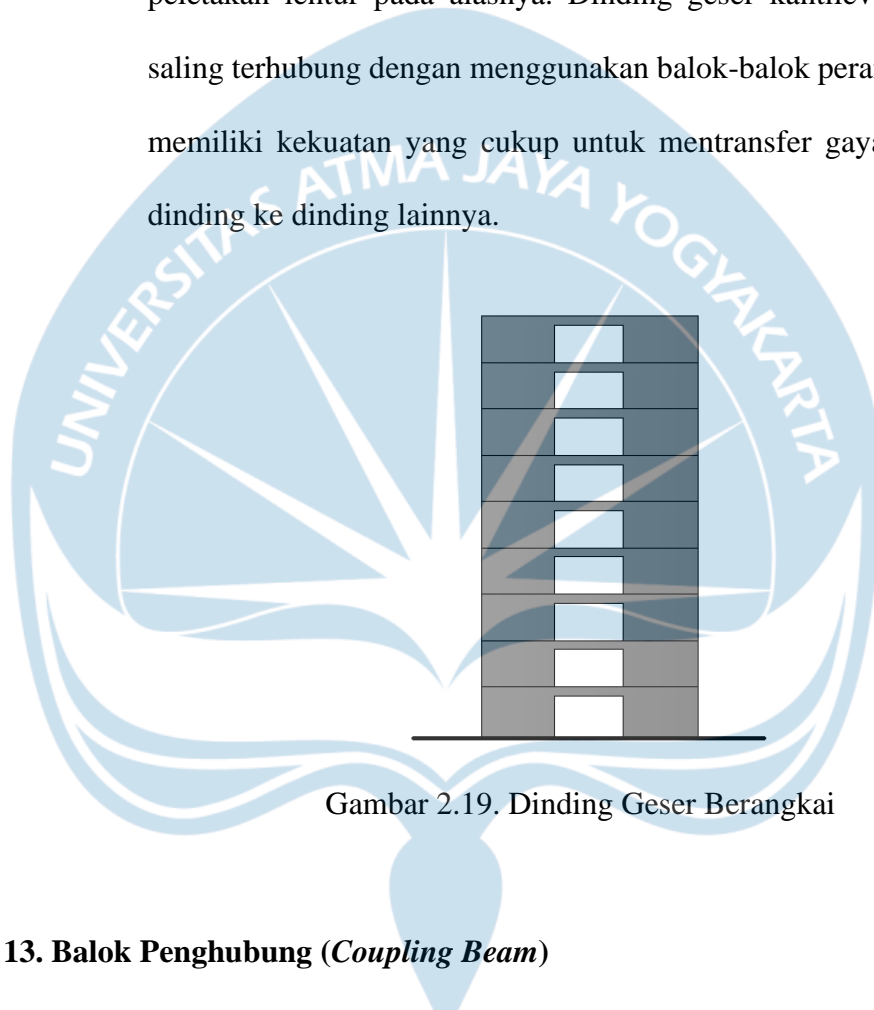
Dalam banyak kasus, dinding geser tidak dapat digunakan tanpa adanya beberapa bukaan di dalamnya, seperti jendela, pintu, dan saluran mekanikal dan elektrik. Meskipun demikian, kita dapat menempatkan bukaan-bukaan tersebut pada lokasi di mana mereka tidak terlalu mempengaruhi kekakuan atau tegangan pada dinding. Jika bukaan-bukaan tersebut kecil, pengaruhnya secara keseluruhan sangat kecil, tetapi hal tersebut berbeda jika bukaan-bukaan tersebut berukuran besar. Bukaan yang lebih kecil memiliki sedikit pengaruh pada kemampuan struktur dalam menahan gaya geser. Namun, perubahan tiba-tiba dari dinding ke kolom akibat bukaan yang besar secara signifikan mengurangi kekuatan lentur dari struktur penopang pada bagian dasar.



Gambar 2.18. Dinding Geser Dengan Bukaannya

3) Dinding geser berangkai (*coupled shearwall*).

Dinding geser berangkai adalah konstruksi yang terdiri dari dua atau lebih dinding kantilever yang mampu membentuk mekanisme peletakan lentur pada alasnya. Dinding geser kantilever tersebut saling terhubung dengan menggunakan balok-balok perangkai yang memiliki kekuatan yang cukup untuk mentransfer gaya dari satu dinding ke dinding lainnya.



Gambar 2.19. Dinding Geser Berangkai

13. Balok Penghubung (*Coupling Beam*)

Imran, Yuliari, Suhelda, dan Kristianto (2008:4) Dinding geser, sebagai elemen penahan gaya lateral, memiliki keunggulan utama dalam menyediakan kontinuitas vertikal dalam sistem struktur lateral gedung. Struktur gedung yang menggunakan dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral umumnya menunjukkan performa yang baik saat terjadi gempa. Hal ini terbukti dengan sedikitnya kegagalan yang terjadi pada sistem

struktur dinding geser selama kejadian gempa di masa lalu. Kerusakan yang umum terjadi akibat gempa biasanya berupa retakan, terutama pada dasar dinding dan bagian coupling beam, terutama pada sistem dinding berangkai.



Gambar 2.20. *Coupled Walls System Dengan Coupling Beam*

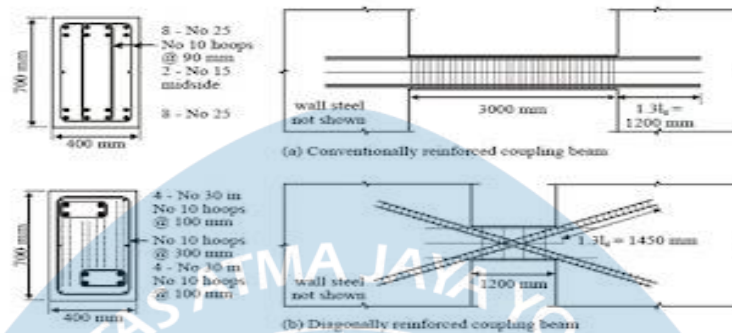
Perilaku batas yang terjadi pada dinding geser dapat digolongkan sebagai berikut (berdasarkan Pantazopolou dan Imran, 1992):

- Perilaku lentur (flexural behavior): Respons dinding terhadap gaya eksternal dibentuk oleh mekanisme kelelahan pada tulangan yang menahan beban lentur. Jenis keruntuhan ini umumnya bersifat daktil, di mana terjadi deformasi yang signifikan sebelum terjadinya keruntuhan.
- Perilaku lentur-geser (flexural-shear behavior): Kelelahan pada tulangan yang menahan beban lentur diikuti oleh kegagalan geser. Keruntuhan ini terjadi karena kombinasi gaya lentur dan geser pada dinding.

- Perilaku geser (shear behavior): Dinding mengalami keruntuhan akibat geser tanpa terjadi kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Perilaku ini dapat dibagi lagi menjadi keruntuhan geser tegangan diagonal (diagonal tension shear failure) yang dapat bersifat daktil karena keruntuhan terjadi pada baja tulangan, dan keruntuhan geser kompresi diagonal (diagonal compression shear failure) yang umumnya bersifat rapuh.
- Perilaku geser bergeser (sliding shear behavior): Pada beban siklik bolak-balik, terjadi geser bergeser karena adanya retakan lentur yang terbuka lebar di dasar dinding. Keruntuhan ini bersifat rapuh dan memiliki kinerja disipasi energi yang buruk.

Balok perangkai adalah elemen struktural yang menghubungkan dua dinding geser berangkai (sistem dinding berpasangan). Fungsi balok perangkai adalah menjadikan dinding geser berangkai bekerja sebagai satu kesatuan dalam menahan gaya gempa. Balok ini memberikan kekakuan tambahan pada struktur dan mampu mendisipasi energi. Dalam lingkup internasional, balok perangkai juga dikenal dengan istilah coupling beam atau spandrel beam. Kekakuan yang tinggi pada balok perangkai membuat dinding geser berperilaku seperti dua kantilever independen. Balok perangkai mengalirkan gaya geser dari satu dinding ke dinding lainnya, menyebabkan terjadinya deformasi yang signifikan pada struktur. Pada

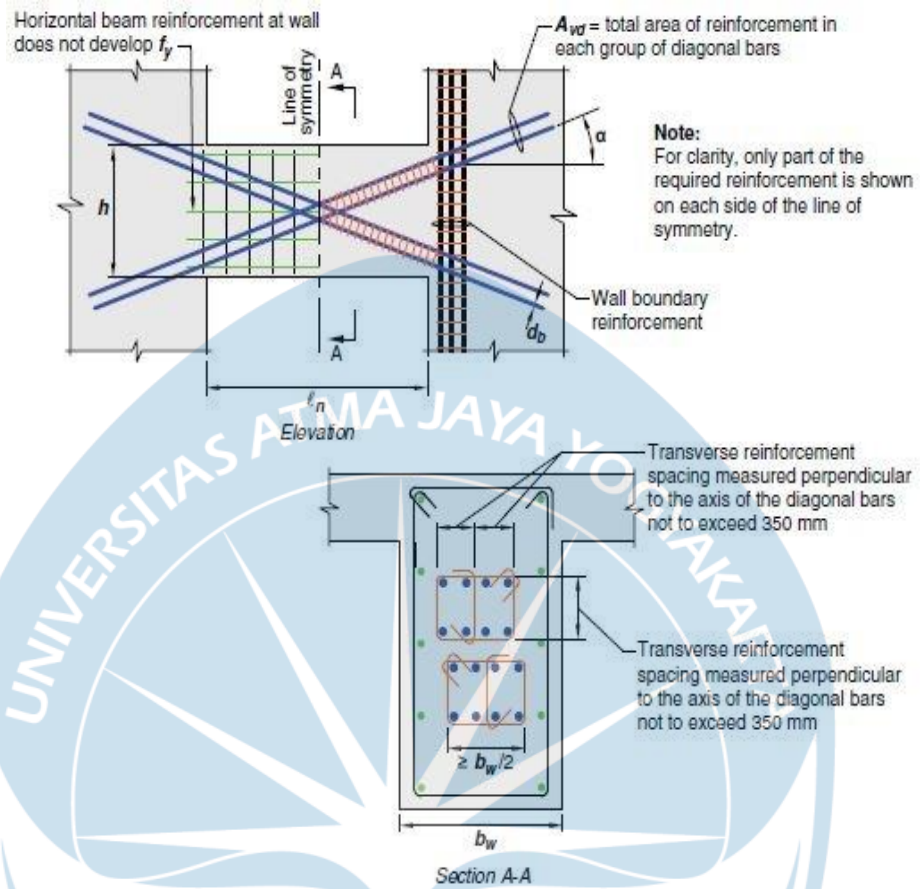
umumnya, balok perangkai dirancang dengan tulangan yang serupa dengan balok lainnya.



Gambar 2.21. Perbandingan Antara Tulangan Konvensional Dan Diagonal.

konvensional. Namun Robert Park dan Thomas Paulay (*Reinforced Concrete Structures*, 1975) Dalam penelitian yang dilakukan, ditemukan bahwa tulangan diagonal dapat lebih efektif dalam menyalurkan gaya geser dibandingkan dengan tulangan konvensional.

Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), terdapat jenis sengkang individual yang diterapkan pada tulangan diagonal, sedangkan sengkang pada tulangan transversal dan longitudinal dipasang dengan jarak yang lebih lebar. Sementara itu, dalam peraturan ACI (*American Concrete Institute*), terdapat dua alternatif yaitu sengkang individual atau sengkang global. Pada sengkang global, tulangan transversal dan longitudinal dipasang dengan rapat tanpa memasang sengkang pada tulangan diagonal.



Gambar 2.22. Tulangan Diagonal dan Pot. A-A