

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dinding merupakan salah satu bagian penting dalam sebuah bangunan. Dinding yang paling populer yaitu menggunakan bata, semen, dan pasir. Sebagian besar Gedung menggunakan bata sebagai bahan dasar dinding pengisi bangunan. Gedung dapat diklasifikasi menjadi enam jenis yaitu gedung bertingkat rendah, bertingkat banyak, gedung bertingkat sedang, gedung kecil bertingkat tinggi, gedung bertingkat tinggi, dan gedung bertingkat sangat tinggi He et al. (2019). Dinding pengisi sering digunakan sebagai partisi pemisah bagian dalam atau penutup luar bangunan pada struktur beton bertulang maupun struktur baja, khususnya untuk bangunan rendah dan bertingkat sedang. Dalam perencanaan struktur gedung, dinding pengisi dianggap sebagai komponen non-struktur, oleh karena itu pada umumnya struktur didesain sebagai rangka terbuka dengan dinding pengisi yang hanya dianggap sebagai beban merata. Meskipun dinding pengisi sebagai komponen non-struktur, dinding pengisi memiliki kecenderungan berinteraksi dengan portal yang ditempatinya terutama bila terjadi beban horizontal yang besar, Dewobroto (2005).

Dinding yang memiliki luas besar akan memiliki inersia yang cukup besar sehingga membuat struktur menjadi lebih kaku. Meskipun tidak membantu secara signifikan dibandingkan dengan tipe perkuatan lainnya seperti dinding geser, penambahan bresing dan pembesaran dimensi struktur, tapi peran dinding sangat membantu untuk mengurangi atau memperlambat proses keruntuhan akibat beban-

beban gravitasi maupun lateral. Dinding pengisi memiliki perilaku untuk membuat struktur menjadi lebih kaku dan menambahkan kekuatan. Perilaku dinding pengisi sering diasumsikan sebagai strat. Gaya tekan yang ditimbulkan dinding akan diterima oleh struktur utama sehingga membantu kerja struktur menerima beban. Strat dinding pengisi umumnya akan membuat struktur baja menjadi lebih kaku dari struktur rangka terbuka, Giri et al. (2016).

Kinerja struktur perlu diketahui dan bermanfaat bagi perencana dan pemilik bangunan untuk mengetahui ketahanan terhadap beban-beban yang bekerja. Kinerja struktur dilihat dari kemampuan struktur tersebut menerima gaya gempa yang kuat. Struktur diharapkan mampu mendistribusikan gaya-gaya dalam ke seluruh elemen-elemen strukturnya sehingga gaya-gaya dalam tersebut tidak terfokus di beberapa elemen stuktur saja. Struktur dengan kinerja yang baik masih memiliki kemampuan untuk bertahan dari gempa meskipun sudah mencapai ambang keruntuhan. Untuk mengetahui kinerja struktur yang menerima beban gempa dapat dilakukan evaluasi kinerja struktur dengan analisis *statik non-linier Pushover*, Tubuh et al. (2014).

Kegagalan struktur dengan dinding pengisi sering terjadi akibat kegagalan geser pada struktur ataupun dinding pengisi. Selain itu jenis kegagalan lain yang terjadi pada struktur portal dengan dinding pengisi adalah kegagalan tekan pada bagian pojok atas dinding dan kegagalan Tarik pada kolom struktur bagian bawah, Smith & Coull (1991). Selain itu variasi penempatan dinding pengisi juga mempengaruhi kegagalan struktur. Struktur rangka terbuka yang direncanakan dapat berperilaku sebagai rangka daktail saat dipengaruhi oleh beban gempa, namun akibat adanya

dinding pengisi yang tidak merata pada struktur rangka tersebut dapat menjadi struktur yang memiliki mekanisme keruntuhan (*Soft story*), Dewobroto (2005).

Sebagai salah satu upaya untuk mengetahui perilaku dan kinerja struktur baja yang berjudul Analisis Perilaku dan Kinerja Struktur Baja Dengan dan Tanpa Dinding Pengisi. Maka penelitian ini sangat perlu dilakukan untuk membandingkan perilaku dan kinerja struktur baja rangka terbuka (RT), struktur baja dengan dinding pengisi penuh (RDPP), serta struktur baja dengan dinding pengisi berlubang (RDPB). Untuk dinding pengisi akan dimodelkan sebagai model strut diagonal dan model shell element. Bangunan gedung yang dianalisis merupakan suatu bangunan gedung bertingkat rendah dan bertingkat sedang yang direncanakan oleh penulis sebagai bahan analisis yang diperuntukan sebagai gedung perkantoran dengan tinggi 3 dan 5 lantai. Penelitian ini dimulai dari bulan Maret hingga bulan Agustus 2022 yang diawali dengan pengumpulan data-data melalui studi literatur hingga ke tahap akhir yaitu evaluasi perilaku dan kinerja struktur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, berikut merupakan rumusan masalah yang diambil oleh penulis yaitu:

1. Bagaimana perbandingan perilaku struktur baja rangka terbuka (RT), struktur baja dengan dinding pengisi penuh (RDPP), dan struktur baja dengan dinding pengisi berlubang (RDPB) akibat pengaruh beban gempa?
2. Bagaimana kinerja struktur baja rangka terbuka (RT), struktur baja dengan dinding pengisi penuh (RDPP), dan struktur baja dengan dinding pengisi berlubang (RDPB) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui perbandingan perilaku struktur baja rangka terbuka (RT), struktur baja dengan dinding pengisi penuh (RDPP), dan struktur baja dengan dinding pengisi berlubang (RDPB) akibat beban gempa.
2. Untuk mengetahui bagaimana kinerja struktur baja rangka terbuka (RT), struktur baja dengan dinding pengisi penuh (RDPP), dan struktur baja dengan dinding pengisi berlubang (RDPB).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penulisan prosposal ini antara lain sebagai berikut:

1. Untuk menambah wawasan mengenai perbandingan perilaku struktur baja rangka terbuka (RT), struktur baja dengan dinding pengisi penuh (RDPP), dan struktur baja dengan dinding pengisi berlubang (RDPB)
2. Untuk menambah wawasan mengenai kinerja struktur baja rangka terbuka (RT), struktur baja dengan dinding pengisi penuh (RDPP), dan struktur baja dengan dinding pengisi berlubang (RDPB).

1.5 Batasan Masalah dan Ruang Lingkup Penelitian

Ada beberapa Batasan masalah yang diambil penulis yaitu sebagai berikut:

1. Tidak meninjau perhitungan struktur bawah (pondasi).
2. Asumsi perletakan struktur yaitu perletakan sendi.
3. Atap yang digunakan adalah atap dak/plat beton.
4. Tidak meninjau adanya void tangga pada gedung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan elemen penting di dalam dunia konstruksi saat ini. Baja memiliki kekuatan yang tinggi sehingga dapat mengurangi ukuran struktur. Baja juga memiliki sifat elastis dan daktilitas yang cukup tinggi sehingga dapat menerima tegangan tarik yang cukup besar. Kemudahan pengerjaan konstruksinya dan kemudahan penyambungan antar elemen yang satu dengan yang lainnya, menggunakan alat sambung las atau baut, menjadi pertimbangan tersendiri baja sering digunakan dalam pekerjaan konstruksi. Pembuatan baja melalui proses gilas panas mengakibatkan baja mudah dibentuk menjadi penampang-penampang yang diinginkan, juga menjadi salah satu keunggulan material baja, Setiawan (2008).

a. Baja karbon

Baja karbon dibagi menjadi 3 kategori tergantung dari presentasi kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah ($C = 0,03 - 0,035\%$), baja karbon medium ($C = 0,35 - 0,50\%$), dan baja karbon tinggi ($C = 0,55 - 1,70\%$).

Baja yang sering digunakan dalam struktur adalah baja karbon medium, misalnya BJ 37. Kandungan karbon baja medium bervariasi dari 0,25 – 0,29% tergantung ketebalan. Naiknya presentase karbon meningkatkan tegangan leleh namun menurunkan daktilitas, salah satu dampaknya adalah membuat pekerjaan las menjadi lebih sulit. Baja karbon umumnya memiliki tegangan leleh (f_y) antara 210 – 250 MPa.

b. Baja paduan rendah mutu tinggi

Baja yang termasuk dalam kategori baja paduan rendah mutu tinggi mempunyai tegangan leleh berkisar antara 290 – 550 Mpa dengan tegangan putus (f_u) antara 415 – 700 Mpa. Penambahan bahan-bahan paduan seperti chromium, columbium, angan, molybden, nikel, fosfor, vanadium atau zinkonium dapat memperbaiki sifat-sifat mekaniknya. Jika baja karbon mendapatkan kekuatannya seiring dengan penambahan presentase karbon, maka bahan-bahan aduan ini mampu memperbaiki sifat mekanik aja dengan membentuk mikrostruktur dalam bahan aja yang leih halus.

c. Baja paduan rendah dapat ditempa dan dipanaskan untuk memperoleh tegangan antara 550 – 70 MPa. Tegangan leleh dari baja paduan biasanya ditemukan sebagai tegangan yang terjadi saat timbul regangan permanen sebesar 0,2% atau dapat ditentukan sebagai tegangan pada saat regangan mencapai 0,5%.

Adapun baja konstruksi dibedakan dalam 3 jenis:

1) Baja konstruksi umum

Baja tersebut terdiri dari jenis baja karbon dan baja kualitas tinggi yang tidak dipadu. Penggunaan baja ini didasarkan atas pertimbangan tegangan tarik minimumnya yang cukup tinggi. Baja ini banyak digunakan pada konstruksi bangunan gedung jembatan, poros mesin dan roda gigi. Kekuatan tarik akan semakin besar bila kandungan karbon dari baja semakin tinggi. Akan tetapi dengan semakin tingginya kandungan karbon, baja akan menjadi rapuh.

Demikian pula kemampuan untuk dikerjakan secara panas maupun secara dingin.

2) Baja Otomat

Baja otomat terdiri atas jenis baja kualitas tinggi yang tidak dipadu dan baja kualitas tinggi paduan rendah dengan kadar belerang (S) dan fosfor (P) yang tinggi. Karena kandungan belerang dan fosfor yang cukup tinggi, baja otomat sangat tidak baik untuk pekerjaan las.

3) Baja *Case Hardening*

Baja *case hardening* diperoleh dengan menaruh baja lunak di antara bahan yang kayak dengan karbon, dan memanaskannya hingga di atas suhu kritis atasnya ($900^{\circ} - 950^{\circ}\text{C}$) dalam waktu yang cukup lama untuk mendapatkan lapisan permukaan yang banyak mengandung karbon.

2.1.2 Sifat Mekanis Baja

Menurut BSN (2002) tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. Berikut merupakan sifat-sifat mekanis dari baja struktural secara umum:

- 1) Modulus Elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$
- 2) Modulus Geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$
- 3) Angka Poison : $\mu = 0,3$
- 4) Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$

Berdasarkan tegangan leleh dan tegangan putus baja, mutu baja sebagai material baja struktural dibagi menjadi 5 kelas mutu yaitu:

Tabel 2. 1 Sifat-sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: BSN (2002)

2.1.2 Kelebihan Struktur Baja

Menurut Tampubolon (2021) tentang kelebihan struktur baja untuk bangunan gedung. Berikut merupakan kelebihan baja struktural secara umum:

1. Elastisitas

baja memiliki perilaku yang mendekati Hukum *Hooke* yaitu hukum atau ketentuan mengenai gaya dalam bidang ilmu fisika yang terjadi karena sifat elastisitas dari sebuah pegas. Sehingga gaya elastisitasnya dapat di ketahui serta momen inersia untuk penampang baja dapat di tentukan dengan pasti dibandingkan dengan penampang beton bertulang.

2. Memiliki kekuatan tinggi

Kekuatan yang tinggi dari baja mempunyai konsekuensi bahwa beban mati akan kecil.

3. Memiliki sifat yang seragam

Karena baja adalah material buatan pabrik, sehingga baja memiliki sifat yang seragam sesuai dengan standar mutunya. Serta baja tidak banyak mengalami perubahan terhadap waktu, tidak seperti halnya struktur beton bertulang.

4. Memiliki sifat daktilitas

Sifat daktilitas adalah sifat material untuk menahan deformasi yang besar tanpa menyebabkan keruntuhan terhadap beban Tarik.

5. Bersifat permanen

Dimana portal baja yang mendapat perawatan secara berkala maka baja tersebut akan memiliki umur yang Panjang.

2.1.3 Kekurangan Struktur Baja

Menurut Tampubolon (2021) tentang kekurangan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. Berikut merupakan kekurangan baja struktural secara umum:

1. Rentan terhadap tekuk

Elemen tekan baja yang bekerja secara langsung sehingga baja rentan mengalami tekuk (*buckling*). Jadi meskipun memiliki kekuatan yang besar, baja bukan material yang bagus untuk pembuatan kolom, sehingga dibutuhkan material tambahan yang berfungsi sebagai penopang baja agar tidak mengalami *buckling*.

2. Biaya yang tinggi

Pembangunan menggunakan struktur baja membutuhkan biaya yang tidak sedikit, selain itu biaya untuk perawatan struktur baja juga memakan biaya yang tidak sedikit pula. Pada dasarnya baja rentan terhadap udara dan air yang dapat menyebabkan korosi sehingga perlu dicat secara berkala. Selain itu karena baja termasuk konduktor panas yang baik, baja dapat memicu terjadinya kebakaran pada material sekitarnya.

3. Keruntuhan getas

Pada kondisi tertentu baja akan kehilangan daktilitasnya dan keruntuhan getas dapat terjadi pada tempat dengan konsentrasi tegangan tinggi.

4. Lemah terhadap beban siklis

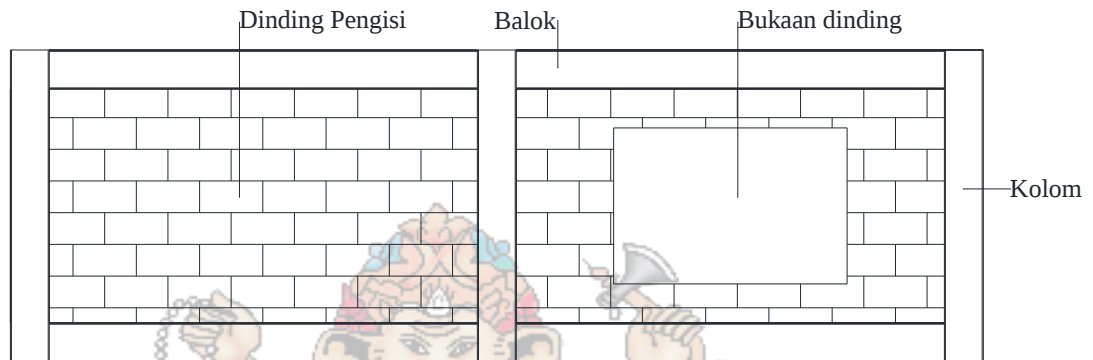
Kekuatan baja seiring waktu akan mengalami penurunan secara signifikan apabila dikenai beban siklis terus-menerus. Untuk mengatasi dampak dari beban siklis, baja perlu dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi kekuatannya setiap kali akan timbul beban siklis.

2.2 Dinding Pengisi

2.2.1 Definisi Dinding Pengisi

RDP (Rangka dinding pengisi) ialah struktur yang terdiri atas kolom dan balok berbahan baja atau beton bertulang dengan dinding pengisi berbahan batu bata ataupun batako. Rangka dengan dinding pengisi memiliki dua model yaitu rangka dinding pengisi yang terdapat lubang ditengahnya dan model dinding pengisi penuh tanpa ada bukaan. Dinding pengisi dengan bukaan dan tanpa bukaan dimodel dengan metode yang sama tetapi pada model dinding yang terdapat bukaan

mengalami reduksi pada lebar stratnya. Reduksi lebar strat tergantung persentase lebar bukaan yang digunakan. Besar bukaan yang digunakan akan menjadi patokan besar nilai reduksi yang digunakan, Giri et al. (2016).



Gambar 2. 1 Rangka Dengan Dinding Pengisi

Perilaku struktur rangka akibat adanya dinding pengisi tentu berbeda dengan struktur rangka tanpa dinding pengisi. Perilaku seperti deformasi dan gaya-gaya dalam pada struktur akan diterima pula oleh dinding pengisi yang berarti dinding pengisi akan mendistribusikan gaya-gaya yang ada pada struktur sampai pada batas kemampuannya. Adanya kontak antara dinding dan struktur yang mengelilinginya dan perilaku struktur ketika mendapat beban lateral mengakibatkan dinding pengisi mengalami pola keruntuhan tertentu. Keruntuhan yang terjadi pada dinding salah satunya terjadi pada bagian sudut-sudutnya. Ketika menerima beban lateral, struktur rangka akan menekan dinding bagian ujung, sementara dinding akan menahan gaya tersebut. Konsep inilah yang menjadi dasar untuk memodelkan dinding pengisi sebagai sebuah strat diagonal.

2.2.2 Karakteristik Pasangan Dinding Bata

Karakteristik dari pasangan dinding bata yaitu:

1. Modulus Elastisitas

FEMA-356 merekomendasikan hubungan antara modulus elastisitas (E_m) dengan kuat tekan pasangan dinding bata (f'_m) sebagai berikut:

$$E_m = 550 f'_m \quad (2.1)$$

2. Kuat geser

Menurut grinn (1975), nilai untuk kuat geser dari pasangan dinding bata (τ) berkisar antara 410 kN/m² sampai 4690 kN/m².

3. Kuat Tarik diagonal

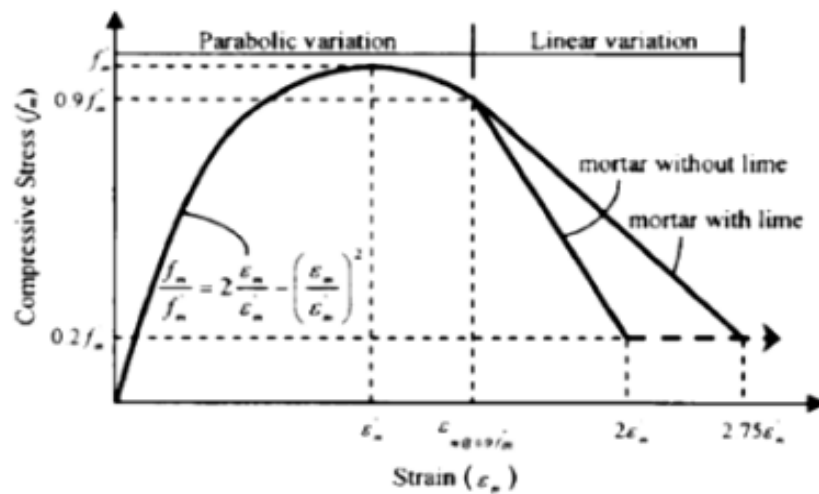
Persamaan untuk memperkirakan kuat Tarik diagonal dari pasangan dinding bata (f_{at}) dalam satuan psi Grinn (1975):

$$f_{at} = k \sqrt{f'_m} \quad (2.2)$$

Dengan k adalah faktor konstanta yang nilainya berkisar antara 2,5 sampai 4,5.

4. Hubungan tegangan-regangan

Hubungan tegangan-regangan parametrik pasangan dinding bata Kaushik et al. (2007), seperti pada gambar dibawah:



Gambar 2. 2 Kurva tegangan-regangan pasangan dinding bata

Sumber: Kaushik et al. (2007)

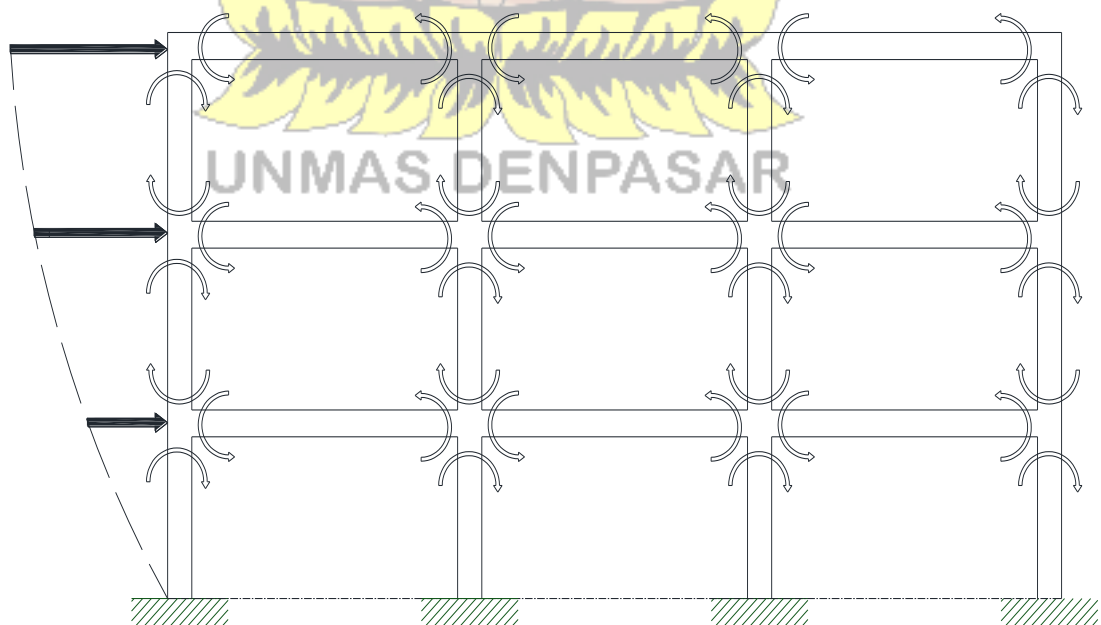
2.2.3 Perilaku Rangka Dengan Dinding Pengisi

Dinding pengisi pada struktur rangka sering dianggap sebagai komponen nonstruktur dan hanya berfungsi sebagai penutup rangka. Meskipun dianggap sebagai komponen nonstruktur, keberadaan dinding pengisi mempunyai kecenderungan berinteraksi dengan rangka yang ditempatinya terutama apabila terjadi gempa. Dinding pengisi memberikan sumbangan besar terhadap kekakuan dan kekuatan struktur sehingga perilaku keruntuhannya berbeda dibandingkan dengan rangka terbuka, Dewobroto (2005).

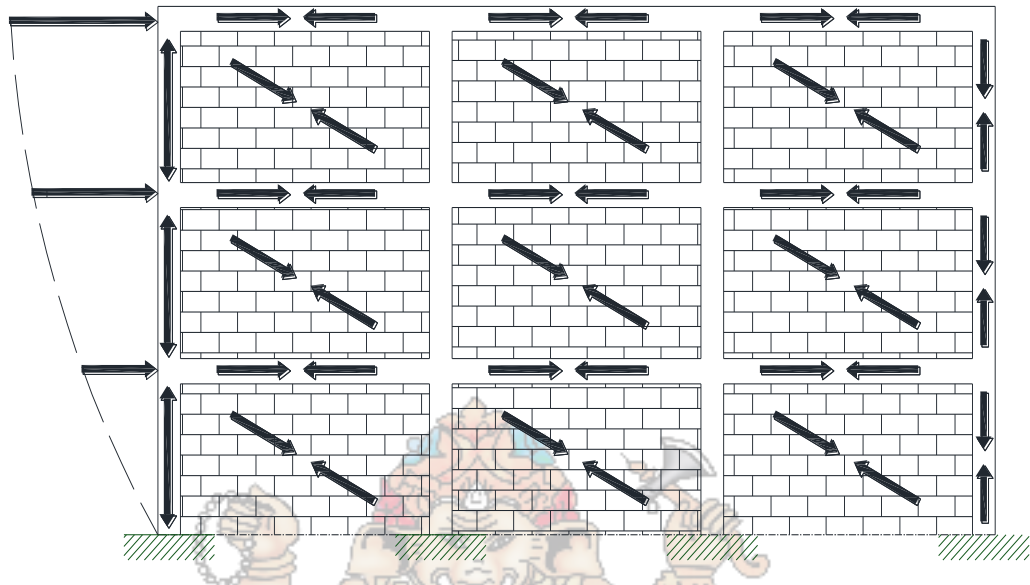
Dinding pengisi dari bata berperilaku seperti batang diagonal tekan dan menambah kekakuan pada struktur rangka beton bertulang maupun struktur rangka baja pada suatu bangunan. Penambahan kekakuan tergantung dari ketebalan dinding, kuat tekan dinding dan kuat tekan mortar berserta jumlah panel struktur rangka yang mempunyai dinding bata pengisi. Penambahan kekakuan pada bangunan yang diakibatkan oleh adanya dinding pengisi akan mengurangi

kemampuan struktur rangka untuk melentur dan berdeformasi. Pada struktur rangka daktail beton bertulang, dinding pengisi dari bata akan menghalangi elemen utama struktur (seperti kolom dan balok) untuk berperilaku daktail, sebaliknya beberapa struktur memperlihatkan perilaku yang getas (tidak daktail). Ini akan mencapai puncaknya dalam suatu keruntuhan yang tiba-tiba dan sangat dramatis. Bagaimanapun, sebagian besar bangunan berstruktur rangka beton bertulang maupun struktur baja dengan dinding pengisi dari bata tidak didesain untuk memperhitungkan pengaruh perilaku dinding bata, Murty et al. (2009).

Kegagalan struktur pada dinding pengisi sering terjadi akibat kegagalan geser pada rangka ataupun dinding. Selain itu jenis kegagalan lain yang terjadi pada struktur portal dengan dinding pengisi adalah kegagalan tekan bagian pojok atas dinding dan kegagalan tarik yang terjadi pada kolom struktur bagian bawah, Smith and Coull (1991).



Gambar 2. 3 Struktur Rangka Terbuka



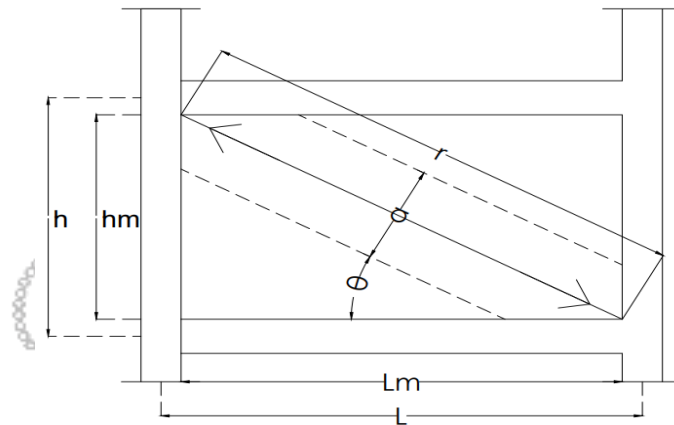
Gambar 2. 4 Struktur Rangka Dengan Dinding Pengisi

Interaksi struktur rangka terbuka dapat dilihat pada gambar 2.3. Struktur rangka terbuka akan mengalami reaksi lentur pada bagian kolom dan baloknya. Sedangkan interaksi dinding pengisi pada struktur rangka dapat dilihat pada gambar 2.4. Struktur dengan dinding pengisi pada bagian kolom dan lentur tidak mengalami kondisi lentur tetapi terjadi gaya aksial yang diterima oleh kolom maupun balok. Dinding sendiri mengalami gaya tekan diagonal akibat beban lateral yang terjadi.

2.3 Strut Diagonal

Dinding pengisi yang dimodel sebagai strut diagonal sudah lama diterapkan dan sudah banyak referensi terkait hal tersebut. Dinding pengisi diasumsikan menerima gaya dari struktur rangka sekelilingnya yang telah menerima gaya lateral sehingga dinding mengalami gaya tekan, gaya geser, lentur dan gaya yang menyebabkan guling. Gaya yang diberikan oleh struktur rangka tersebut akan ditahan oleh dinding secara diagonal. Perumpamaan tersebut yang menjadi dasar

untuk memodel dinding pengisi sebagai strat. Strat dalam desainnya juga hanya mampu menerima gaya aksial tekan atau tidak menerima gaya tarik. Asumsinya bahwa dinding pengisi tersusun atas material yang tidak homogen sehingga kuat tarik yang dimiliki material ini diabaikan.



Gambar 2. 5 Model Dinding Pengisi Sebagai Strut Diagonal

Sumber: (FEMA-356, 2000)

Perumusan untuk lebar strut diagonal sudah banyak berkembang, salah satunya FEMA 356 (2000) menetapkan untuk persamaan lebar strat diagonal sebagai berikut:

$$a = 0,175(\lambda_1 h)^{-0.4} r \quad (2.3)$$

Dimana λ_1 adalah:

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_m t_m \sin 2 \theta}{4 E_c I_c h_m} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.4)$$

dengan a adalah lebar strut diagonal, r adalah panjang strut, E_m adalah modulus elastisitas dinding pengisi, E_c adalah modulus elastisitas beton, I_c adalah momen inersia kolom, t_m adalah tebal dinding dan tebal strat, h adalah tinggi kolom di

antara as balok, h_m adalah tinggi dinding pengisi, dan θ adalah sudut yang dibentuk oleh strat diagonal.

Selain berdasarkan FEMA 356 lebar strat diagonal untuk dinding penuh juga dibahas dengan persamaan Paulay & Priestley (1992) dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{ds} = \frac{d}{4} \quad (2.5)$$

2.4 Elemen Shell

Elemen shell adalah tipe dari obyek area yang digunakan untuk memodel perilaku membran, pelat, dan shell dalam bidang dan struktur tiga dimensi. Perbedaan dari tipe-tipe perilaku elemen shell adalah sebagai berikut, CSI (2016):

1. Membran

Elemen membran hanya dapat memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja sejajar dengan bidang (*in-plane*) dan momen drilling (momen yang bekerja dengan sumbu putar tegak lurus arah bidang). Elemen ini dapat digunakan jika ingin memodel suatu bidang tanpa memperhitungkan gaya tegak lurus bidang.

2. Pelat

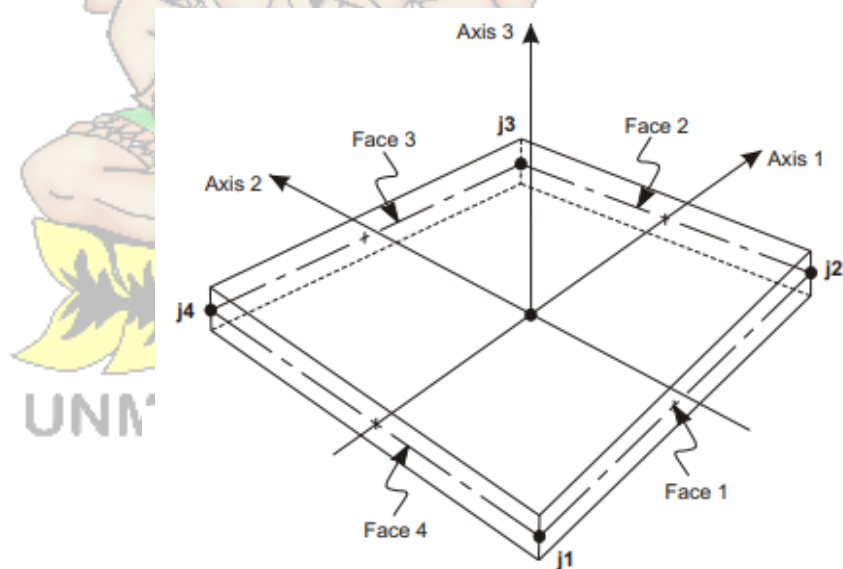
Elemen pelat merupakan kebalikan dari elemen membran, yaitu hanya dapat menerima gaya tegak lurus arah bidang (*out-of-plane*). Model pelat pondasi yang memiliki rasio ketebalan yang kecil dapat menggunakan elemen pelat ini.

3. Shell

Jika dibutuhkan suatu elemen dengan perilaku gabungan antara elemen membran dan elemen pelat, maka *elemen shell* merupakan pilihannya. *Elemen shell* memiliki kemampuan untuk menahan gaya searah maupun tegak lurus bidang.

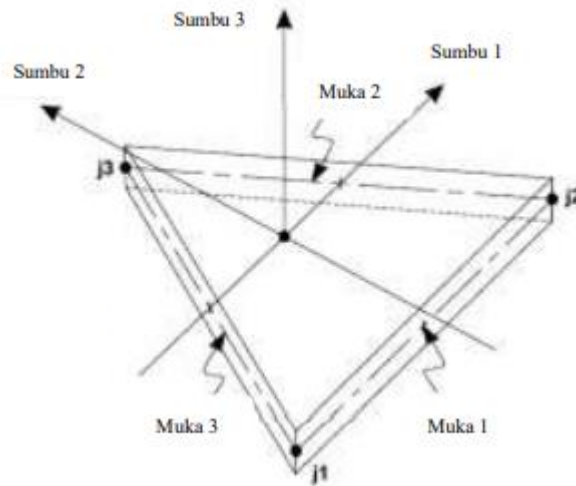
Bentuk bidang *elemen shell* berdasarkan pendekatan *finite element* model dapat dibagi menjadi dua:

- a. segiempat (*quadrilateral*), didefinisikan oleh 4 join j_1 , j_2 , j_3 , dan j_4 yang dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 *Element Shell* Segiempat
Sumber: (CSI, 2016)

- b. segitiga (*triangular*), didefinisikan oleh 3 join j_1 , j_2 dan j_3 yang ditunjukkan pada Gambar 2.7



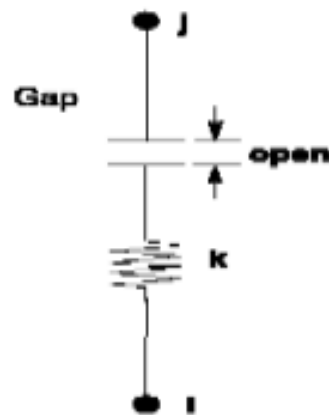
Gambar 2. 7 *Element Shell Segitiga*

Sumber: (CSI, 2016)

Formulasi *quadrilateral* lebih akurat dibandingkan *triangular* karena elemen *triangular* direkomendasikan hanya untuk lokasi dimana tegangan tidak berubah dengan cepat.

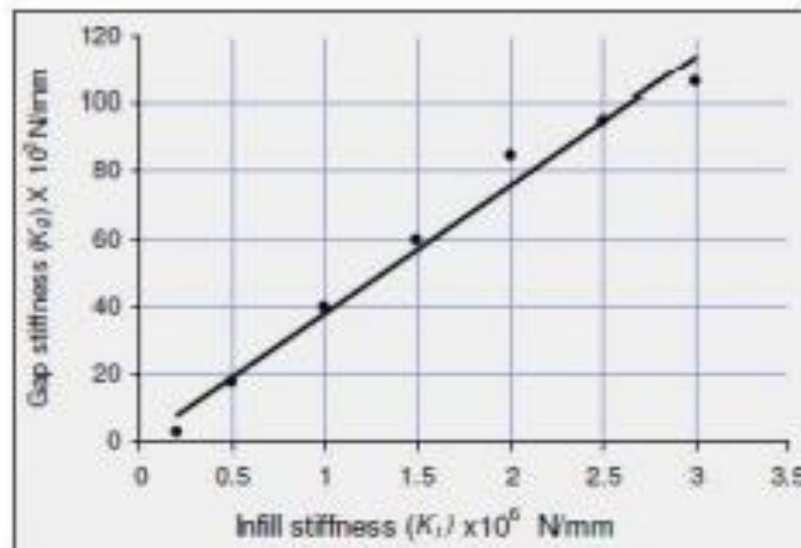
2.5 Elemen Gap

Elemen gap merupakan elemen yang menghubungkan dua material yang berbeda dengan tujuan untuk menyalurkan gaya yang berasal dari masing-masing material tersebut. Pada program SAP 2000 terdapat fitur *link element* atau elemen penghubung yang dapat digunakan sebagai elemen gap. Elemen ini bekerja dengan cara mengikat dua buah titik simpul dan dapat dilepas sesuai kondisi tertentu. Gambar 2.8 menunjukkan elemen gap dan komponennya, dengan i dan j sebagai simpul (titik ujung) dari elemen gap. Simpul atau titik ujung yang dimaksud nodal dari elemen frame dan nodal elemen shell sedangkan k merupakan nilai kekakuan dari elemen gap.



Gambar 2. 8 Elemen Gap
Sumber: CSI (2016)

Aplikasi elemen kontak ini pada dinding pengisi salah satunya dibahas dalam penelitian dari Dorji & Thambiratnam (2009). Pada penelitian tersebut dijelaskan tentang perbandingan kekakuan yang dimiliki oleh elemen gap dengan kekakuan dari dinding pengisi.



Gambar 2. 9 Grafik Hubungan Antara Kekakuan Dinding dan Kekakuan Gap
Sumber: Dorji & Thambiratnam (2009)

persamaan dari grafik yang terdapat pada gambar diatas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$K_g = 0.0378K_i + 347 \quad (2.6)$$

Dengan K_i

$$K_i = E_i t \quad (2.7)$$

Dimana K_g adalah kekakuan dari gap elemen dalam satuan N/mm, K_i adalah kekakuan dari dinding pengisi, E_i adalah modulus elastisitas dinding dan t adalah tebal dinding.

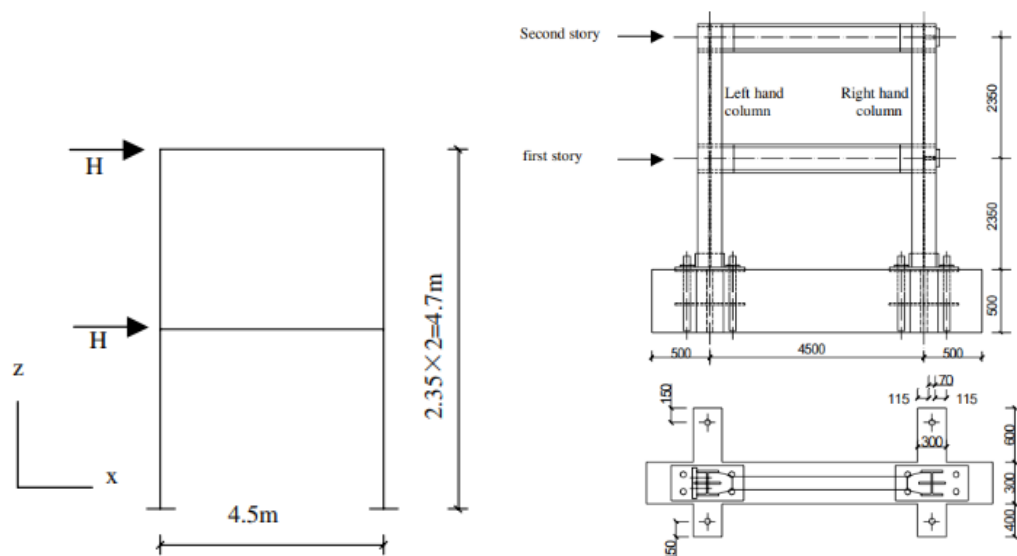
2.6 Penelitian terkait

2.6.1 Perilaku Rangka Baja Dengan dan Tanpa Dinding Pengisi Akibat

Beban Horizontal Statis dan Siklik

Penelitian Laboratorium yang dilakukan oleh Liu & Li (2004), dalam penelitiannya, terdapat dua model yang berupa penelitian dengan rangka terbuka (*Open Frame*) dan rangka dengan dinding pengisi. Elemen-elemen penyusunnya berupa bata ringan yang memiliki tebal 120 mm. penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan rangka baja dua dimensi yang terdiri dari dua tingkat. Rangka baja diberikan beban yang ditingkatkan secara bertahap sebesar 10 kN sampai rangka tersebut mengalami keruntuhan pada struktur utama.

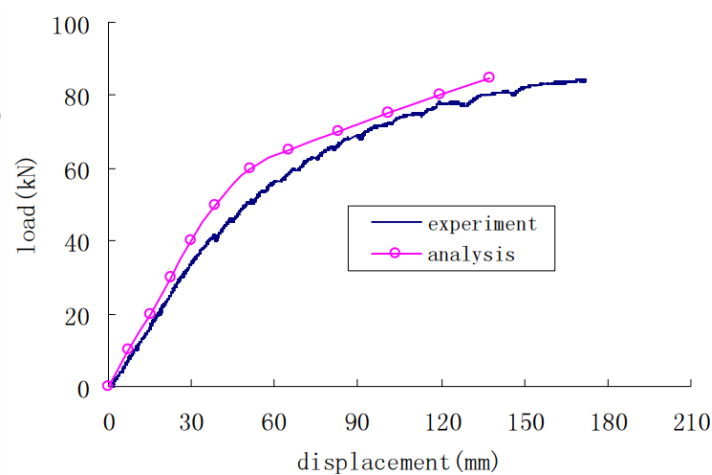
Geometri struktur rangka baja ditunjukkan pada gambar 2.10 Dimensi model Experimen. Dengan dimensi kolom menggunakan profil baja IWF 250.200.8.12 dan balok menggunakan profil baja IWF 300.120.6.12. Pasangan bata ringan yang memiliki dimensi sebesar 600x120x250 yang menjadi dinding pengisi specimen dengan ketinggian (H)= 2350 mm dan panjang (l) = 4500 mm



Gambar 2. 10 Dimensi Model Eksperimen

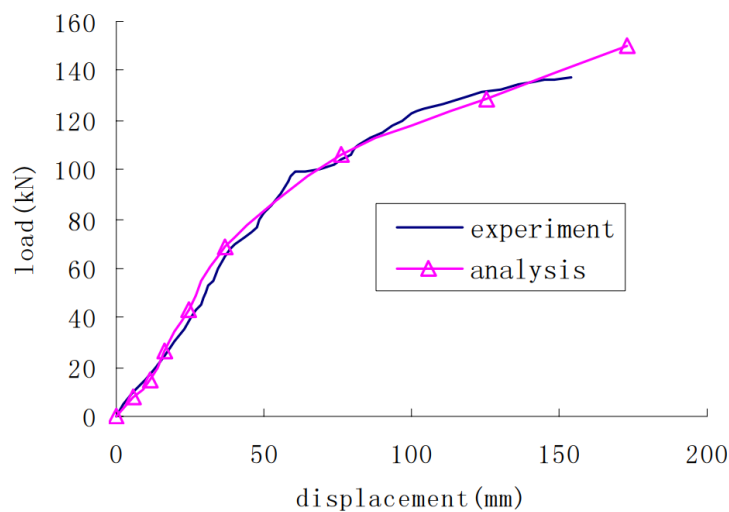
Sumber: Liu & Li (2004)

Hasil utama dari eksperimen laboratorium adalah grafik hubungan antara beban lateral dan perpindahan, selain itu ditampilkan pola kegagalan yang terjadi pada struktur, disajikan pada gambar berikut:



Gambar 2. 11 Grafik Hubungan Beban Horizontal Dengan Simpangan Rangka Terbuka

Sumber: Liu & Li (2004)



Gambar 2. 12 Grafik Hubungan Beban Horizontal Dengan Simpangan Rangka Dengan Dinding Pengisi
Sumber: Liu & Li (2004)

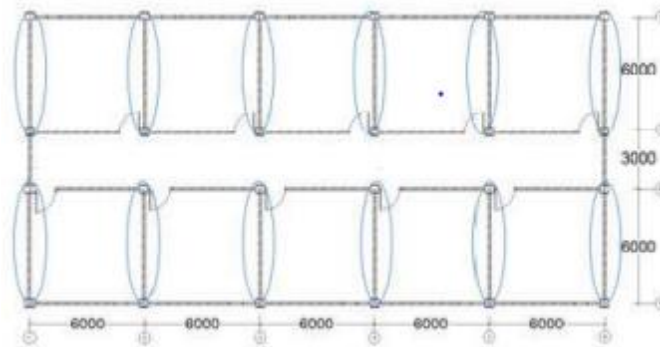
Berdasarkan hasil penelitian laboratorium tersebut disimpulkan bahwa terjadi retakan pada mortar dengan beban yang bekerja sebesar 40 kN. Kemudian pada beban yang bekerja sebesar 65 kN terjadi retakan pada elemen penyusun dinding pengisi. Dari hasil penelitian juga didapatkan bahwa perilaku rangka baja yang terdapat dinding pengisi memiliki struktur yang lebih kaku dari struktur rangka baja terbuka.

2.6.2 Perbandingan Perilaku Struktur Rangka Baja Dengan dan Tanpa

Dinding Pengisi.

Penelitian yang dilakukan oleh Giri et al. (2014), yaitu perbandingan perilaku struktur rangka baja dengan dan tanpa dinding pengisi. Dalam penelitiannya memodelkan 5 model struktur dengan menggunakan data-data material utama struktur adalah baja dengan mutu BJ41. Pemisah ruang menggunakan dinding pengisi dari pasangan batako yang memiliki kuat tekan 5,5 MPa dengan tebal 15

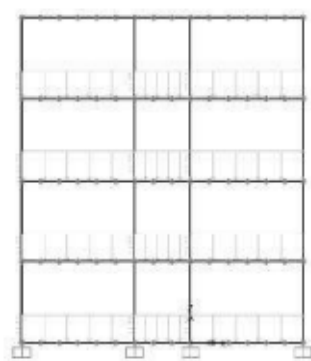
cm. Dinding yang dimodelkan adalah dinding permanen yang merupakan pembatas antar ruang.



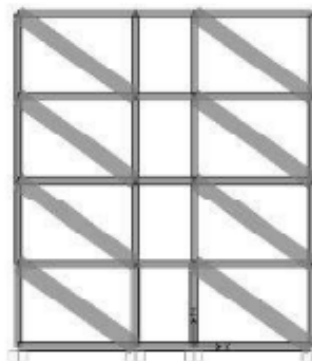
Gambar 2. 13 Denah Penempatan Dinding

Sumber: Giri et al. (2014)

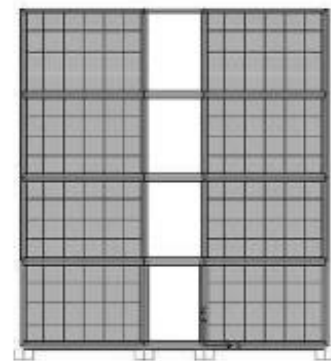
Analisis terhadap perbandingan perilaku struktur rangka baja dengan dan tanpa dinding pengisi dilakukan dengan memodel 5 struktur, yaitu: M1 Sistem Rangka *Open Frame*, M2A Sistem Rangka Dengan Dinding Penuh arah X yang dimodelkan dengan strut *diagonal ekivalen*, M2B Sistem Rangka Dengan Dinding Penuh arah X yang dimodel dengan *shell element*, M3A dengan lantai dasar gedung sebagai parkir tak berdinding, dinding pada lantai selanjutnya dimodelkan sebagai strut *diagonal ekivalen*, dan M3B dengan lantai dasar gedung sebagai parkir tak berdinding, dinding pada lantai selanjutnya dimodelkan sebagai *shell element*



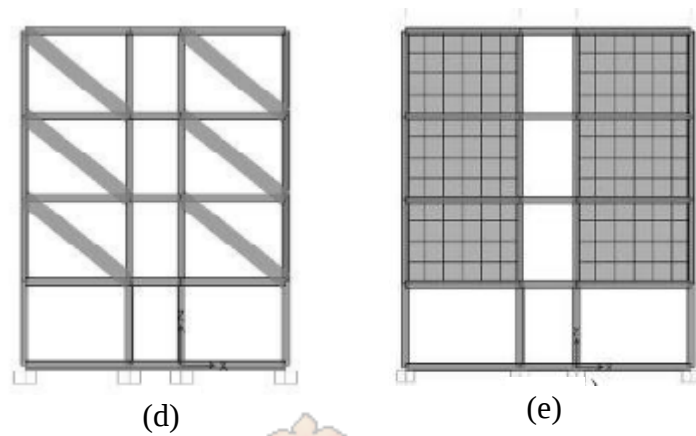
(a)



(b)



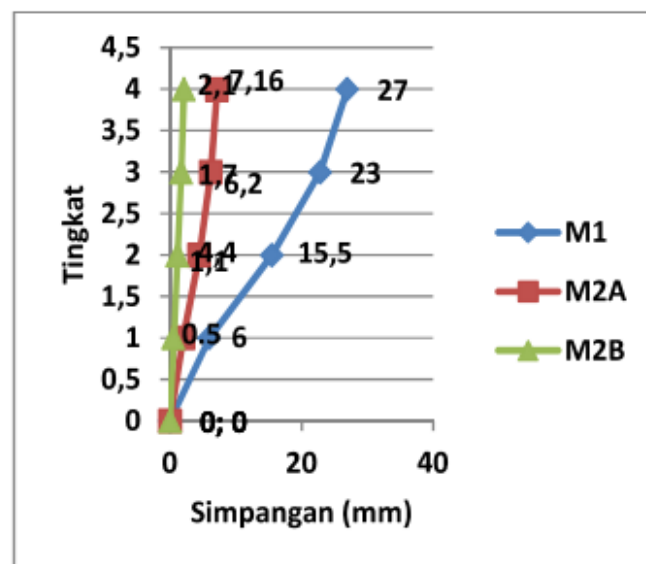
(c)



Gambar 2. 14 Model Analisis, (a) M1, (b) M2A, (c) M2B, (d) M3A, (e) M2B

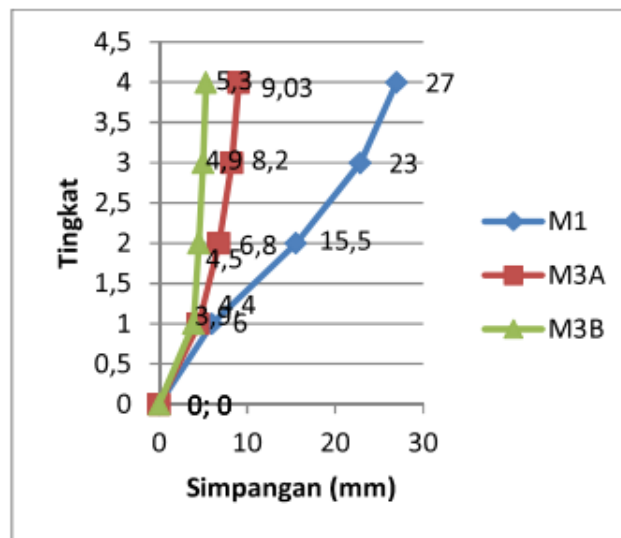
Sumber: Giri et al. (2014)

Hasil dari penelitian ini yaitu nilai perbandingan besar simpangan yang terjadi pada setiap model yang ditunjukkan berupa grafik simpangan sebagai berikut:



Gambar 2. 15 Simpangan Arah X M1 dan M2

Sumber: Giri et al. (2014)



Gambar 2. 16 Simpangan Arah X M1 dan M3
Sumber: Giri et al. (2014)

Berdasarkan grafik pada Gambar 2.15 dan 2.16 M1 memiliki simpangan puncak yang paling besar yaitu 26,98 mm. M2A dengan dinding yang dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen mengalami simpangan puncak sebesar 7,16 mm atau 3,76 kali lebih kecil daripada M1, sementara M2B dengan dinding yang dimodelkan sebagai shell element mengalami simpangan puncak sebesar 2,1 mm atau 12,71 kali lebih kecil dari pada M1. M3A yang merupakan struktur gedung hotel dengan lantai dasar sebagai areal parkir tak berdinding dan dinding lantai 2 sampai lantai 4 dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen mengalami simpangan puncak sebesar 9,02 mm atau 3 kali lebih kecil daripada M1, M3B mengalami simpangan puncak sebesar 5,32 mm atau 5,07 kali lebih kecil dari M1. Berdasarkan analisa terhadap rasio simpangan antar tingkat terjadi mekanisme soft storey pada lantai 1 M3A dan M3B. Nilai Drift ratio pada lantai 1 M1, M2A, M2B, M3A, M3B berturut-turut sebagai berikut 62,74%, 81,39%, 191,12%, dan 650,015%.

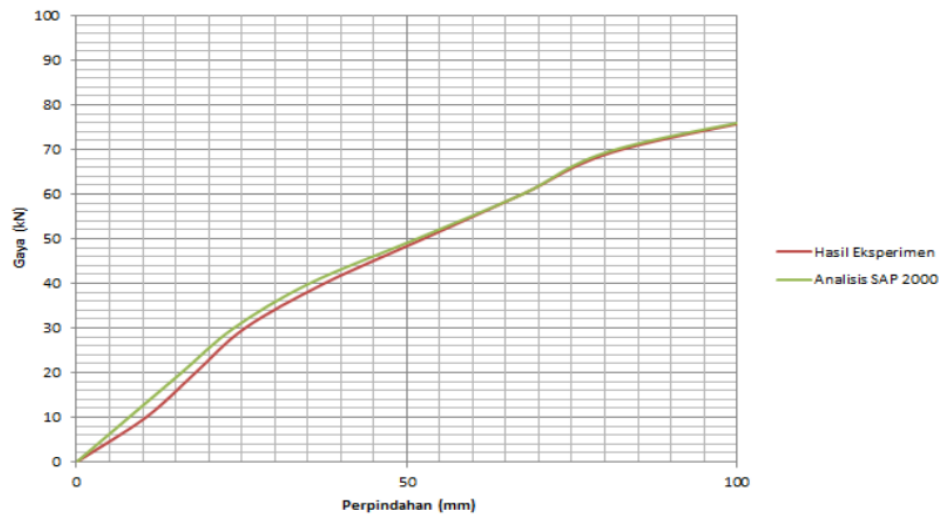
2.6.3 Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Baja Dengan Dinding Pengisi dan Tanpa Dinding Pengisi.

Giri et al. (2016) melakukan penelitian perilaku dan kinerja struktur rangka baja dengan dinding pengisi dan tanpa dinding pengisi. Dalam penelitiannya menggunakan aplikasi SAP2000 v17 dengan model *open frame* sebagai acuan perbandingan. Penelitian struktur dilakukan pada model dinding pengisi penuh tanpa meninjau adanya bukaan. Kinerja struktur dinding pengisi dilakukan pada model *strut diagonal*.

Beban yang bekerja pada struktur adalah berat sendiri struktur yang dihitung secara otomatis oleh program SAP200, beban mati tambahan sebesar 160 kg/m² serta beban hidup sebesar 250 kg/m² pada lantai, dan 100 kg/m² beban hidup pada atap. Beban gempa direncanakan dengan *metode auto load* menggunakan *IBC 2009* yang parameternya sudah disesuaikan dengan SNI 1726:2012, sesuai daerah Bali Selatan dengan jenis tanah sedang (kelas situs D).

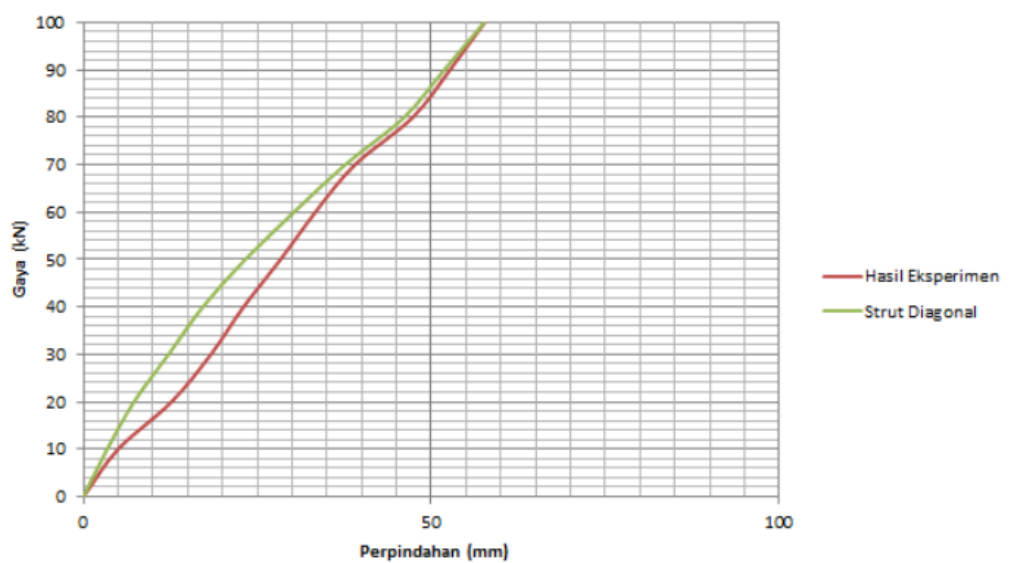
Analisis dilakukan dengan memodel 3 struktur, yaitu: model 1 Model *Open Frame (MOF)*, model 2 Model *Strut Diagonal (MSD)*, dan model 3 Model *Shell Elemen (MSE)*. Ketiga model struktur dibebani dan dirancang berdasarkan pedoman perencanaan SNI 03-2847-2002 (Beton) dan SNI 03-1729-2015 (Baja).

Hasil dari penelitian ini yaitu nilai simpangan, gaya-gaya dalam yang bekerja dan grafik *pushover* yang terjadi pada setiap model yang ditunjukkan sebagai berikut:



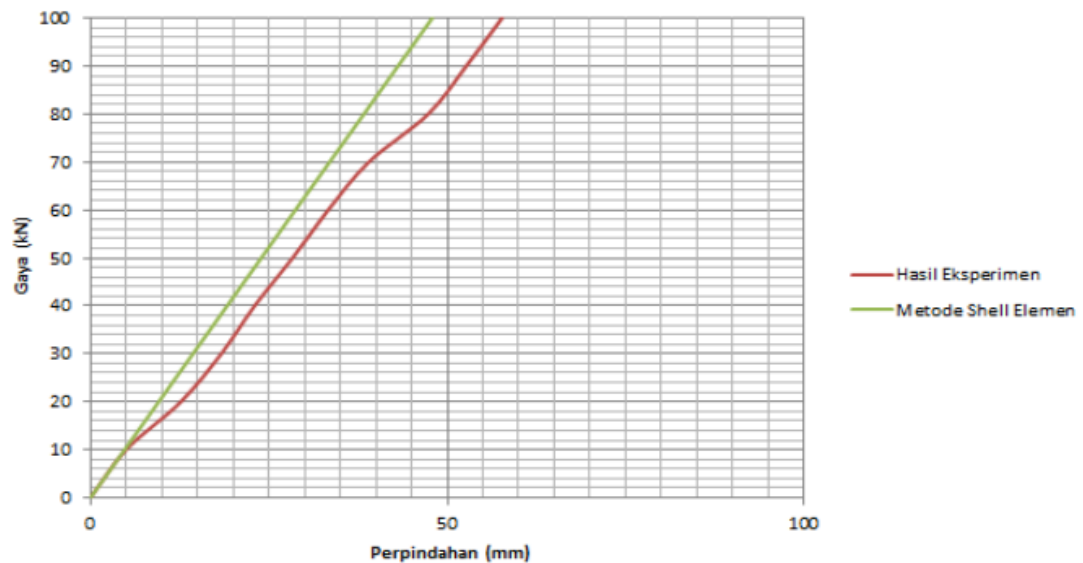
Gambar 2. 17 Kurva Gaya Lateral dan perpindahan Model MOF

Sumber: Giri et al. (2016)



Gambar 2. 18 Kurva Gaya Lateral dan Perpindahan Model MSD

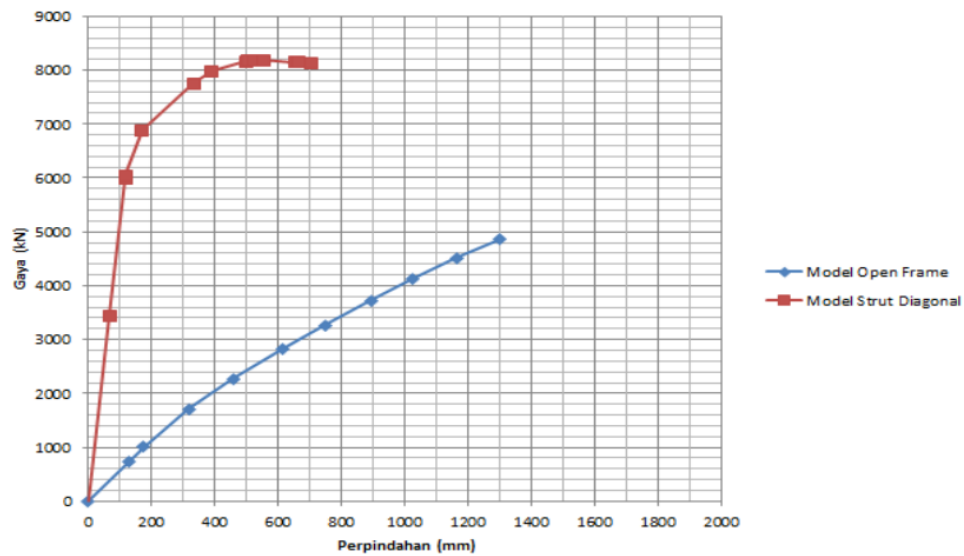
Sumber: Giri et al. (2016)



Gambar 2. 19 Kurva Gaya Lateral dan Perpindahan Model MSE

Sumber: Giri et al. (2016)

Dari hasil analisis didapatkan hasil bahwa perilaku model open frame memiliki simpangan 46,21 mm, model dinding pengisi dengan strut diagonal memiliki simpangan 8,99 mm dan model dinding pengisi dengan shell elemen memiliki simpangan 15,97 mm. Gaya-gaya dalam yang bekerja baik model strut diagonal atau model shell elemen memiliki nilai yang lebih kecil dari pada gaya-gaya dalam yang bekerja pada model open frame kecuali gaya aksial kolom yang memiliki nilai yang hampir sama dengan model open frame.



Gambar 2. 20 Perbandingan Kurva Pushover arah X Masing-masing Model

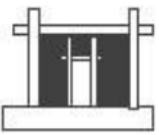
Sumber: (Giri et al., 2016)

Dapat diketahui dari kurva *pushover*, bahwa model *strut diagonal* memiliki kekuatan yang lebih besar dalam menahan beban lateral yang berupa beban gempa dan lebih memperkaku struktur. Grafik diatas menunjukkan kurva antara gaya lateral dengan simpangan yang terjadi. Kurva di atas menunjukkan perilaku struktur secara keseluruhan antara *strut*, balok dan kolom. Perilaku *strut*, balok dan kolom akan didesain dengan mempertimbangkan kinerja struktur gedung yang terbaik. Besar gaya geser *ultimate* yang terjadi dan simpangan yang terjadi pada model *open frame* sebesar 4213,15 KN, simpangan yang terjadi 1039,56 mm sedangkan pada model *strut diagonal* besar gaya geser yang terjadi 8146,60 KN dan simpangan yang terjadi sebesar 701.84 mm. Pada tabel di bawah ini akan menunjukkan perbandingan perilaku antara model *open frame* dan model *strut diagonal*.

2.6.4 Struktur Beton Bertulang Rangka dengan Dinding Pengisi Berlubang dengan Perkuatan Balok dan Kolom Praktis.

Penelitian terkait hasil uji laboratorium tentang dinding pengisi berlubang terutama dengan tambahan perkuatan balok dan kolom praktis telah dilakukan oleh Sigmund & Penava (2012). Pada penelitian tersebut dibuat benda uji berupa struktur portal beton bertulang satu tingkat dengan dinding pengisi yang diisi bukaan bervariasi. Benda uji yang terdiri dari tiga kelompok seperti yang tertera pada tabel 2.2 dibuat untuk mengetahui bagaimana pengaruh ukuran dan posisi bukaan pada dinding dan efek dari penambahan perkuatan balok dan kolom praktis pada tepi lubang.

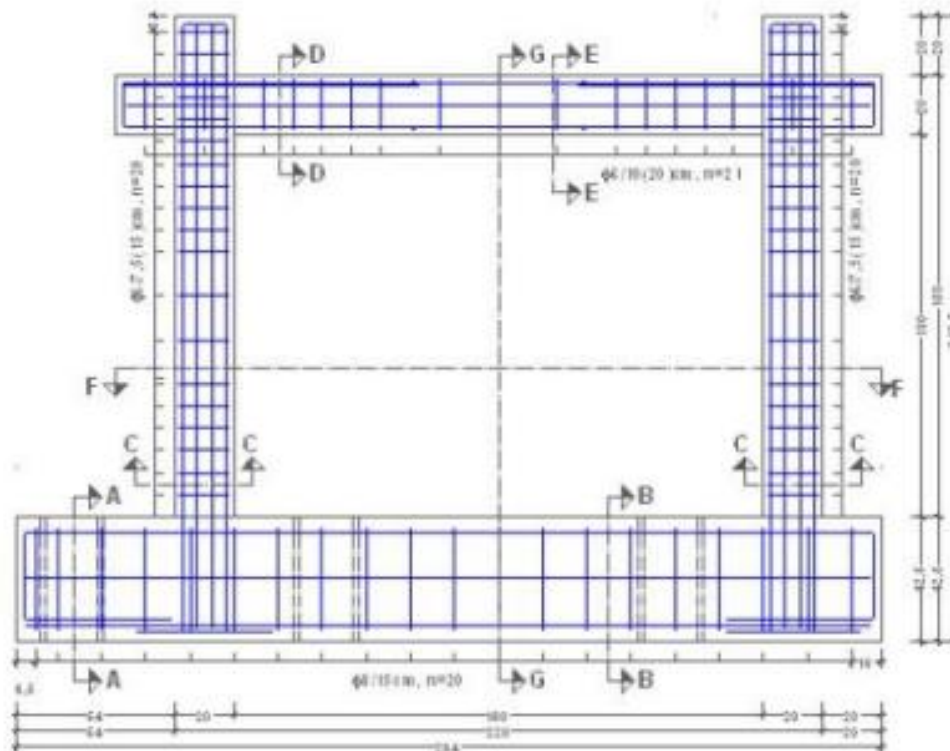
Tabel 2. 2 Tipe-tipe Benda Uji Dinding Pengisi Dengan Bukaan

Test specimen			Appearance of the Test specimen	Type of Opening and Dimensions lo/ho (m)	Position of Opening and Distance eo (m)	Confinement of Opening
Group	No	Mark				
II	1	Type (I/II)		Door (0,35/0,90 m)	Centric (0,90 m)	With confining elements
	2	Type (2/II)		Window (0,50/0,60 m)	Centric (0,90 m) Parapet wall height is 0,40 m	

Sumber: Sigmund & Penava (2012)

Pada benda uji yang memiliki perkuatan, kolom praktis diberi tulangan memanjang dengan diameter 8 mm sebanyak 2 buah. Kolom praktis tersebut diangker dengan balok struktur dengan kedalaman 10 cm dan diberi *dowel* ke

dinding dengan tulangan diameter 4 mm setiap 20 cm. Penulangan pada balok praktis terdiri dari empat tulangan memanjang dengan diameter 6 mm dan tulangan melintang diameter 6 mm dengan jarak 9 cm.



Gambar 2. 21 Desain Tulangan Portal Benda Uji

Sumber: Sigmund & Penava (2012)

Dari desain portal benda uji diatas adapun jenis-jenis material yang digunakan dan sifat-sifatnya ditampilkan dalam tabel 2.3.

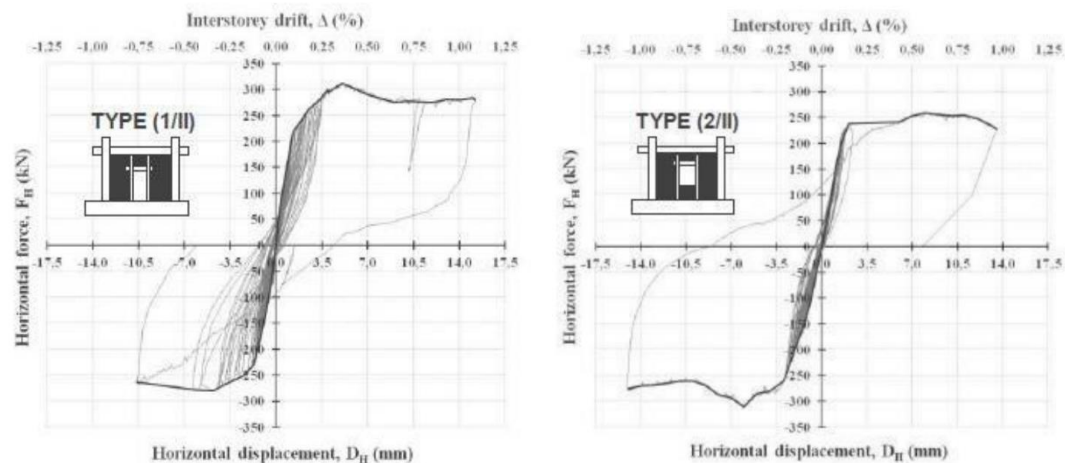
Tabel 2. 3 Jenis Material Dan Sifat-sifatnya

Material	Sifat		Nilai	Satuan
Keramik berongga	Menormalisasikan kekuatan tekan dalam arah vertikal	f_b f_{bh}	15,9	N/mm ²
	Menormalisasikan kekuatan tekan dalam arah horizontal		2,6	N/mm ²
Kegunaan adukan semen secara umum	Kekuatan tekan	f_m f_{mt}	5,15	N/mm ²
	Kekuatan lentur – tarik		1,27	N/mm ²
Dinding	Karakteristik kekuatan tekan	f_k	2,7	N/mm ²
	Modulus elastisitas	E	3900	N/mm ²
	Regangan Ultimate/Regangan terakhir	ϵ_u	0,57	%
	Karakteristik kekuatan geser awal	f_{vok}	0,7	N/mm ²
	Karakteristik sudut gesekan	$\tan \alpha_k$	0,8	N/mm ²
Kerangka Beton	Karakteristik kekuatan tekan	$f_{k,cube}$	45	N/mm ²
Tulangan	Karakteristik kekuatan leleh	f_{yk}	600	N/mm ²
	Karakteristik kekuatan ultimate	f_{uk}	700	N/mm ²
	Modulus elastisitas	E_s	210000	N/mm ²
Lintel	Karakteristik kekuatan tekan	$f_{k,cube}$	30	N/mm ²

Sumber: Sigmund & Penava (2012)

Dalam menguji seluruh spesimen tersebut digunakan beban siklik yang ditingkatkan dan beban vertikal yang konstan. Beban vertikal diberikan pada ujung atas kolom yang pada masing-masing sisi diberi beban sebesar 365 kN. Sementara untuk beban horizontal diberi gaya dengan peningkatan (Δ) sebesar 10 kN.

Dari hasil uji laboratorium tersebut didapat kurva perpindahan dan beban lateral dan pola keruntuhan dari masing masing benda uji.



Gambar 2. 22 Kurva Gaya Lateral dan perpindahan dari masing-masing Benda Uji

Sumber: Sigmund & Penava (2012)

Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa semua struktur dengan dinding pengisi, baik dengan dan tanpa lubang, memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur rangka terbuka. Kekakuan dari struktur dengan dan tanpa bukaan sendiri tidak memiliki perbedaan yang terlalu besar. Sementara untuk penambahan perkuatan kolom praktis memberi perubahan pada pola keruntuhannya. Benda uji tanpa perkuatan kolom praktis menunjukkan pola keruntuhan yang lebih banyak dibandingkan dengan benda uji dengan perkuatan. Perkuatan kolom dan balok praktis pada tepi lubang tidak mempengaruhi kekakuan struktur secara keseluruhan namun mempengaruhi pola keruntuhan, daktilitas, dan perilaku struktur secara keseluruhan.

2.6.5 Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi Dengan Bukaan Sentris

Penelitian yang dilakukan Wirawan et al. (2022), merupakan perbandingan struktur rangka terbuka (RT) dengan struktur rangka dinding pengisi (RDP) berlubang sentris dengan perkuatan di sekitar bukaan. Yang dimulai dengan memodel validasi berdasarkan hasil uji laboratorium. Dibuat tiga buah model, terdiri dari model RDP dinding penuh (MIFS), RDP bukaan pintu (MIFDO), dan RDP bukaan jendela (MIFWO).

Lebar strat pada pemodelan strat diagonal pada RDP berlubang dicari dengan metode *trial and error* hingga respon yang dihasilkan mendekati hasil tes laboratorium.

Jika respon model validasi sudah mendekati hasil uji laboratorium, dilanjutkan dengan membuat model rangka sederhana. Model tersebut berupa struktur RDP berlubang sentris dengan rasio bukaan 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% serta perkuatan di sekeliling lubang. Model RDP dibuat satu tingkat dengan sudut diagonal 33°, 39°, 45°, dan 51°. Bentang balok tetap (2000 mm) dan tinggi kolom variasikan sesuai sudut diagonal yang ditinjau

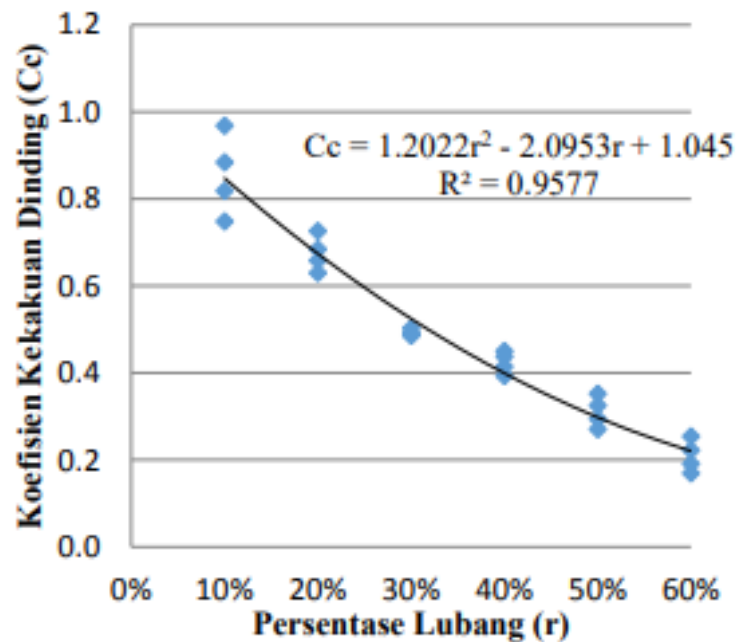
Lebar strat diagonal masing-masing sudut diagonal didapatkan dengan cara coba-coba (*trial and error*). Analisis ini menggunakan analisis *linear*. Setelah lebar strat diagonal masing-masing model rangka sederhana didapat, dilanjutkan dengan mencari rumus lebar strat diagonal pada struktur RDP dengan bukaan sentris serta perkuatan di sekitar bukaan.

Tabel 2. 4 Lebar Strat Diagonal Model Validasi

r	Lebar Strat (mm)			
	sudut 33°	sudut 39°	sudut 45°	sudut 51°
0%	596.21	642.27	707.11	794.55
10%	687	649	625	623
20%	578	522	484	467
30%	450	386	344	323
40%	413	347	293	253
50%	323	258	208	174
60%	233	176	135	109

Sumber: Wirawan et al. (2022)

Lebar strat diagonal yang didapat dari analisis model rangka sederhana digunakan untuk menghitung persamaan koefisien kekakuan dinding (Cc). Untuk memasukan pengaruh sudut diagonal pada persamaan koefisien kekakuan dinding (Cc), lebar strat tersebut dikalikan dengan tangen masing-masing sudut diagonal yang ditinjau. Setelah dikalikan tangen masing-masing sudut diagonal, selanjutnya dibagi dengan lebar strat RDP dinding penuh masing-masing sudut diagonal. Seluruh koefisien kekakuan dinding (Cc) yang didapat kemudian di plot pada microsoft excel dengan sumbu y merupakan nilai Cc dan sumbu x merupakan nilai persentase lubang (r). Titik-titik koordinat nilai Cc tersebut, dicari persamaan yang mewakili dengan analisis regresi sederhana. Hal tersebut dilakukan untuk mencari hubungan antara nilai Cc dengan nilai r. Grafik hubungan nilai Cc dan r dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Hubungan Antara Koefisien Kekakuan Dinding(C_c) Dengan Presentase Lubang (r)

Sumber: Wirawan et al. (2022)

Persamaan lebar strat didapat dengan mengembalikan bentuk C_c ke bentuk semula, yaitu dibagi dengan tangen sudut dan dikalikan dengan lebar strat RDP dinding penuh. Persamaan lebar strat menjadi:

$$W_{CO} = \frac{d}{4 \tan \emptyset} \times C_c \quad (2.8)$$

W_{CO} merupakan lebar strat, d merupakan panjang strat, C_c merupakan koefisien kekuatan dinding ($C_c = 1.2022r^2 - 2.0953r + 1.045$), r merupakan persentase lubang, $\emptyset$ merupakan sudut strat diagonal ($\tan \emptyset = H/L$), H merupakan tinggi kolom, L merupakan panjang bentang balok. Rumus ini hanya berlaku untuk struktur RDP dengan bukaan sentris serta perkuatan di sekitar bukaan. Persamaan ini juga dibatasi hanya pada persentase lubang 10% sampai dengan 60% dan sudut diagonal 33° sampai dengan 51° . (Wirawan et al., 2022)

2.7 Rasio Simpangan (Drift Ratio)

Pada BSN (2019), mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung pasal 7.12, *drift ratio* harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Simpangan antar tingkat atau drift berdasarkan pasal 7.12.1 tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a). seperti yang termuat dalam tabel dibawah ini:

Tabel 2. 5 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: (BSN, 2019)

Drift ratio atau *drift index* didefinisikan juga sebagai rasio dari defleksi maksimum pada ujung atas bangunan dengan total tinggi bangunan. Batas *drift index* memiliki perbedaan pada beberapa peraturan di beberapa negara. Drift index ditinjau dengan persamaan sebagai berikut:

$$Drift Indeks = \frac{\Delta}{h} \quad (2.9)$$

Dimana:

Δ : Besar defleksi maksimum pada puncak bangunan (m)

h : Ketinggian struktur (m)

2.8 Pembebanan

Perencanaan suatu struktur Gedung tidak dapat luput dari peraturan-peraturan yang mengatur tentang perencanaan struktur Gedung, peraturan-peraturan yang sedang berlaku baik untuk beban vertikal dan beban horizontal. Secara jelas akan diuraikan sebagai berikut:

2.8.1 Beban Mati

beban mati adalah berat dari suatu Gedung yang bersifat tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari Gedung itu yang termasuk didalamnya yaitu segala unsur-unsur tambahan, mesin-mesin, serta peralatan yang tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung. Beban-beban mati yang terdiri dari berat sendiri struktur ditambah dengan beban mati tambahan dan beban dinding. DPMB (1983)

2.8.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan semua peralatan yang ada didalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, sehingga mengakibatkan perubahan-perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. Khusus pada atap, air hujan merupakan komponen hidup, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh butiran air, BSN (2020).

2.8.3 Beban Gempa

Peraturan-peraturan yang memuat perencanaan beban gempa pada gedung-gedung di Indonesia yang berlaku pada saat ini diatur dalam Dalam peraturan ini

dijelaskan faktor-faktor yang berhubungan dengan perhitungan beban gempa yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Letak geografis

Perhitungan perencanaan beban gempa pada sebuah bangunan gedung tergantung dari lokasi (letak geografis) gedung tersebut dibangun. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan wilayah yang memiliki percepatan batuan yang berbeda-beda.

2. Faktor Keutamaan Gedung

Faktor keutamaan gedung ditentukan berdasarkan jenis/ fungsi gedung. Berdasarkan jenis/ fungsinya dapat diambil kategori resiko yang dimiliki gedung tersebut. Dapat dilihat pada tabel yang tercantum pada, BSN (2019).

3. Kategori Desain Seismik

Pembagian kategori desain seismik dari rendah ke tinggi. Penentuan kategori ini dapat dilihat pada BSN (2019).

4. Sistem Penahan Gaya Seismik

Struktur dengan sistem penahan gaya seismik memiliki faktor reduksi gempa atau koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem, dan faktor pembesaran defleksi yang berbeda-beda yang dapat dilihat pada BSN (2019).

2.8.4 Kombinasi Pembebanan

Untuk pemodelan rangka dengan pembebanan gempa berdasarkan BSN (2019) adalah sebagai berikut:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 L (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + L$
6. $0,9 D + 1,0 E$

Keterangan:

1. D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.
2. L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
3. L_a = Beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
4. R = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.
5. W = Beban angin
6. E = Beban gempa, yang ditentukan menurut BSN (2019).

2.9 Penentuan Metode Gaya Lateral

Penentuan metode analisis yang digunakan dalam perhitungan gaya lateral dapat ditentukan berdasarkan peraturan BSN (2019) yang terdapat pada tabel 16 mengenai prosedur analisis yang diizinkan.

Tabel 2. 6 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber: BSN (2019).

2.10 Statik Ekuivalen

Berdasarkan BSN (2019), metode statik ekuivalen merupakan metode penyederhanaan dari perhitungan beban gempa sebenarnya. Pada metode statik ekuivalen, beban gempa berupa percepatan tanah diganti dengan beban lateral statik yang bekerja pada tiap tingkat bangunan. Besarnya gaya geser dasar dari metode statik ekuivalen bergantung dari koefisien respon seismik (C_s) dan berat total bangunan (W).

Persamaan yang digunakan dalam menghitung gaya geser dasar dalam metode statik ekuivalen adalah sebagai berikut.

$$V = C_s \cdot W \quad (2.10)$$

Keterangan:

V = gaya geser dasar

C_s = koefisien respons seismik

W = berat bangunan

Penentuan koefesien respon seismik dihitung berdasarkan Pasal 7.8.1.1 BSN (2019). dengan ketentuan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.11)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas tidak boleh melebihi persamaan berikut:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.12)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \quad (2.14)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka C_s harus tidak kurang dari persamaan berikut:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

Keterangan:

di mana I_e dan R sebagaimana didefinisikan,

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik).

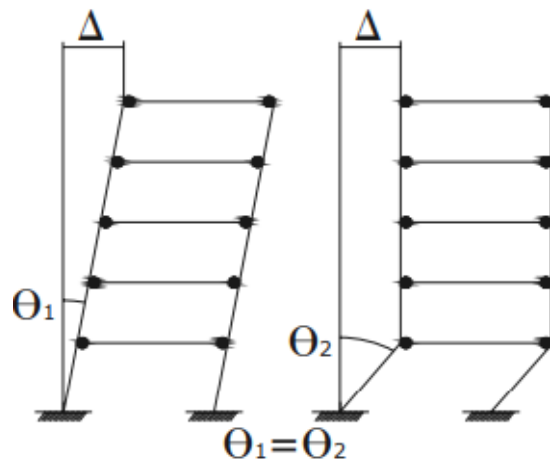
S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum

2.11 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan *pasca-elastik* yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan, BSN (2002).

$$\mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m \quad (2.16)$$

Dimana faktor daktilitas struktur gedung adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δ_m) dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama (δ_y), BSN (2002).



Gambar 2. 24 Defleksi
Sumber: Siregar (2008)

Pada struktur, ketika respon gempa yang terjadi melebihi beban rencana maka keadaan deformasi inelastis harus tercapai. Ketika struktur mampu untuk merespon keadaan inelastis tanpa penurunan kemampuan yang drastis, maka hal ini akan disebut dalam keadaan daktail. Keadaan daktail yang sempurna terjadi pada saat *ideal elastic/ perfectly plastic (elastoplastic)* (Siregar, 2008).

2.11.1 Tingkat Daktilitas

Mengenai tingkatan daktilitas, Tata Cara Perencanaan Struktur Ketahanan Gempa untuk bangunan gedung, BSN (2002), mengklasifikasikan tingkat daktilitas sebagai berikut:

1. daktail penuh adalah suatu tingkat daktilitas struktur gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3.

2. daktail parsial adalah seluruh tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas diantara untuk struktur gedung yang elastik penuh sebesar 1,5 dan untuk struktur gedung yang daktail penuh sebesar 5,0.
3. elastik penuh adalah suatu tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1,0

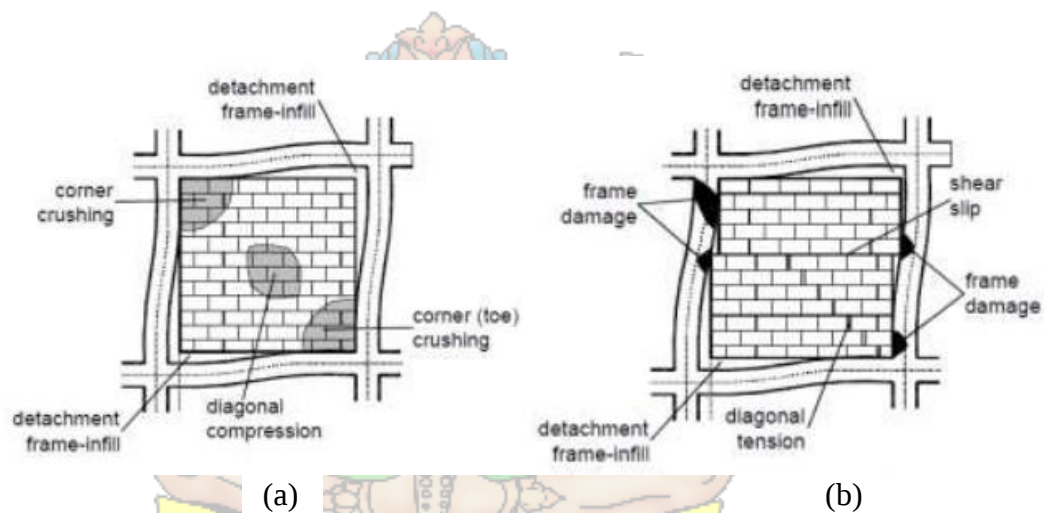
2.12 Pola Keruntuhan Rangka Dengan Dinding Pengisi

Berdasarkan data eksperimen Asteris et al. (2011) yang sampai saat ini telah dilakukan, mode keruntuhan RDP diklasifikasikan menjadi 5 yaitu:

1. *Corner Crushing (CC)*: ditunjukkan oleh kehancuran dari dinding pengisi pada setidaknya salah satu dari pojoknya (Gambar 2.25 a). Mode ini biasanya berkaitan dengan RDP yang berisi dinding pengisi lemah dikelilingi oleh rangka dengan join lemah dan elemen struktur yang kuat.
2. *Diagonal Compression (DC)*: ditunjukkan oleh kehancuran dari dinding pengisi pada daerah tengah (Gambar 2.25 a). Mode ini berkaitan dengan dinding pengisi yang relatif langsing, dimana keruntuhan dihasilkan dari tekuk tegak lurus bidang (*out-plane*) dinding pengisi.
3. *Sliding Shear (SS)*: ditunjukkan oleh keruntuhan geser horizontal melalui bed joint dari dinding pengisi (Gambar 2.25 b). Mode ini berkaitan dengan dinding pengisi dari join mortar yang lemah dan rangka yang kuat
4. *Diagonal Cracking (DK)*: ditunjukkan oleh bentuk dari retak sepanjang diagonal tekan dari panel dinding pengisi dan sering terjadi di awal bersamaan dengan mode SS (Gambar 2.25 b). Mode ini berkaitan dengan

rangka lemah atau rangka dengan join lemah dan elemen struktur kuat berisi dinding pengisi yang cukup kuat.

5. *Frame Failure (FF)*: ditunjukkan oleh bentuk dari pengembangan sendi plastis dalam kolom atau hubungan balok-kolom (Gambar 2.25 b). Mode ini juga berkaitan dengan rangka lemah atau rangka dengan join lemah dan elemen struktur kuat berisi dinding pengisi yang cukup kuat.



Gambar 2. 25 (a) Mode Keruntuhan CC dan DC dan (b) mode keruntuhan SS, DK, dan FF

Sumber: Asteris et al. (2011)

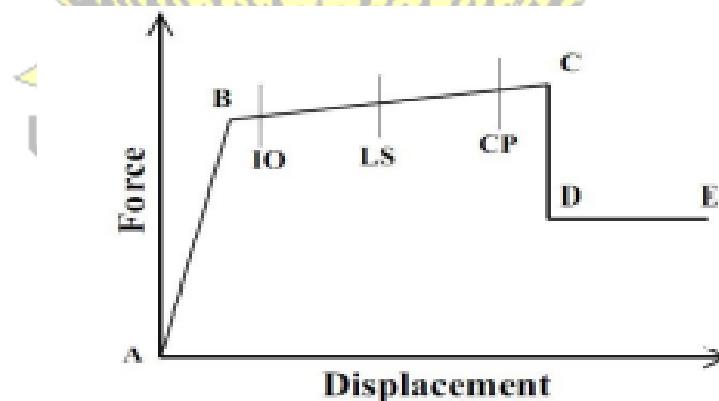
2.13 Kinerja Struktur

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada. Analisis ini juga lebih dikenal dengan nama analisis *pushover* atau analisis beban dorong statik. *Pushover* adalah metode analisis statis-nonlinier dimana struktur diberi beban gravitasi dan pola beban lateral monotonik yang terus meningkat sampai perilaku elastis dan inelastis hingga kondisi akhir tercapai CSI (2016).

2.13.1 Sendi Plastis

Sendi plastis adalah penggambaran dari perilaku pasca-leleh yang terkonsentrasi dalam satu atau lebih derajat kebebasan. Sifat sendi plastis adalah sebutan pengaturan dari sifat kaku-plastis yang dapat diberikan pada satu atau lebih elemen rangka. Perilaku gaya-perpindahan plastis dapat ditentukan untuk tiap derajat kebebasan gaya (aksial dan geser), begitu pula perilaku momen-rotasi plastis dapat ditentukan untuk tiap derajat kebebasan momen (lentur dan torsi). Derajat kebebasan yang tidak ditentukan tetap dalam kondisi elastis. Pada SAP2000, sendi plastis hanya dapat diaplikasikan pada elemen rangka.

Untuk tiap derajat kebebasan, kurva gaya-perpindahan (*force-displacement*) didefinisikan agar memberikan nilai leleh dan deformasi plastis setelah leleh. Hal ini dilakukan dalam hubungan dari kurva dengan nilai pada lima titik, A-B-C-D-E, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.26 sebagai berikut:



Gambar 2. 26 Kurva Deformasi Plastis Untuk Gaya Perpindahan
Sumber: CSI (2016)

Berdasarkan dari gambar diatas dijelaskan bahwa titik-titik tersebut merupakan sebagai berikut:

1. Titik A selalu merupakan titik awal.
2. Titik B mewakili pelelehan. Tidak ada deformasi yang terjadi dalam sendi plastis sampai titik B, meskipun nilai deformasi ditentukan untuk titik B. Perpindahan (rotasi) pada titik B akan dikurangi dari deformasi pada titik C, D, dan E. Hanya deformasi plastis yang melewati titik B diperlihatkan oleh sendi plastis.
3. Titik C mewakili kapasitas ultimit untuk analisis pushover.
4. Titik D mewakili kekuatan sisa untuk analisis pushover.
5. Titik E mewakili kegagalan total. Setelah titik E, sendi plastis akan jatuh berkurang sampai titik F (tidak diperlihatkan) secara langsung dibawah titik E pada sumbu horizontal CSI (2016).

2.13.2 Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen/elemen dihitung terhadap perpindahan tertentu di titik kontrol yang disebut sebagai target perpindahan dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana.

Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan δ_t . Jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja. Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method (DCM)* merupakan metode yang terdapat dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respon elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2

dan C3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t). Proses dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif, T_e , yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan. Waktu getar alami efektif mencerminkan kekakuan linier dari sistem SDOF ekuivalen. Jika di-plot-kan pada *spektrum respons* elastis akan menunjukkan percepatan gerakan tanah pada saat gempa yaitu akselerasi puncak, S_a , versus waktu getar, T . Rendaman yang digunakan selalu 5% yang mewakili level yang diharapkan terjadi pada struktur yang mempunyai respons pada daerah elastis. Puncak perpindahan *spektra* elastis, S_d , berhubungan langsung dengan akselerasi *spektra*, S_a , dengan hubungan berikut:

$$S_d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} S_a \quad (2.17)$$

Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol δ_T yang termuat dalam FEMA-356, ditentukan dari rumus berikut:

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (2.18)$$

Dimana:

δ_t = target perpindahan

T_e = waktu getar alami efektif

C_0 = Koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spectral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C_1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan respons elastik linier.

$$\begin{aligned}
 &= 1.0 \text{ untuk } T_e \geq T_S \\
 &= [1.0 + (R - 1) T_S / T_e] / R \text{ untuk } T_e < T_S \\
 &(2.19)
 \end{aligned}$$

T_S = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.

R = rasio kuat elastik perlu terhadap koefisien kuat leleh terhitung.

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} \quad (2.20)$$

S_a = akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva pushover menjadi bilinier.

W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P delta. Koefisien diperoleh secara empiris dari studi statistik analisa riwayat waktu non-linier dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan *engineering judgement*, dimana perilaku hubungan gaya geser dasar – lendutan pada kondisi pasca leleh kekakuannya

positip (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya negatif (kurva menurun) maka:

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R - 1)^{3/2}}{T_e} \quad (2.21)$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gaya lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear (lihat waktu getar efektif).

g = percepatan gravitasi 9.81 m/s^2

