

## ANALISIS KONSTRUKSI BERTAHAP PADA PORTAL BERTINGKAT SIMETRIS DENGAN PENAMABAHAN *PERKUATAN SHEAR WALL*

**I Wayan Muka, I Putu Laintarawan, I Kadek Agus Parwata**

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Hindu Indonesia

### ABSTRAK

Pembangunan gedung bertingkat tinggi umumnya menggunakan sistem pengaku. Hal itu disebabkan sebagai solusi menghindari keruntuhan struktur bangunan dari gaya lateral yang berasal gempa. Dinding geser merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi masalah tersebut, dinding geser (*shear wall*) merupakan unsur pengaku vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gaya gempa. Jenis dinding geser yang digunakan dalam penelitian ini adalah Frame wall dengan bentuk *L – Shape*.

Selain memperhitungkan hal tersebut, perlu direncanakan juga mengenai analisis dalam memperhitungkan ketahanan struktur. Analisis konstruksi bertahap merupakan analisis yang tepat dengan pelaksanaan konstruksi dilapangan. dimana struktur dikerjakan secara bertahap, mulai dari tingkat satu dan seterusnya. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur (momen, gaya geser, gaya normal) dan deformasi pada struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan shear wall menggunakan metode konstruksi bertahap.

Dari analisis struktur yang dilakukan pada struktur gedung 9 tingkat, didapatkan rasio momen balok portal tepi analisis konstruksi bertahap terhadap analisis konvensional  $M_2/M_1$  pada tingkat 7 sebesar 1,030. Gaya geser balok pada portal tepi dengan analisis konstruksi bertahap mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 sebesar 88,56 dengan rasio  $D_2/D_1$  sebesar 1,059. Ditinjau dari momen maksimum kolom grid D, didapat bahwa momen maksimum kolom analisis konstruksi bertahap mencapai nilai maksimum pada tingkat 9 sebesar 49,246 KNm dengan rasio terhadap momen kolom analisis konvensional  $M_{k2}/M_{k1}$  sebesar 1,314. Sedangkan berdasarkan deformasi struktur dengan konstruksi bertahap lebih besar daripada konvensional dengan selisih perbedaan persentase simpangan sebesar 70,99 %, 69,50%, 67,92%, 67,08%, 66,28%, 65,18%, 63,36%, 60,14% dan 54,65%.

**Kata kunci :** Analisis Konstruksi Bertahap, *Shear wall* dan Gaya-gaya Dalam

### I. PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Dalam pembangunan sebuah gedung bertingkat tinggi perlu direncanakan secara cermat kekuatan strukturnya tersebut agar dapat menahan gaya lateral yang diakibatkan oleh beban gempa. Gaya lateral

merupakan gaya pada bangunan yang bersifat horizontal dengan arah yang tidak menentu, seperti angin dan gempa bumi. Untuk mengatasi gaya lateral pada gedung dapat menggunakan sistem struktur penahan beban lateral. Secara umum sistem struktur penahan beban lateral terdiri dari SRPM,

SRPMK, sistem rangka bresing (SRB) dan sistem dinding geser (SNI 1726 - 2012).

Sistem Dinding Geser merupakan sistem pengaku yang dapat menahan gaya lateral, dengan cara menguatkan kolom agar deformasi yang terjadi akibat gaya horizontal tidak melampaui ketentuan yang disyaratkan (*P- $\Delta$  Effect*). Dalam peraturan baru SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non gedung, resiko gempa sedang menjadi KDS D, sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur bangunan. Diawali dengan terjadinya tegangan berlebih (*over stressed*) pada komponen-komponen struktur seperti balok dan kolom. Permasalahan inilah yang perlu ditindaklanjuti dengan pemberian perkuatan seismik pada struktur bangunan yang sudah berdiri.

Umumnya gaya lateral yang diakibatkan oleh beban gempa paling besar terjadi pada gedung tingkat tinggi berada pada lantai teratas. Untuk mengatasi hal tersebut struktur gedung tingkat tinggi harus memiliki kekakuan yang sangat besar, agar cukup untuk menahan gaya-gaya lateral yang disebabkan oleh beban gempa. Maka biasanya gedung tingkat tinggi memerlukan pengaku antara lain dinding geser, dinding pengisi dan bresing. Jika tidak hal tersebut bisa diatasi dengan menggunakan dimensi balok dan kolom yang besar dan kaku. Tetapi itu akan memakan biaya yang sangat besar. Sehingga gedung tingkat tinggi memerlukan pengaku yang efektif menahan gaya lateral dan

memiliki biaya ekonomis. Pengaku yang termasuk kriteria tersebut adalah shear wall atau dinding geser (Lin & Stotesbury, 1981).

Dinding geser adalah dinding beton bertulang dengan dengan kekakuan bidang datar yang sangat besar yang ditempatkan pada lokasi tertentu untuk menyediakan tahanan beban horisontal yang diperlukan. Elemen struktur yang relatif kaku akan menarik gaya gempa yang jauh lebih besar daripada elemen struktur yang fleksibel. Dinding geser beton bertulang adalah elemen yang cukup kaku dan dapat menyerap gaya gempa yang besar. Bangunan beton bertulang tingkat tinggi biasanya direncanakan dengan menggunakan dinding geser sebagai elemen penahan gaya gempa. Bangunan seperti ini telah terbukti bekerja cukup baik pada saat gempa terjadi. Hal ini terbukti dari sedikitnya kegagalan yang terjadi pada sistem struktur dinding geser di kejadian-kejadian gempa yang lalu (Fintel, 1991). Dinding geser juga meminimalkan kerusakan bagian non struktur bangunan seperti jendela, pintu dan lain-lain (MacCormac, 2004).

*Shear wall* atau dinding geser merupakan pilihan yang tepat untuk tipe struktur beton bertulang. Dan apabila struktur tersebut memiliki ketinggian 30 lantai akan menjadikan suatu keharusan dari segi ekonomis dan pengendalian gaya lateral (Lin & Stotesbury, 1981). Selain dapat mengendalikan gaya lateral dinding geser mampu meningkatkan kekakuan, kekuatan dan stabilitas struktur sehingga dapat mengurangi nilai

simpangan horizontal (Dian, 2010). Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis antara lain *Bearing Walls*, *Frame Walls* dan *Core Walls*.

Frame Walls merupakan dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun dibagian tepi portal dan diantara baris kolom. Menurut Pathan et. al (2014) menyimpulkan bahwa kolom tepi merupakan kolom kritis dengan gaya geser maksimum terjadi pada metode analisis konstruksi bertahap. Karena hal itu, perlu digunakan konfigurasi dan posisi dinding geser yang memiliki letak dibagian tepi portal. Letak pemasangan dinding geser yang dimaksud antara lain dinding geser Tipe *Rectangle*, Tipe *L-Shape*, Tipe *C-Shape* dan Tipe *Coupled Shear Walls*.

Konfigurasi dan posisi dinding geser dengan bentuk L memiliki kekakuan yang lebih besar dan perpindahan lantai teratas serta *drift ratio* yang lebih kecil dengan konfigurasi I dan *core* (Widyawati, 2010). Sedangkan berdasarkan geometrinya *Shear Wall* atau dinding geser dapat dibagi menjadi 3 macam antara lain *Flexural Walls*, *Squat Walls* dan *Coupled Shear Walls*. *Flexural Wall* atau dinding kantilever merupakan dinding struktural yang biasa digunakan pada gedung tinggi, itu dikarenakan dinding geser kantilever memiliki permukaan yang rata (tidak ada bukaan/lubang) dan menutupi gedung hingga bagian paling atas. Sehingga dinding geser kantilever lebih

efektif dalam menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa.

Pemasangan dinding geser pada struktur rangka bangunan bertingkat bisa dilakukan dengan beberapa metode. Dinding dapat dipasang bersamaan dengan pembangunan per tingkat, atau dinding dipasang setelah bangunan selesai didirikan. Untuk melihat pengaruh dari dua metode pemasangan dinding geser, struktur dapat dianalisis menggunakan analisis konstruksi bertahap (*staged construction*). Analisis konstruksi bertahap sesuai dengan pelaksanaan konstruksi di lapangan, dimana struktur dikerjakan secara bertahap, mulai dari tingkat satu dan seterusnya. Ketika tingkat satu telah selesai dikerjakan, maka tingkat satu tersebut sudah menerima beban akibat berat sendiri maupun beban pelaksanaan.

Akibatnya, tingkat satu tidak akan mengalami deformasi bersamaan dengan tingkat di atasnya. Ini berarti bahwa tingkat satu dianalisis dengan kondisi awal yang bernilai nol. Pada analisis tingkat selanjutnya, tingkat satu sudah memiliki nilai kondisi awal yang tidak bernilai nol lagi. Hal ini terus berlanjut untuk analisis tingkat selanjutnya, dimana kondisi awal tingkat bawah akan terus bertambah dengan adanya tingkat di atasnya. Apabila struktur sudah menerima beban secara bertahap pada saat pelaksanaan, kemungkinan deformasi dan gaya-gaya yang timbul pada saat pelaksanaan konstruksi lebih besar daripada deformasi dan gaya-gaya dalam yang timbul pada analisis konvensional yang mengasumsikan

beban bekerja setelah struktur berdiri secara keseluruhan. Arman (2005) dan Bagiarta (2009) menunjukkan bahwa analisis dengan konstruksi bertahap menghasilkan nilai lendutan dan gaya-gaya dalam yang lebih besar daripada analisis konvensional.

Beberapa penelitian mengenai analisis konstruksi bertahap telah dilakukan oleh Sukrawa (2015), Melina (2014), Bagiarta (2009). Penelitian oleh Sukrawa meneliti mengenai perkuatan seismik dari rangka beton bertulang (RBB) 3, 4 dan 5 lantai menggunakan breising baja. Ketiga pola penelitian tersebut menggunakan 2 breising yaitu X dan V terbalik konsentrik serta dianalisis dengan analisis konvensional dan konstruksi bertahap sesuai tahapan pelaksanaannya. Dari hasil analisis didapat bahwa, terjadi tegangan berlebih (*over stressed*) pada beberapa elemen struktur jika dianalisis dengan ketentuan SNI 1726:2012. Perkuatan struktur rangka terbuka beton bertulang dengan breising baja sangat efektif dalam meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur. Dari analisis konstruksi bertahap, simpangan yang dianalisis dengan metode analisis konstruksi bertahap 14,38 %, 13,62 % dan 9,98 % lebih besar dibandingkan dengan nilai pada analisis konvensional. Sedangkan pada struktur dengan bresing V terbalik simpangan 15,83 %, 14,29 % dan 10,09 % lebih besar dari nilai analisis konvensional.

Melina (2014) telah melakukan penelitian mengenai analisis konstruksi bertahap pada struktur rangka dengan dinding pengisi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil

analisis berupa gaya dalam dan deformasi pada struktur rangka beton bertulang dengan perbedaan model struktur dan metode analisis. Analisis struktur beton bertulang bangunan apartemen dimodel sebagai *open frame* (OF) dan rangka dengan dinding pengisi (RDP) telah dilakukan dengan dua metode yaitu konvensional dan konstruksi bertahap. Berdasarkan hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa analisis konstruksi bertahap menghasilkan simpangan yang sedikit lebih besar dari analisis konvensional, analisis konstruksi bertahap menghasilkan lendutan yang sedikit lebih besar dari analisis konvensional pada lantai bawah dan lebih kecil atau relatif sama pada lantai atas, dan analisis konstruksi bertahap memberikan gaya dalam yang sedikit lebih besar dari analisis konvensional.

Penelitian oleh Bagiarta (2009) meneliti mengenai perbandingan struktur rangka bangunan bertingkat yang dianalisis secara konvensional dengan yang dianalisis secara konstruksi bertahap dengan variasi panjang bentang balok dan jumlah tingkat dengan 2 metode analisis yaitu analisis konvensional dan analisis konstruksi bertahap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pembebanan vertikal, analisis konstruksi bertahap memberikan nilai lendutan dan gaya-gaya dalam yang lebih besar daripada analisis konvensional. Kemudian pengaruh analisis konstruksi bertahap terbesar pada tingkat bawah dan mengecil pada tingkat di atasnya. Penambahan panjang bentang balok cenderung meningkatkan rasio nilai

lendutan dan gaya-gaya dalam pada analisis konstruksi bertahap, sedangkan penambahan jumlah tingkat tidak berpengaruh terhadap rasio nilai lendutan dan gaya-gaya dalam struktur kecuali gaya aksial kolom. Analisis konstruksi bertahap menghasilkan nilai lendutan dan gaya-gaya dalam yang lebih besar dibandingkan dengan analisis konvensional. Dari ketiga penelitian tersebut belum ada penelitian yang menggunakan pengaku *shear wall* dalam analisis konstruksi bertahap.

Berdasarkan uraian dan perbedaan dengan penelitian sebelumnya, maka dalam penelitian ini akan dicoba untuk menganalisis portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shear wall* bentuk *L-Shape* yang dianalisis dengan metode konstruksi bertahap dan analisis konvensional.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shear wall* (momen, gaya geser, gaya normal) antara analisis konstruksi bertahap dan analisis konvensional ?
2. Bagaimana deformasi struktur pada portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shear wall* dengan analisis konstruksi bertahap dan analisis konvensional ?

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui perilaku struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shear wall* (momen, gaya geser, gaya normal) antara analisis konstruksi bertahap dan analisis konvensional.
2. Untuk mengetahui deformasi struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shear wall* antara analisis konstruksi bertahap dan analisis konvensional.

### Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat menunjukkan perbedaan antara analisis secara konvensional dan analisis konstruksi bertahap pada struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shear wall* atau dinding geser.
2. Dapat memberikan pengetahuan dalam merencanakan struktur dengan pengaku shearwall menggunakan bantuan program SAP2000 v14.2.2
3. Dapat menunjukkan perbandingan deformasi struktur yang diberikan beban gempa menggunakan analisis konstruksi bertahap.

### Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pondasi diasumsikan sebagai perletakan jepit.
2. Beban lateral yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban gempa.
3. Struktur tangga diasumsikan beban pada struktur.
4. Penelitian ini bersifat fiktif, sehingga nilai N (nilai koefisien tanah) diasumsikan sebesar 50 sehingga termasuk kategori tanah sedang (SD).
5. Tidak memperhitungkan analisis biaya terhadap struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan kekuatan *shear wall*.
6. Waktu tidak diperhitungkan.
7. *Creep* dan *shrinkage* tidak diperhitungkan

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Sebuah dinding geser atau *shear wall* merupakan dinding yang dirancang untuk menahan geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Banyak bangunan yang menggunakan dinding geser untuk membuat rumah yang lebih aman dan lebih stabil. Ketika dinding geser dibangun umumnya dalam bentuk garis berat stabil. Dinding geser idealnya menghubungkan dua dinding eksterior, dan juga menahan dinding geser lainnya dalam struktur. Dinding geser yang efektif adalah kaku dan kuat. Dalam struktur bertingkat, dinding geser sangat penting karena selain untuk mencegah dinding eksterior runtuh dan mendukung beberapa lantai gedung agar tidak runtuh akibat gerakan lateral dalam gempa bumi.

Dinding geser (*shear wall*) adalah unsur pengaku vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gempa yang bekerja pada bangunan. Dinding geser dengan lebar yang besar akan menghasilkan daya tahan lentur dan geser yang sangat tinggi dan merupakan sistem struktur yang paling rasional dengan memanfaatkan sifat-sifat beton bertulang. Dinding geser adalah dinding beton bertulang dengan kekakuan bidang datar yang sangat besar, yang ditempatkan pada lokasi tertentu (ruang lift atau tangga) untuk menyediakan tahan gaya/beban horisontal (Pranata, Y. A. 2011).

Pada konstruksi pelat beton bertulang, lantai dapat dianggap tidak mengalami distorsi karena ketegaran lantai sangat besar. Jadi gaya geser yang ditahan sistem struktur di setiap tingkat bisa dihitung berdasarkan rasio ketegaran dengan memakai prinsip statis tak tentu. Deformasi pada dinding kantilever menyerupai deformasi pada balok kantilever yang tegak lurus tanah dan selain deformasi lentur, dinding mengalami deformasi geser dan rotasi secara keseluruhan akibat deformasi tanah.

Sebagai perbandingan deformasi portal terbuka besarnya cenderung sama pada tingkat atas dan bawah, sedangkan deformasi pada dinding geser sangat kecil didasar dan besar dipuncak. Gedung yang sesungguhnya tidak memiliki dinding geser yang berdiri sendiri karena dinding berhubungan dalam segala arah dengan balok atau batang lain ke kolom-kolom disekitarnya. Sehingga

deformasi dinding akan dibatasi dan keadaan ini sebagai pengaruh pembatasan (*boundary effect*). Agar daya tahan dinding dapat berfungsi sebagaimana mestinya, maka syarat-syarat dibawah ini harus diperhatikan dalam tujuan perancangan dinding geser.

### **Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012**

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan (gedung, jembatan, dermaga, dan sebagainya) beban gempa merupakan salah satu parameter beban yang paling menentukan. Secara nyata hal ini dapat dilihat dari banyaknya kerusakan dan kegagalan bangunan yang disebabkan bencana gempa bumi. Banyaknya korban yang berjatuh juga ikut mendorong para ahli untuk lebih memperhatikan efek gempa dalam perencanaan. Untuk merencanakan bangunan tahan gempa yang baik beberapa institusi telah membuat pedoman dalam merencanakan beban gempa. Di Indonesia, pedoman yang wajib digunakan saat ini untuk perencanaan beban gempa adalah SNI 03-1726-2012 yang merupakan pengganti dari SNI 03-1726-2002. SNI ini mengacu pada *code* ASCE 7-10, FEMA P750/2009, dan IBC 2009.

SNI 03-1726-2012 menentukan bahwa analisis beban gempa dapat dilakukan dengan 3 prosedur, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam, dan prosedur riwayat respons seismik. Gempa rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 2500 tahun, agar probabilitas

terjadinya terbatas pada 2% selama umur gedung 50 tahun. Terdapat 2 buah peta wilayah gempa, yaitu untuk gempa dengan periode sangat singkat ( $T = 0,2$  detik), dan gempa dengan periode 1 detik ( $T = 1$  detik). Grafik respons spektrum tidak disediakan, melainkan harus dirancang sendiri menggunakan parameter-parameter percepatan yang dapat dihitung berdasarkan wilayah gempa dan struktur gedung yang akan di bangun.

### **Sistem Penahan Gaya Lateral**

Hal yang penting pada struktur bangunan tinggi adalah stabilitas dan kemampuannya untuk menahan gaya lateral, baik yang disebabkan oleh angin atau gempa bumi. Beban angin lebih terkait pada dimensi ketinggian bangunan, sedang beban gempa lebih terkait pada massa bangunan. Kolom pada bangunan tinggi perlu diperkokoh dengan sistem pengaku untuk dapat menahan gaya lateral, agar deformasi yang terjadi akibat gaya horizontal tidak melampaui ketentuan yang disyaratkan (*P- $\Delta$  Effect*). Pengaku gaya lateral yang lazim digunakan adalah portal penahan momen, dinding geser atau rangka pengaku.

Portal penahan momen terdiri dari komponen (sub-sistem) horizontal berupa balok dan komponen (sub-sistem) vertikal berupa kolom yang dihubungkan secara kaku (*rigid joints*). Kekakuan portal tergantung pada dimensi balok dan kolom, serta proporsional terhadap jarak lantai ke lantai dan jarak kolom ke kolom. Dinding geser (*shear wall*) didefinisikan sebagai komponen

struktur vertikal yang relatif sangat kaku. Dinding geser pada umumnya hanya boleh mempunyai bukaan sedikit (sekitar 5%) agar tidak mengurangi kekakuannya. Fungsi dinding geser berubah menjadi dinding penahan beban (*bearing wall*), jika dinding geser menerima beban tegak lurus dinding geser.

Rangka pengaku (*braced frame*) terdiri dari balok dan kolom yang ditambahkan pengaku diagonal. Adanya pengaku diagonal ini akan berpengaruh pada fleksibilitas perpanjangan/perpendekan lantai di mana pengaku tersebut ditempatkan. Rangka pengaku banyak digunakan pada bangunan tinggi yang menggunakan struktur baja. Jenis rangka pengaku yang sering digunakan, diantaranya adalah pengaku diagonal tunggal/ganda, pengaku 'K' (horizontal/vertikal), atau rangka pengaku eksentris.

Pada bangunan tinggi sering digunakan gabungan antara portal penahan momen dengan dinding geser, terutama pada bangunan tinggi yang dibangun di daerah yang terkena pengaruh gempa bumi. Penggabungan antara portal dan dinding geser, terutama bagi bangunan tinggi dengan struktur beton. Hal ini dapat memberikan hasil yang baik untuk memperoleh kekenyalan/daktilitas (*ductility*) dan kekakuan sistem struktur. Penempatan dinding geser dapat dilakukan pada sisi luar bangunan atau pada pusat bangunan. Dinding geser yang ditempatkan pada bagian dalam bangunan biasa disebut

dengan inti struktural (*structural cored*).

### **Dinding Geser**

Dinding geser adalah dinding beton bertulang dengan kekakuan bidang datar yang sangat besar yang ditempatkan pada lokasi tertentu untuk menyediakan tahanan beban horisontal yang diperlukan. Dinding geser biasanya digunakan untuk bangunan dengan pelat lantai datar. Kombinasi pelat dan dinding ini banyak digunakan pada bangunan apartemen yang tinggi dan bangunan residensial lainnya. Pemakaian dinding geser akan sangat efisien dalam menahan beban vertikal maupun beban lateral. Dinding geser dipasang membentang pada keseluruhan jarak vertikal antar lantai. Pada arah horisontal, dinding geser penuh dapat digunakan dan dipasang memanjang pada keseluruhan panjang panel dan bagian utama struktur lainnya. Jika gaya yang terjadi lebih kecil, dinding geser hanya perlu dipasang pada sebagian panjang bagian utama struktur saja.

Dinding geser dapat digunakan untuk menahan gaya lateral saja atau sebagai dinding pendukung. Selain itu dinding geser juga dapat digunakan untuk ruang lift, tangga dan mungkin juga toilet, struktur tipe kotak seperti ini sangat baik dalam menahan gaya horisontal. Dalam beberapa kondisi khusus, dinding geser tidak mungkin digunakan tanpa adanya bukaan didalamnya, seperti bukaan untuk pintu, jendela dan saluran-saluran mekanikal dan elektrik. Pada perencanaanya, penempatan bukaan-

bukaan pada dinding geser harus direncanakan dengan teliti agar bukaan ditempatkan pada bagian-bagian dimana bukaan-bukaan tersebut tidak akan berpengaruh banyak pada kekuatan atau tegangan pada dinding.

Elemen struktur yang relatif kaku akan menarik gaya gempa yang jauh lebih besar daripada elemen struktur yang fleksibel. Dinding geser beton bertulang adalah elemen yang cukup kaku dan dapat menyerap gaya gempa yang besar. Jika dinding geser runtuh maka sisa struktur yang lain tidak akan mampu menahan getaran gempa yang terjadi. Keruntuhan dinding geser dapat diantisipasi dengan cara perhitungan perencanaan dengan teliti dan juga detail penulangan yang efektif, sehingga dinding memiliki tingkat daktilitas yang baik. Hal ini bertujuan agar dinding geser mampu menahan gaya gempa dengan efektif (Paulay, T, 1992). Bangunan beton bertulang tingkat tinggi biasanya direncanakan dengan menggunakan dinding geser sebagai elemen penahan gaya gempa. Bangunan seperti ini telah terbukti bekerja cukup baik pada saat gempa terjadi. Dinding geser juga meminimalkan kerusakan bagian non struktur bangunan seperti jendela, pintu dan lain-lain (MacCormac, 2004).

Bangunan tinggi tahan gempa umumnya menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa

akan terserap oleh dinding geser tersebut.

Dinding geser adalah struktur vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Fungsi utama dari dinding geser adalah menahan beban lateral seperti gaya gempa dan angin. Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

- a. *Bearing Walls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
- b. *Frame Walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.
- c. *Core Walls* adalah dinding geser yang terletak didalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak dikawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

Sedangkan perencanaan dinding geser yang baik tidak terlepas dari pemilihan bentuk dinding, lokasi penempatannya pada denah serta bentuk ragam keruntuhannya. Berikut ini susunan geometris dan bentuk-bentuk dasar yang umum pada dinding geser. Dinding geser pada dasarnya dapat dibagi menjadi sistem terbuka dan sistem tertutup. Sistem terbuka

terdiri dari unsur linear tunggal atau gabungan unsur yang tidak lengkap melingkupi ruang geometris, seperti bentuk L, X, V, Y, T, H. Sebaliknya sistem tertutup melingkupi ruang geometris seperti bentuk persegi, segitiga, persegi panjang dan bulat. Bentuk dan penempatan dinding geser sendiri mempunyai akibat beban yang besar terhadap struktur apabila dibebani secara lateral (Wolfgang Schueller, 1977).

### Elemen Dinding Geser Sebagai Struktur

Pada umumnya dinding geser dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu (Imran, 2008):

1. *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $h_w/I_w \geq 2$ , dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur,
2. *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $h_w/I_w \leq 2$ , dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur,
3. *Coupled shear wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok-balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar dinding tersebut.

Dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk

menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Oleh karena itu, dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa, dimana berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.3.1, tebal minimum dinding geser ( $t_d$ ) tidak boleh kurang dari 100 mm.

Dalam pelaksanaannya dinding geser selalu dihubungkan dengan sistem rangka pemikul momen. Dinding struktural yang biasa digunakan pada gedung tinggi adalah dinding geser kantilever, dinding geser berangkai, dan sistem rangka-dinding geser (*dual system*). Kerja sama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus, dimana dua struktur yang berbeda sifat dan perilakunya digabungkan sehingga diperoleh struktur yang lebih ekonomis. Kerja sama ini dapat dibedakan menjadi beberapa macam sistem struktur berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 3.49-52 yaitu: Sistem ganda yaitu sistem struktur yang merupakan gabungan dari sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser atau bresing. Rangka pemikul momen sekurang-kurangnya mampu menahan 25% dari gaya lateral dan sisanya ditahan oleh dinding geser. Nilai koefisien modifikasi

1. respons ( $R$ ) yang direkomendasikan untuk sistem ganda dengan sistem rangka

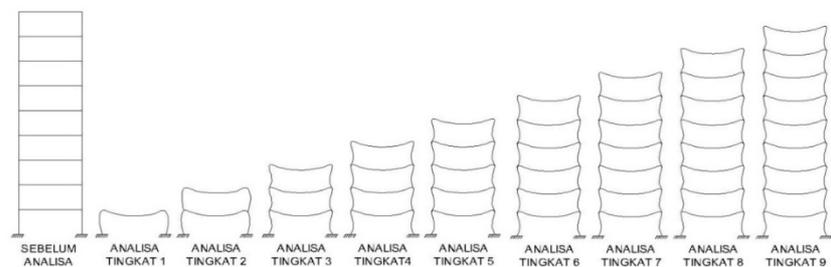
- pemikul momen khusus (SRPMK) adalah 7.
2. Sistem interaksi dinding geser dan rangka yaitu sistem struktur yang merupakan gabungan dari sistem rangka beton bertulang dan dinding geser biasa. Nilai R yang direkomendasikan untuk sistem interaksi dinding geser dan rangka adalah 4,5.
  3. Sistem rangka gedung yaitu sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Pada sistem ini, gaya lateral akibat gempa yang terjadi dipikul oleh dinding geser atau rangka *bresing*.

### Analisis Portal Bertingkat Metode Konstruksi Bertahap

Menurut *Analysis Reference SAP2000* (2002) metode konstruksi bertahap merupakan bagian dari analisa statis nonlinear yang menganalisa struktur dalam beberapa fase tingkat. Urutan analisa pada metode konstruksi bertahap memperhitungkan pengaruh kenonlinearan struktur akibat pelaksanaan bertahap di lapangan. Pada struktur portal bertingkat. Seluruh tingkat pada portal dibangun tidak secara bersamaan, melainkan dimulai dari tingkat satu, tingkat dua, dan seterusnya sampai dengan tingkat teratas.

Langkah awal analisa konstruksi bertahap pada portal bertingkat adalah dengan mendefinisikan masing-masing tingkat kedalam kelompok (*group*) yang berbeda. Setiap elemen struktur (balok, plat, dan kolom) yang termasuk ke dalam tingkat yang sama dikelompokkan menjadi satu kelompok. Semua kelompok yang ada dianalisa dengan urutan analisa sesuai dengan urutan pelaksanaan di lapangan.

Analisa dimulai dari kelompok tingkat terbawah yaitu tingkat satu. Seluruh hasil analisa tingkat satu (gaya dalam dan deformasi) merupakan kondisi awal bagi analisa tingkat selanjutnya. Demikian seterusnya sampai analisa tingkat teratas selesai sesuai dengan yang ditunjukkan dengan gambar 2.1



Gambar 2.1 Tahapan analisis metode konstruksi bertahap

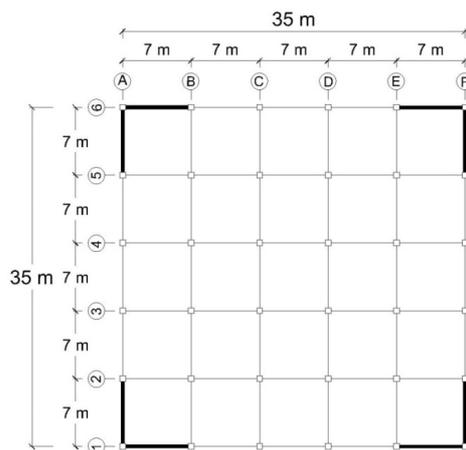
(Sumber: Arman Agustina, 2005)

### III. METODE PENELITIAN

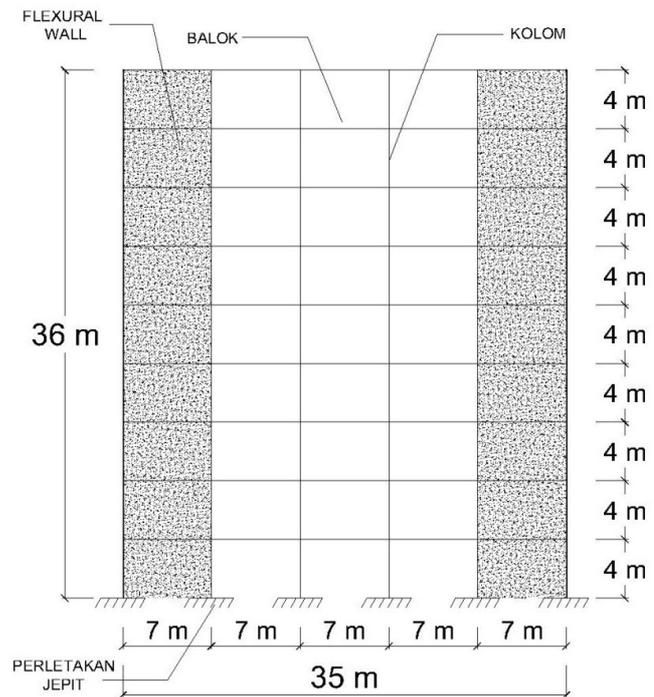
Metode penelitian ini menggunakan metode analisis perancangan yang bersifat fiktif. Pada penelitian ini dirancang bangunan yang memiliki fungsi hunian gedung digunakan sebagai gedung perkantoran yang direncanakan berukuran 35 x 35 m, terdiri atas 9 tingkat termasuk pelat

atap dengan tinggi tiap lantai 4 m. Panjang bentang balok memiliki jarak 7 m pada arah sumbu X dan arah sumbu Y. Bangunan ini diasumsikan berlokasi didaerah Denpasar dengan jenis tanah sedang (SD).

Dalam perancangan ini akan dimodelkan satu jenis struktur bangunan yaitu struktur beton dengan dinding geser beton bertulang. Kemudian model struktur itu akan dianalisa dengan analisis yang berbeda, menggunakan analisis konvensional dan analisis konstruksi bertahap. Sistem penahan beban lateral ini menggunakan dinding geser beton bertulang kantilever (*Flexural Wall*). Faktor reduksi gempa yang digunakan pada struktur gedung dengan shear wall,  $R = 8,5$  karena struktur ini menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus menggunakan pengaku dinding geser beton bertulang khusus (SNI 03-1726-2012).



Gambar 3.1 Denah gedung tingkat 9 dengan shear wall bentuk L-Shape



Gambar 3.2 Portal dengan shear wall

### Langkah-langkah Analisis

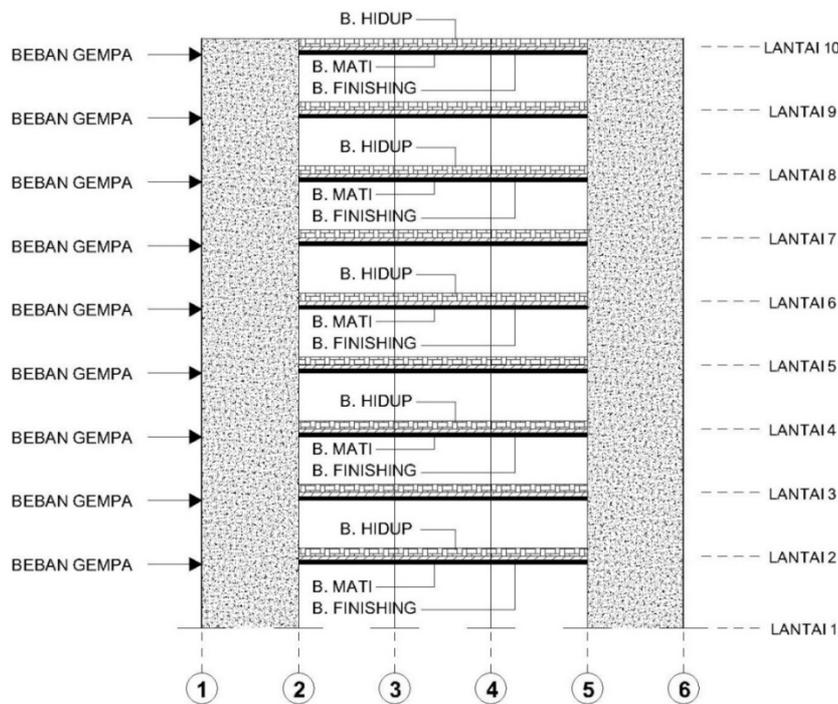
1. Pertama menentukan dimensi komponen struktur, kemudian menginput dimensi elemen struktur yang telah ditentukan sebelumnya.
2. Menggambar struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan shearwall bentuk L-Shape pada Layout SAP2000 Versi 14.2.2.
3. Menentukan dan menginput beban-beban yang bekerja pada struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan shearwall bentuk L-Shape.
4. Melakukan perhitungan beban mati, beban tambahan, beban hidup yang akan bekerja pada struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan shearwall.

5. Melakukan perhitungan bobot struktur tiap lantai untuk mendapatkan beban gempa karena dalam perencanaannya menggunakan analisis statik ekuivalen.
6. Menginput beban-beban pada struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shearwall* yang sebelumnya sudah diperhitungkan.
7. Melakukan 2 analisis yang berbeda yaitu : analisis konvensional dan analisis konstruksi bertahap terhadap model struktur dengan *shearwall* dengan bantuan software SAP2000 v14.2.2 untuk mengetahui besarnya nilai dari gaya-gaya dalam dan deformasi.

Langkah-langkah analisis sebagai berikut:

1. Studi literatur dan pengumpulan data.
2. Input data properties materials dan data geometri.  
merupakan material yang digunakan untuk plat lantai, plat atap dan dinding geser.
3. Pemodelan struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shearwall* (Bentuk L-Shape).
4. Perhitungan beban gempa dengan analisis statik ekuivalen.
5. Input Pembebanan pada model struktur.
6. Melakukan 2 (dua) analisis yang berbeda Analisis Konvensional dan Analisis Konstruksi Bertahap.
7. Melakukan kontrol berdasarkan kinerja batas layan, kinerja batas

ultimit, simpangan antar lantai ijin.



Gambar 3.3 Ketentuan analisis Konvensional

8. Melakukan perbandingan hasil gaya-gaya dalam, deformasi, dan simpangan struktur untuk mengetahui pengaruh analisis konstruksi bertahap pada struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan kekuatan *shear wall*.
9. Membuat kesimpulan dari hasil penelitian.

#### Data-Data Model Struktur

Properties material untuk keenam model :

- a. Faktor reduksi gempa  
= 7 (untuk Rx dan Ry *shear wall*)
- b. Mutu beton = 30 Mpa
- c. Mutu baja tul. longitudinal (fy)  
= 400 Mpa
- d. Mutu baja tul. transversal (fys)  
= 240 Mpa
- e. Modulus elastisitas beton  
=  $4700 \times \sqrt{f'_c}$  MPa
- f. Modulus elastisitas baja  
= 200000 MPa
- g. Poison ratio = 0,2

Data-Data struktur untuk keenam model :

- a. Fungsi Bangunan = Perkantoran
- b. Wilayah Gempa = Denpasar
- c. Luas setiap lantai = 35 x 35 m
- d. Jumlah Tingkat = 9
- e. Tinggi Bangunan = 36 m
- f. Tebal pelat lantai = 15 cm
- g. Tebal pelat atap = 12 cm
- h. Estimasi Tebal dinding geser  
= 35 cm
- i. Estimasi dimensi baok induk  
= 30/60 cm
- j. Estimasi dimensi kolom  
= 40/40 cm

#### Beban Struktur

Pada model struktur akan diberikan kombinasi beban sesuai dengan SNI 1726-2012. Pada analisis konvensional beban yang bekerja berupa beban gravitasi, dan beban gempa. Sedangkan pada analisis konstruksi bertahap beban bekerja berupa beban gravitasi, beban gempa ditambah dengan beban dari berat konstruksi bekisting dan berat beton basah. Beban gravitasi berupa beban mati, beban mati tambahan (*finishing*) beban hidup, sedangkan beban gempa yang digunakan pada pemodelan adalah sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI 1726-2012). Adapun analisis akan dibantu program SAP2000 V14.2.2.

#### Data Beban Struktur

Pembebanan untuk analisa konvensional adalah sebagai berikut :

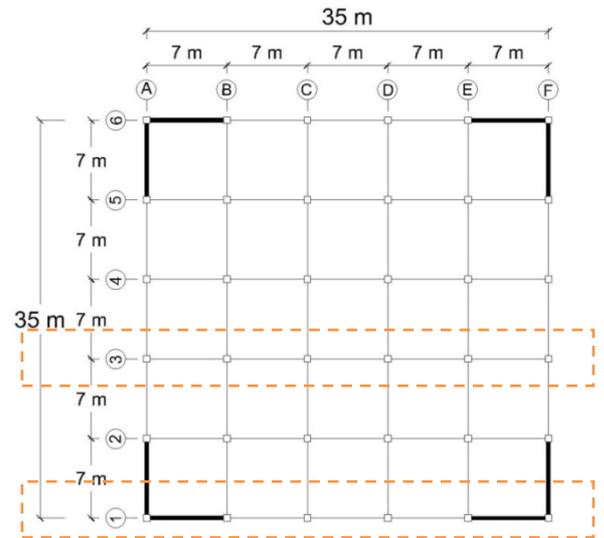
- a. Beban mati yang merupakan berat sendiri elemen-elemen utama struktur yaitu balok, kolom dan plat.
- b. Beban mati tambahan (*finishing*), terdiri dari :
  - a) Spesi penutup 3 cm =  $3 \times 21$   
=  $63 \text{ kg/m}^2$
  - b) Plafond + Penggantung  
=  $18 \text{ kg/m}^2$
  - c) Keramik =  $24 \text{ kg/m}^2$
  - d) Screed Lantai adukan 4 cm =  $4 \times 21$   
=  $84 \text{ kg/m}^2$
  - e) Instalasi MEP =  $40 \text{ kg/m}^2$
  - f) Dinding  $\frac{1}{2}$  bata  
=  $250 \text{ kg/m}^2$

- c. Beban hidup
  - a) Beban hidup pada pelat atap =  $100 \text{ kg/m}^2$
  - b) Beban hidup pada tingkat pelat lantai =  $250 \text{ kg/m}^2$
- 2. Pembebanan untuk analisa konstruksi bertahap sama dengan pembebanan pada analisa konvensional dengan tambahan beban sebagai berikut.
  - a. Berat konstruksi bekisting =  $250 \text{ kg/m}^2$ . (Frick dan Moediartianto, 2004)
  - b. Berat beton basah =  $\pm 2500 \text{ kg/m}^3$  (Frick dan Moediartianto, 2004)

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini, dibuat sebuah model struktur portal bertingkat simetris dengan *shear wall* dan dianalisis menggunakan metode konvensional dan metode konstruksi bertahap. Model struktur memiliki jumlah 9 lantai dan masing-masing tiap lantai memiliki ketinggian 4 m (tinggi 36 m). Nilai faktor reduksi gempa yang dimasukkan sebesar  $R = 7$ , dimana model struktur dianalisis dengan SAP2000 versi 14.2.2 sebagai model 3D dengan menyertakan model pelat, dimana balok dan kolom dimodel sebagai elemen *frame*, pelat dan dinding geser dimodel sebagai elemen *shell*. Pembahasan dilakukan dengan membandingkan model struktur yang dianalisis secara berbeda dengan tujuan untuk mengetahui gaya-gaya dalam dan deformasi struktur.

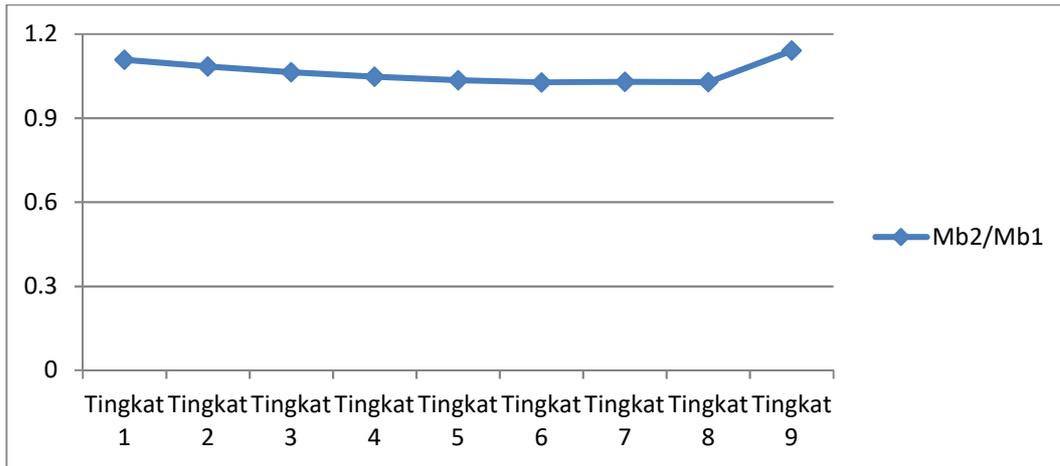
Dari hasil analisis terhadap model struktur tersebut, akan dilanjutkan dengan proses pengolahan data output SAP2000 untuk dibuatkan tabel. Kemudian dari tabel tersebut dibuatkan grafik terhadap hasil gaya-gaya dalam dan deformasi yang dianalisis dengan metode konvensional dan metode konstruksi bertahap. Portal yang ditinjau dalam penelitian ini adalah portal tepi dan portal tengah dengan memanfaatkan kesimetrisan geometri struktur. Gambar 4.1 menunjukkan portal yang ditinjau untuk perbandingan.



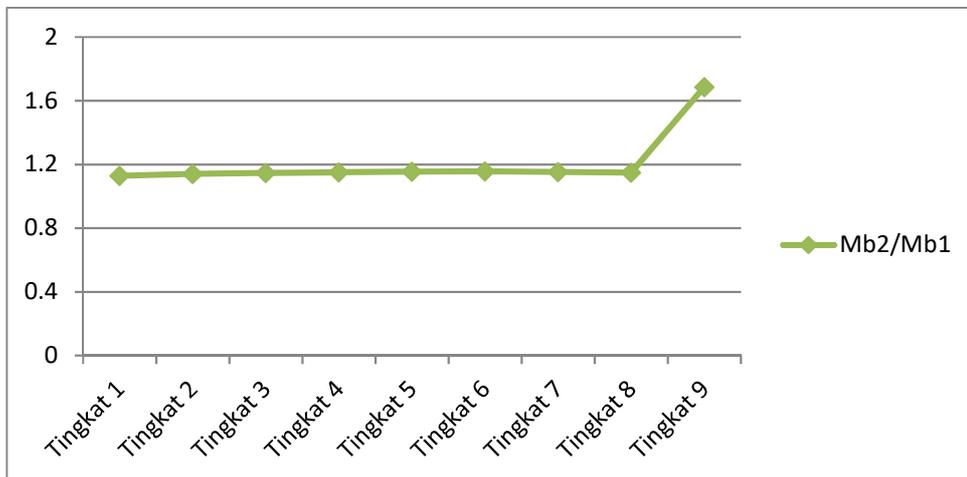
Gambar 4.1 Portal yang ditinjau untuk perbandingan

**Hasil Analisis**

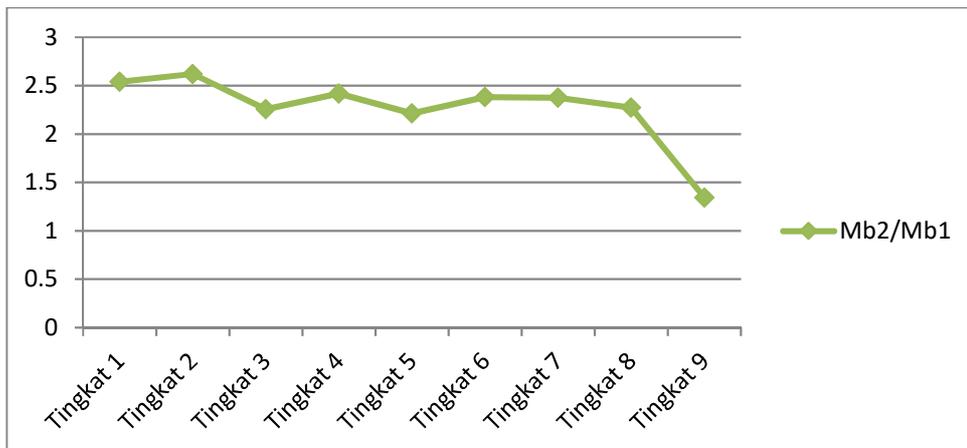
Hasil analisis adalah rasio gaya-gaya dalam analisis konstruksi bertahap dengan analisis konvensional (subscript 2 / subscript 1) seperti terlihat dalam Gambar berikut ini.



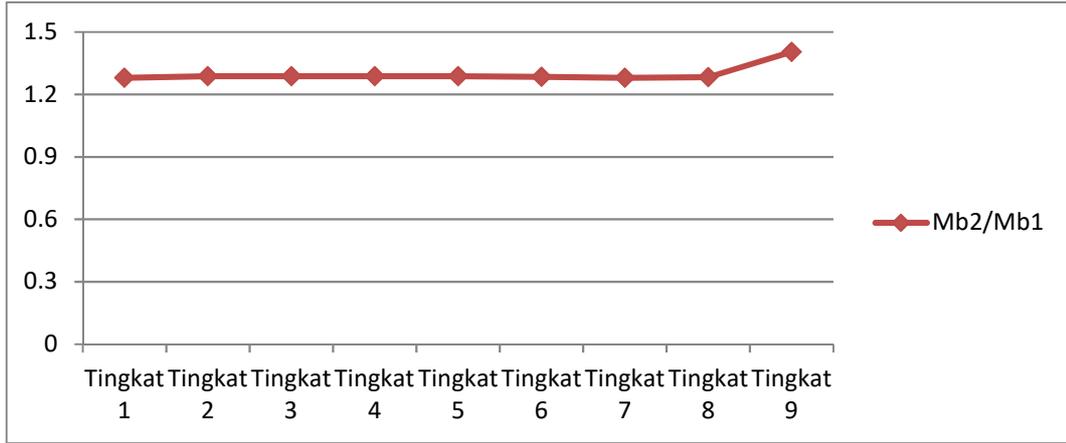
Gambar 4.2 Rasio momen positif balok grid C – D portal tepi akibat beban gravitasi.



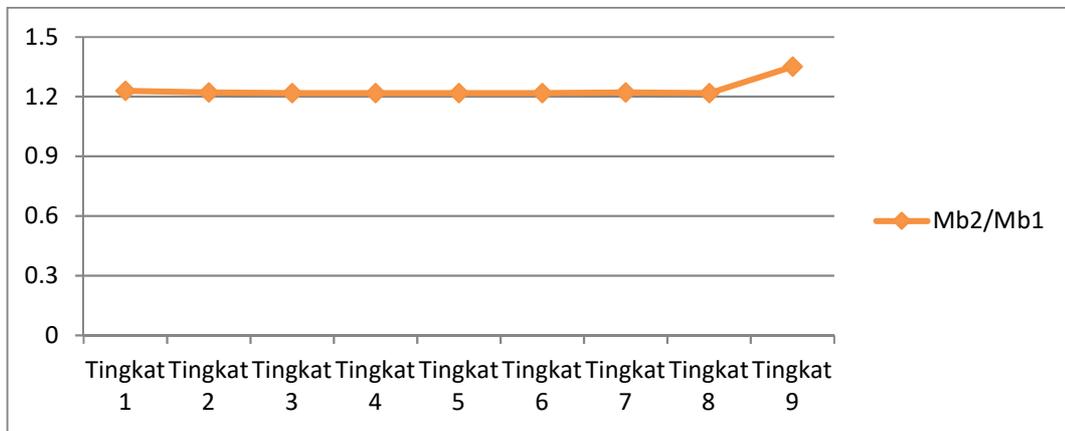
Gambar 4.3 Rasio momen negatif balok grid C – D portal tepi akibat beban gravitasi.



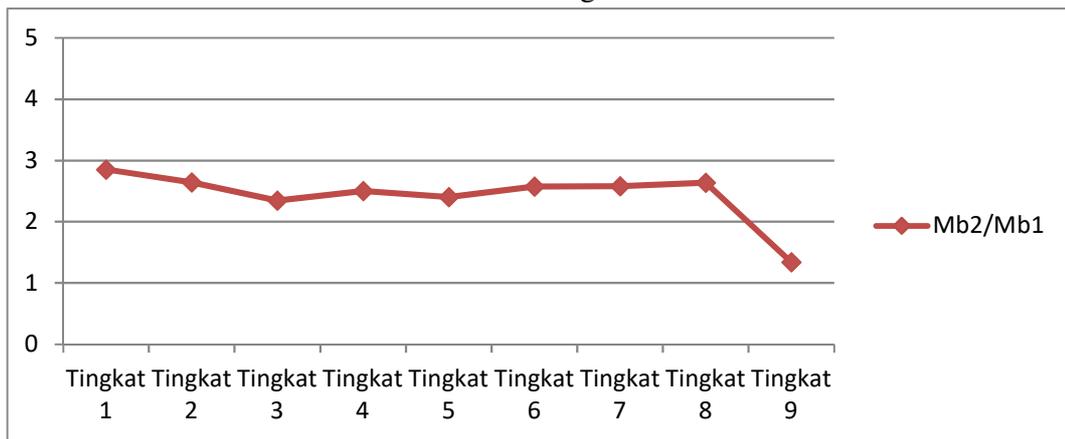
Gambar 4.4 Rasio momen negatif balok grid C – D portal tepi akibat beban gempa.



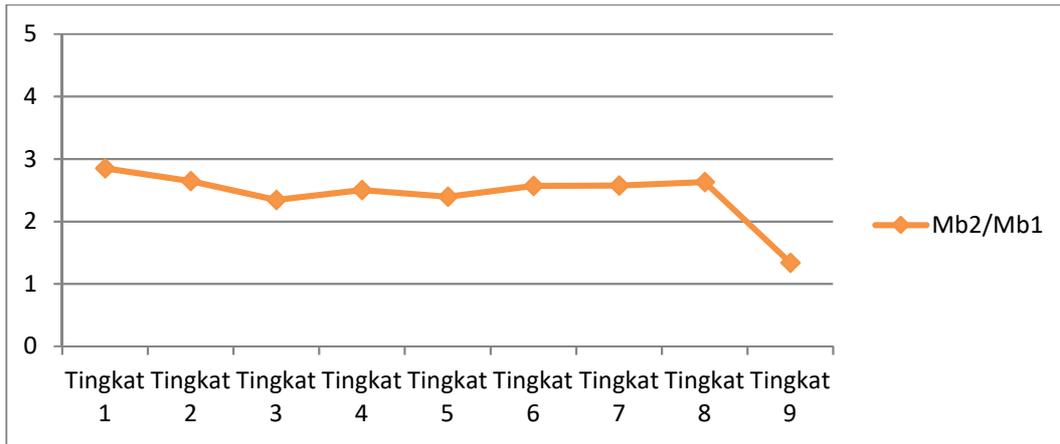
Gambar 4.5 Rasio momen positif balok grid C – D portal tengah akibat beban gravitasi.



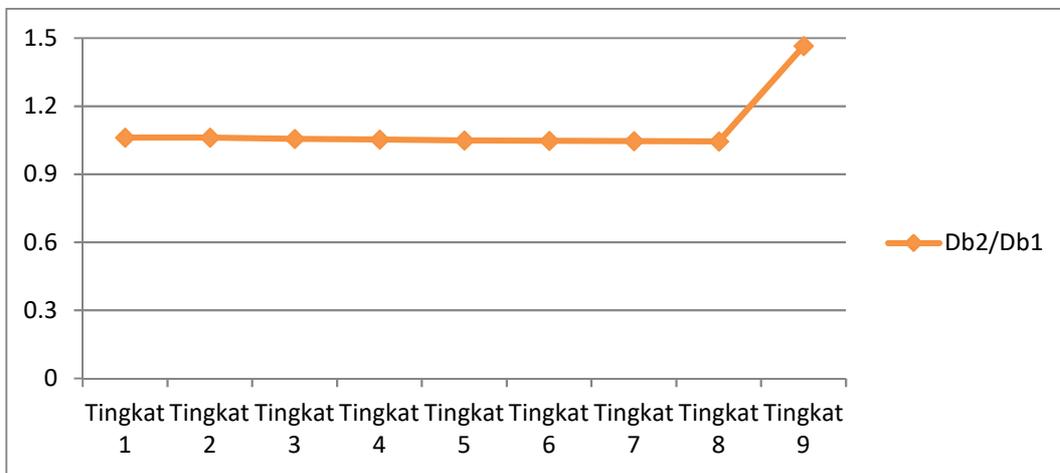
Gambar 4.6 Rasio momen negatif balok grid C – D portal tengah akibat beban gravitasi.



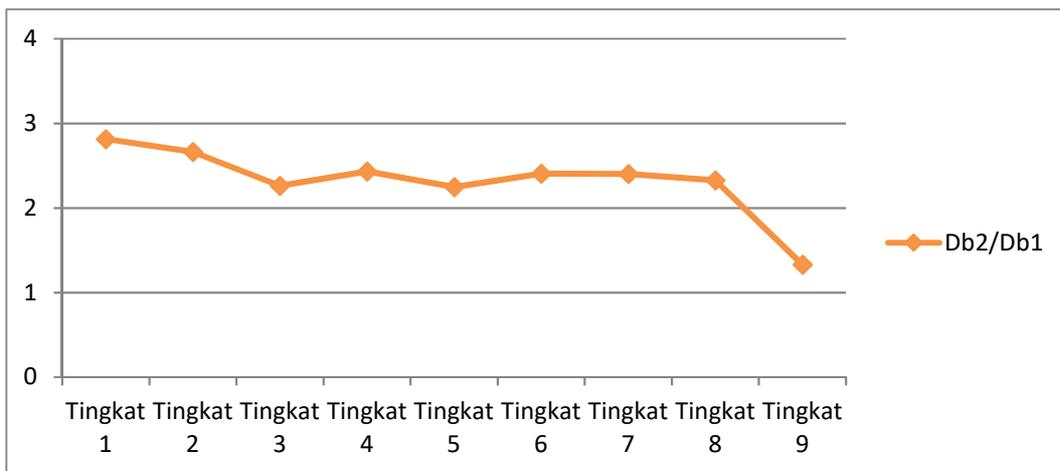
Gambar 4.7 Rasio momen positif balok grid C – D portal tengah akibat beban gempa.



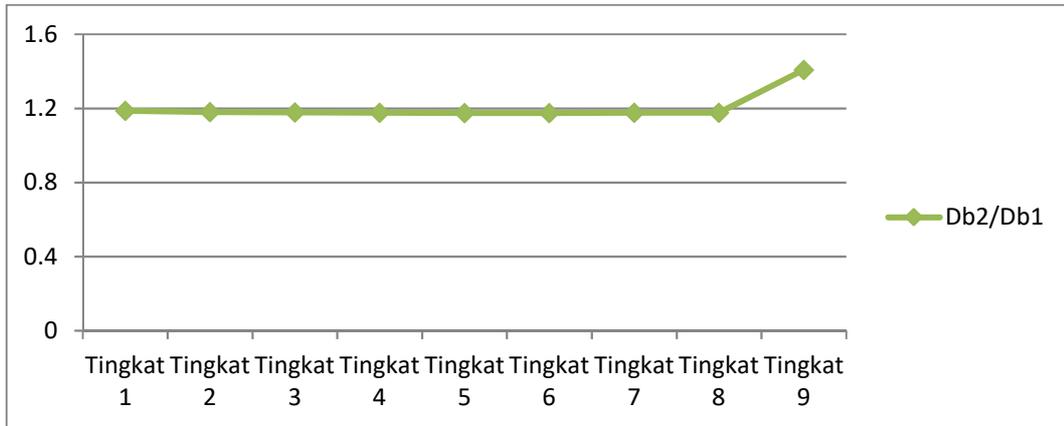
Gambar 4.8 Rasio momen negatif balok grid C – D portal tengah akibat beban gempa.



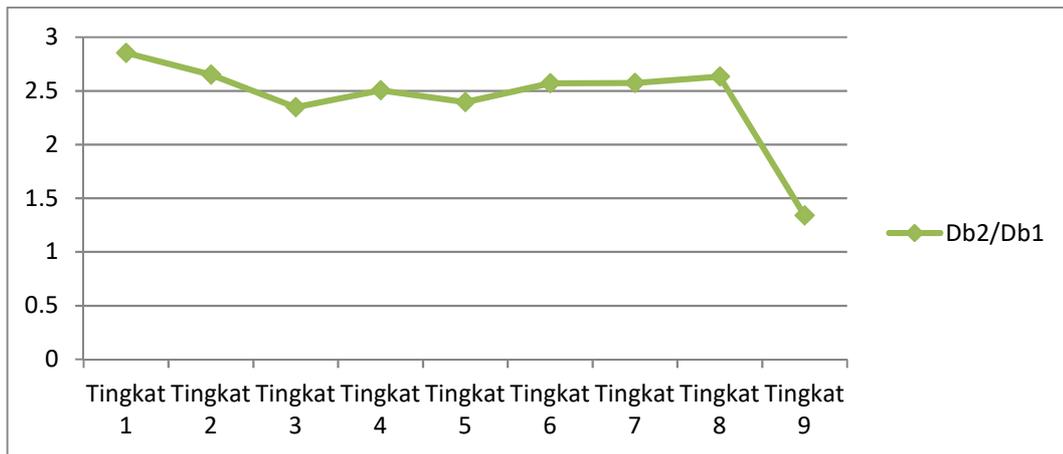
Gambar 4.9 Rasio gaya geser maksimum balok grid C – D portal tepi akibat beban gravitasi.



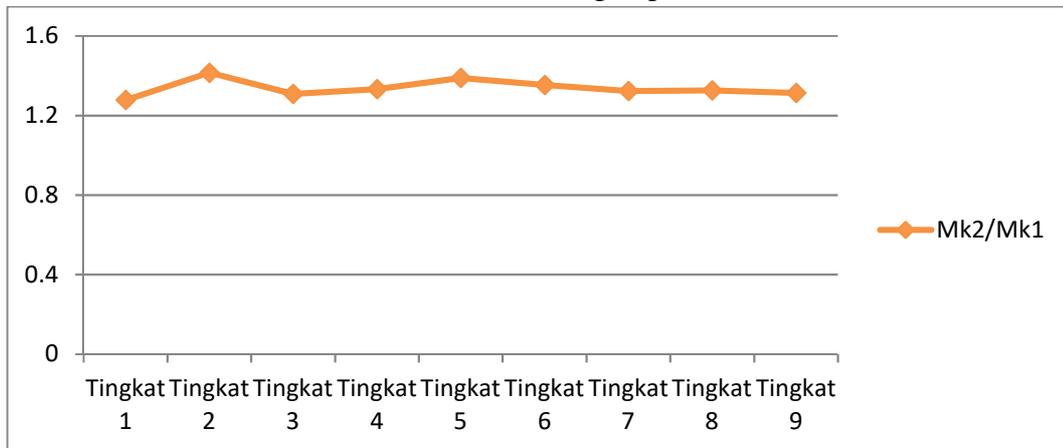
Gambar 4.10 Rasio gaya geser maksimum balok grid C – D portal tepi akibat beban gempa.



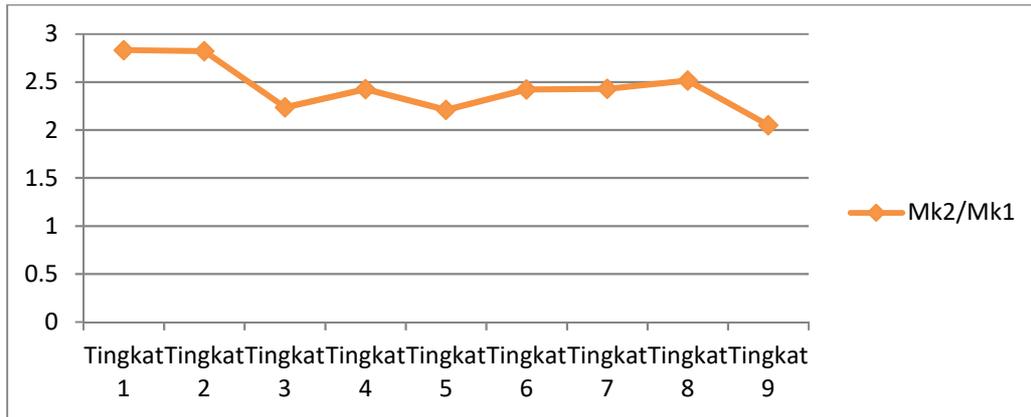
Gambar 4.11 Rasio gaya geser maksimum balok grid C – D portal tengah akibat beban gravitasi.



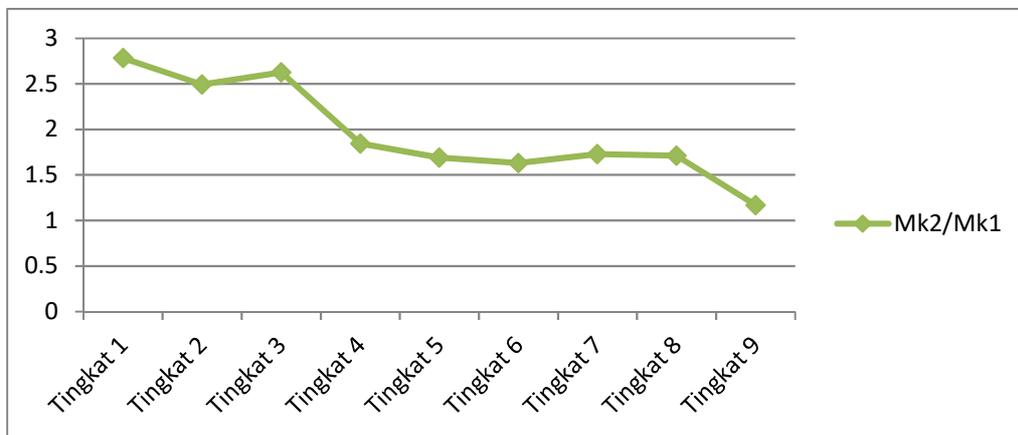
Gambar 4.12 Rasio gaya geser maksimum balok grid C – D portal tengah akibat beban gempa.



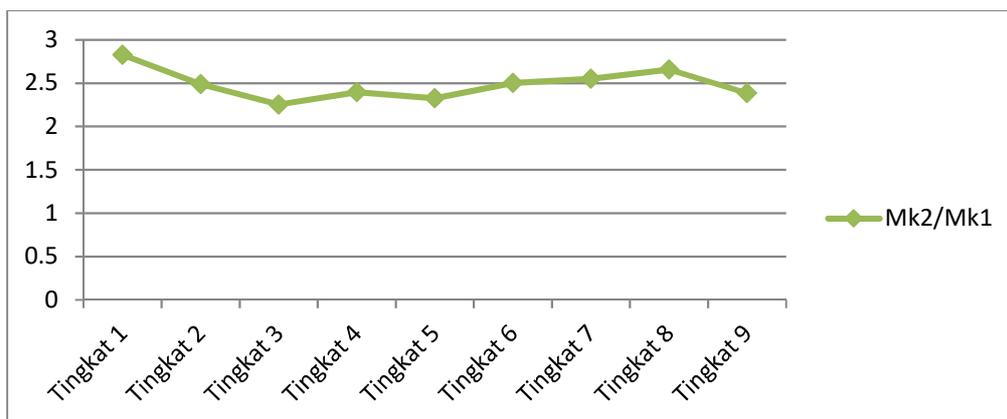
Gambar 4.13 Rasio momen maksimum kolom grid D portal tepi akibat beban gravitasi.



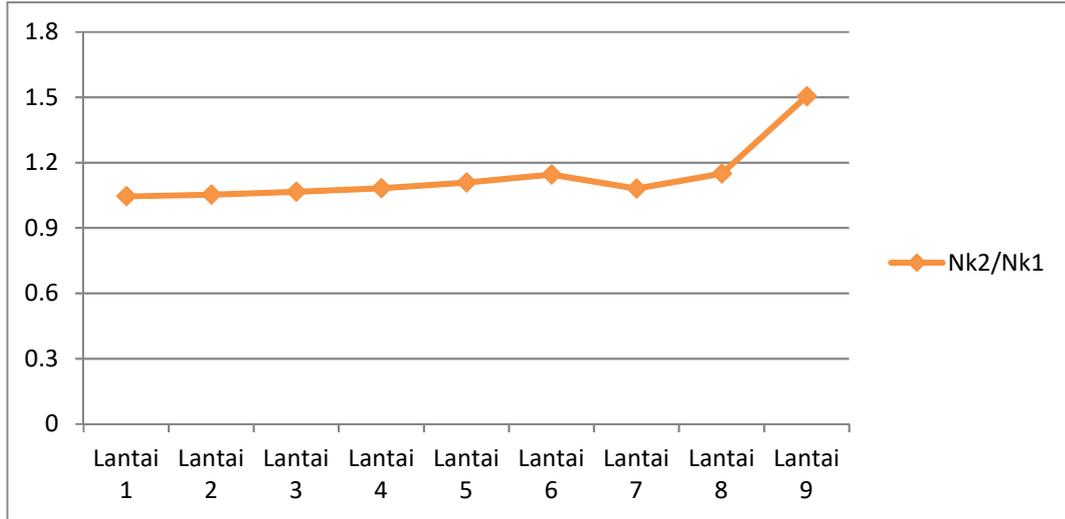
Gambar 4.14 Rasio momen maksimum kolom grid D portal tepi akibat beban gempa.



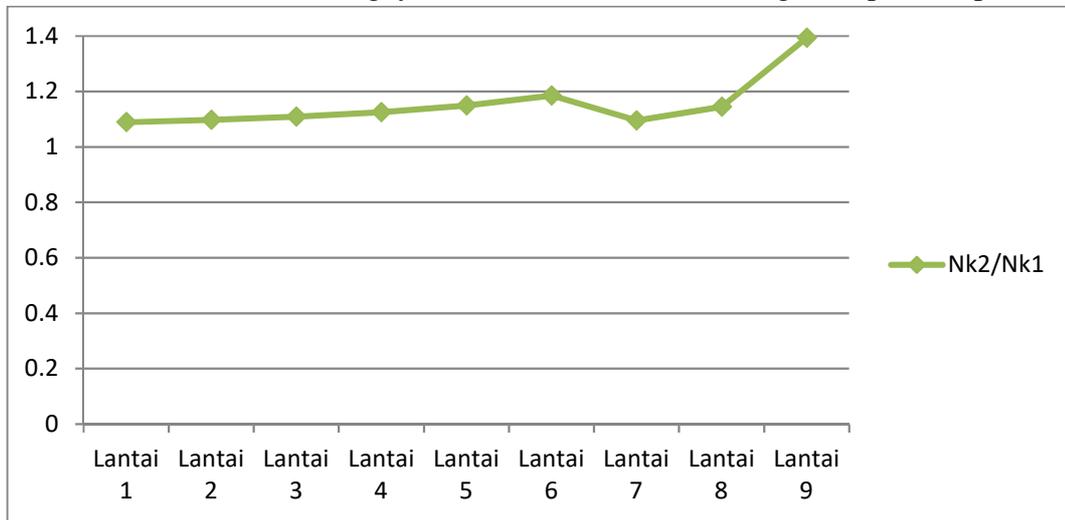
Gambar 4.15 Rasio momen maksimum kolom grid D portal tengah akibat beban gravitasi.



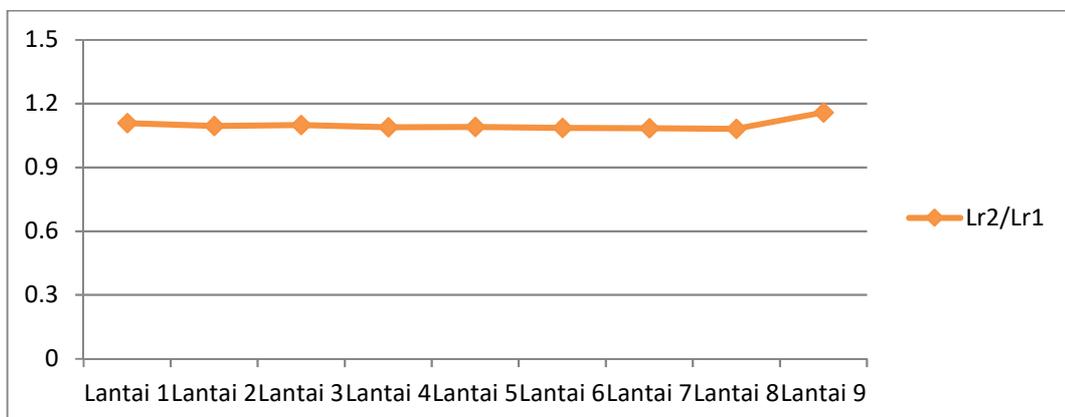
Gambar 4.16 Rasio momen maksimum kolom grid D portal tengah akibat beban gempa.



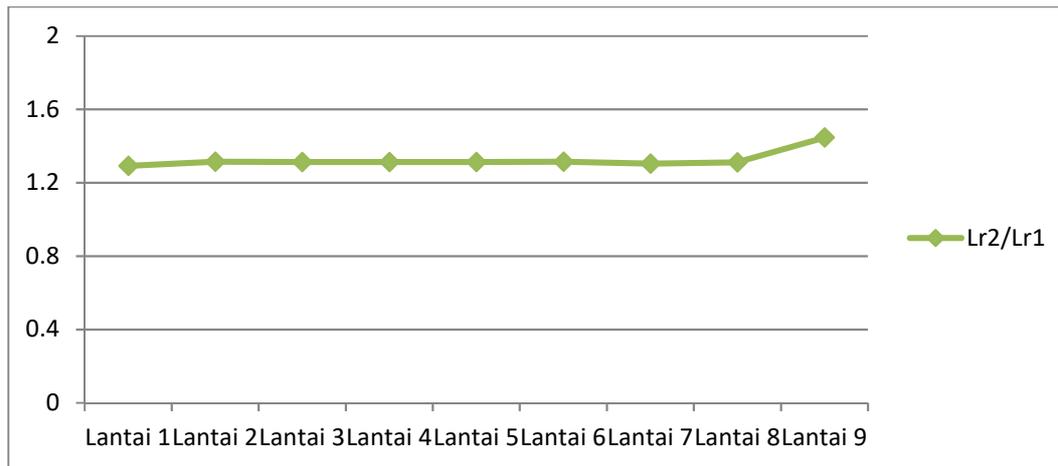
Gambar 4.17 Rasio gaya normal maksimum kolom grid D portal tepi



Gambar 4.18 Rasio gaya normal maksimum kolom grid D portal tengah



Gambar 4.19 Rasio lendutan relatif balok grid C – D portal tepi



Gambar 4.20 Rasio lendutan relatif balok grid C – D portal tengah

## V. PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil analisis dengan program SAP2000 versi 14.2.2 pada struktur portal bertingkat simetris dengan penambahan perkuatan *shear wall* yang dianalisis dengan analisis konvensional dan analisis konstruksi bertahap untuk mengetahui gaya-gaya dalam dan deformasi, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Momen positif balok grid C – D akibat beban gravitasi pada portal tepi dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{b2}$  positif) mencapai nilai maksimum pada tingkat 7 yaitu sebesar 56,58 KNm dengan rasio  $M_{b2}/M_{b1}$  sebesar 1,030. Sedangkan momen negatif balok pada portal tepi dengan analisis konstruksi bertahap  $M_{b2}$  negatif mencapai nilai maksimum pada tingkat 2 yaitu sebesar 120,85 KNm dengan rasio sebesar 1,142 KNm. Momen positif maksimum balok grid C – D portal tengah akibat beban gravitasi dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{b2}$

positif) mencapai nilai maksimum pada tingkat 2 yaitu sebesar 89,49 KNm dengan rasio  $M_{b2}/M_{b1}$  sebesar 1,287. Untuk momen negatif balok grid C – D portal tengah akibat beban gravitasi dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{b2}$  negatif) mencapai nilai maksimum pada tingkat 7 yaitu sebesar 197,52 KNm dengan rasio  $M_{b2}/M_{b1}$  sebesar 1,221 KNm.

2. Momen positif balok grid C – D pada portal tepi akibat beban gempa dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{b2}$  positif) mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 yaitu sebesar 8,691 KNm dengan rasio  $M_{b2}/M_{b1}$  sebesar 2,319. Sedangkan momen negatif balok pada portal tepi dengan analisis konstruksi bertahap  $M_{b2}$  negatif mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 yaitu sebesar 7,931 KNm dengan rasio sebesar 2,271 KNm. Momen positif maksimum balok grid C – D portal tengah akibat beban gempa dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{b2}$  positif)

- mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 yaitu sebesar 9,716 KNm dengan rasio  $M_{b2}/M_{b1}$  sebesar 2,638. Untuk momen negatif balok grid C – D portal tengah akibat beban gempa dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{b2}$  negatif) mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 yaitu sebesar 9,706 KNm dengan rasio  $M_{b2}/M_{b1}$  sebesar 2,631 KNm.
3. Gaya geser maksimum balok grid C – D pada portal tepi akibat beban gravitasi dengan analisis konstruksi bertahap ( $Db_2$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 yaitu sebesar 88,56 KNm dengan rasio  $Db_2/Db_1$  sebesar 1,059 KNm. Gaya geser balok grid C – D pada portal tengah akibat beban gravitasi dengan analisis konstruksi bertahap  $Db_2$  mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 yaitu sebesar 145,85 KNm dengan rasio  $Db_2/Db_1$  sebesar 1,190.
  4. Gaya geser maksimum balok grid C – D pada portal tepi akibat beban gempa dengan analisis konstruksi bertahap ( $Db_2$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 yaitu sebesar 3,145 KNm dengan rasio  $Db_2/Db_1$  sebesar 2,328 KNm. Gaya geser balok grid C – D pada portal tengah akibat beban gempa dengan analisis konstruksi bertahap  $Db_2$  mencapai nilai maksimum pada tingkat 8 yaitu sebesar 3,997 KNm dengan rasio  $Db_2/Db_1$  sebesar 2,631.
  5. Momen maksimum kolom grid D pada portal tepi akibat beban gravitasi dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{k2}$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 9 yaitu sebesar 49,246 KNm dengan rasio  $M_{k2}/M_{k1}$  sebesar 1,314 KNm. Momen maksimum kolom grid D portal tengah akibat beban gravitasi dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{k2}$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 9 sebesar 3,645 KNm, dengan rasio perbandingan  $M_{k2}/M_{k1}$  sebesar 1,169.
  6. Momen maksimum kolom grid D pada portal tepi akibat beban gempa dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{k2}$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 9 yaitu sebesar 17,746 KNm dengan rasio  $M_{k2}/M_{k1}$  sebesar 1,039 KNm. Momen maksimum kolom grid D portal tengah akibat beban gempa dengan analisis konstruksi bertahap ( $M_{k2}$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 9 sebesar 13,471 KNm dengan rasio perbandingan  $M_{k2}/M_{k1}$  sebesar 2,385.
  7. Gaya normal maksimum kolom grid D portal tepi dengan analisis konstruksi bertahap ( $N_{k2}$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 1 yaitu sebesar 2992,66 KNm dengan angka rasio  $N_{k2}/N_{k1}$  sebesar 1,045 KNm. Gaya normal maksimum kolom grid D pada portal tengah dengan analisis konstruksi bertahap ( $N_{k2}$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 1 yaitu sebesar 5636,72 KNm dengan nilai rasio ( $N_{k2}/N_{k1}$ ) sebesar 1,089 KN.

8. Lendutan relatif balok grid C – D pada portal tepi dengan analisis konstruksi bertahap ( $Lr_2$ ) mencapai nilai maksimum pada lantai 8 yaitu sebesar 4,08 mm dengan nilai rasio perbandingan ( $Lr_2/Lr_1$ ) sebesar 1,082 mm. Lendutan relatif balok grid C – D pada portal tengah dengan analisis konstruksi bertahap ( $Lr_2$ ) mencapai nilai maksimum pada tingkat 2 yaitu sebesar 5,84 mm dengan rasio ( $Lr_2/Lr_1$ ) sebesar 1,315 mm.
9. Analisis konstruksi bertahap mengalami simpangan yang lebih besar daripada simpangan yang terjadi dengan analisis konvensional. Rasio persentase perbedaan simpangan pada lantai dengan analisis konstruksi bertahap dan analisis konvensional secara berturut-turut sebesar, Perbedaan simpangan tersebut diakibatkan pada analisis konvensional diasumsikan beban gempa hanya terjadi sekali dan ketika struktur telah selesai atau siap beroperasi. Berbeda dengan analisis konstruksi bertahap yang diasumsikan beban gempa terjadi berulang kali mulai dari tahapan tingkat 1 sampai tahapan tingkat 9. Dan pada struktur dengan analisis konstruksi bertahap mengalami beban lebih besar karena ditambah dengan beban bekisting, beban pelaksanaan dan berat beton basah.

#### Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan penggunaan dinding geser dan konfigurasi penempatannya yang berbeda untuk mendapatkan perilaku struktur yang lebih baik.
2. Setelah mengetahui hasil analisis konstruksi bertahap dengan perkuatan shear wall, maka sebaiknya dalam analisis struktur dengan perkuatan menggunakan analisis konstruksi bertahap.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (1983). *Peraturan Pembebanan Untuk Gedung*, PPIUG 1983 Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Anonim, (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Struktur Bangunan Gedung*, SNI-2847-2002, Jakarta: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Anonim, (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*, SNI 03-1726-2002, Jakarta: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Anonim, (2012). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*, SNI 03-1726-2012, Jakarta: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Anonim, (2013). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Struktur Bangunan Gedung*, SNI-2847-2013, Jakarta: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.

- Anonim, (2002). *Analysis Reference Manual SAP2000*, Computers and Structures, Inc. California, USA.
- Anonim, (2015). *Software Verification Examples SAP2000*, Computers and Structures, Inc. California, USA.
- Arman Agustina, I Putu Eka, (2005). *Analisis Portal Bertingkat Dengan Metode Konstruksi Bertahap*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- Bagiarta, I Ketut Yasa, (2010). *Analisis Konstruksi Bertahap Pada Portal Beton Bertulang Dengan Variasi Panjang Bentang Dan Jumlah Tingkat*, Konferensi Nasional Teknik Sipil 4, Sanur-Bali.
- Churrohman, Fat, (2012). *Studi Perilaku Dinding Geser Beton Bertulang dan Dinding Geser Pelat Baja Dengan Analisis Statik Non-Linier Pushover*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Fintel, M. (1991). *Shearwalls – An Answer for Seismic Resistance? Point of view :30, Years of Observation on the Performance of Buildings with Shearwalls in Earthquakes*. Concrete International, 1991. Vol.13, No.7.
- Heinz Frick, Moerdiartianto. 2004. *Ilmu Konstruksi Bangunan Kayu*. Edisi ketiga. Kanisius, Yogyakarta.
- Imran, I., et al. (2008). *Aplicability Metode Desain Kapasitas pada Perancangan Struktur Dinding Geser Beton Bertulang*. Seminar dan Pameran HAKI – Pengaruh Gempa dan Angin terhadap Struktur.
- Lin, T. Y. dan Sydney D. Stotesbury. (1981). *Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers*. New York: John Wiley and Sons.
- MacCormac, J.C. (2004) *Desain Beton Bertulang*, edisi kelima, Terjemahan Sumargo, Ph.D, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Melina, (2014). *Analisis Konstruksi Bertahap Pada Struktur Rangka Dengan Dinding Pengisi*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- Nur A, Gita. (2011) *Diafragma dan Dinding Geser*. Jakarta : Erlangga
- Pantazopoulou, S. J. dan Imran, I. (1992). *Wall Connections Under Lateral Forces*. ACI Structural Journal.
- Paulay, T., Priestley, M.J.N., (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Mansory Buildings*, Canada : Jhon Wiley & sons, Inc.
- Pranata, Yosafat Aji, (2011). *Pemodelan Dinding Geser Bidang Sebagai Elemen Kolom Ekuivalen pada Gedung Beton Bertulang Bertingkat Rendah*, Jurnal Teknik Sipil Vol.7 : 85-96.
- Stankevicius, Joseph. (2011). *A Design Guide for Steel Plate Shear Walls in Canada*. University of Alberta.
- Schodek, D. L. (1991). *Structures*, terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: PT Eresco.
- Schueller, Wolfgang. (1989). *High-rise Building Structures*. terjemahan Januar Hakim. Bandung: Refika Aditama
- Sukrawa, Made, (2015). *Analisis Konstruksi Bertahap Pada Struktur Rangka Terbuka Beton Bertulang Dengan Perkuatan Breising Baja*, Jurusan Teknik

- Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Udayana.
- Widyawati, Ni Luh Kade, (2006).  
*Perilaku Dinamis Struktur  
Beton Bertulang Dengan  
Berbagai Tipe Konfigurasi dan  
Posisi Dinding Geser*, Jurusan  
Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Udayana.
- Winanto, Dian Budhi (2010).  
*Perubahan Nilai Simpangan  
Horisontal Bangunan  
Bertingkat Setelah Pemasangan  
Dinding Geser Pada Tiap  
Sisinya*, Jurusan Teknik Sipil,  
Fakultas Teknik, Universitas  
Sebelas Maret.