

Desain Ulang Gedung dengan Penambahan Outrigger dan Shear wall pada Proyek Hotel El Royale Malioboro

Redesign the Building with the Additional of Outrigger and Shear wall at Hotel El Royale Malioboro Project

Jefri Pratama, Yoga A. Harsoyo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Gedung Hotel EL Royale merupakan sebuah proyek pembangunan baru yang dimulai pengerjaannya pada akhir tahun 2018. Dengan lokasi gedung di daerah Yogyakarta yang tentunya merupakan daerah yang rawan akan terjadinya gempa bumi maka dilakukan penelitian terhadap struktur gedung dengan tujuan mendapatkan struktur yang paling efisien serta mampu menahan beban gempa yang direncanakan. Penelitian ini dilakukan menggunakan beberapa percobaan yaitu struktur gedung tanpa perkuatan khusus, struktur gedung dengan perkuatan *outrigger*, dan struktur gedung dengan perkuatan *shear wall*. Dalam analisis strukturnya digunakan software *SAP2000* untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi serta beberapa parameter lainnya seperti periode getar alami, partisipasi massa, gaya geser dasar (*base shear*), gaya geser antar lanatai (*story shear*), dan simpangan (*drift ratio*). Hasil dari penelitian ini dituangkan dalam persentase terhadap perubahan dari nilai parameter-parameter yang ditinjau untuk struktur dengan perkuatan *outrigger* dan struktur dengan perkuatan *shear wall* terhadap struktur tanpa perkuatan khusus. Untuk struktur dengan perkuatan *outrigger* mengalami penurunan periode getar alami 15,21%; *base shear* naik sebesar 13,452%; *story shear* naik sebesar 46,53%; *drift ratio* turun sebesar 96,31%; serta kebutuhan tulangan balok yang naik 100% pada salah satu elemen dan salah satu elemen kolom yang naik 27,27%. Untuk struktur dengan perkuatan *shear wall* mengalami penurunan periode getar alami 7,85%; *base shear* naik sebesar 17,608%; *story shear* naik sebesar 29,09%; *drift ratio* turun sebesar 23,47%; serta kebutuhan tulangan balok yang naik 50% pada salah satu elemen dan kolom yang tidak mengalami perubahan atau 0,00%.

Kata kunci: *Outrigger, Shear wall, Base shear, Drift ratio, Tulangan.*

Abstract. The EL Royale Hotel building is a new development project that began its work at the end of 2018. With the location of buildings in the Yogyakarta area which is certainly an area prone to earthquakes, research on building structures is aimed at getting the most efficient structure and able to withstand loads planned earthquake. This research was conducted using several experiments, namely building structures without special percutaneous, building structures with outrigger reinforcement, and building structures with reinforcement shear wall. In its structural analysis *SAP2000* software is used to determine the internal forces that occur as well as several other parameters such as natural vibration period, mass participation, base shear style, sliding force between stories (*drift ratio*), and drift ratio. The results of this study are expressed in percentages of changes in the value of the parameters reviewed for structures with outrigger reinforcement and structures with shear wall reinforcement of structures without special reinforcement. For structures with outrigger reinforcement experienced a decrease in the natural vibration period of 15.21%, base shear increases by 13.452%, the story shear increased by 46.53%, drift ratio decreased by 96.31%, and the need for beam reinforcement which rose 100% on one element and one column element that rose 27.27%. For structures with shear wall reinforcement, a natural vibration period of 7.85%, decreased base shear increased by 17.608%, story shear increases by 29.09%, the drift ratio fell by 23.47%, and the need for beam reinforcement which rises 50% in one element and column that does not undergo change or 0.00%.

Keywords: *Outrigger, Shear wall, base shear, drift ratio, reinforcement.*

1. Pendahuluan

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan

gelombang seismik. Salah satu Provinsi di Indonesia yaitu Daerah Istimewa Yogyakarta termasuk dalam wilayah yang rentan terjadi gempa bumi, hal ini bisa di lihat dari riwayat gempa bumi yang terjadi di Yogyakarta seperti

pada gempa tahun 2006 dengan kekuatan 5,9 SR. Dalam perencanaan bangunan, gempa bumi rencana sangatlah penting guna mengantisipasi terjadinya kerusakan struktur ketika gempa terjadi. Dengan begitu diperlukan perkuatan khusus seperti *outrigger* dan *shear wall* dalam proses perencanaannya.

Rendra dkk. (2015) menyebutkan bahwa besarnya simpangan horizontal (*drift*) harus dipertimbangkan sesuai dengan peraturan yang berlaku, yaitu kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.

Mistavhirul dkk. (2018) desain struktur Hotel Citihub Magelang merupakan hasil perencanaan yang masih mengacu pada standar lama, antara lain SNI 03-2847-2002 dan SNI 1726-2002. Hal ini menjadi dasar dilakukannya redesain struktur gedung dengan mengacu pada standar-standar terbaru yaitu SNI 2847:2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung, menggunakan dimensi balok dan kolom struktur yang sama dengan desain sebelumnya. Balok direncanakan dapat memikul beban gempa dengan persyaratan bahwa momen ultimit (M_u) lebih kecil dibandingkan dengan momen nominal (M_n) terfaktor. Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) kolom dirancang lebih kuat dibandingkan balok (*strong column weak beam*) (Saputra dkk., 2017).

Budiawati dan Sukrawa (2017) melakukan penelitian tentang beton bertulang. Penelitian ini dilakukan guna memperoleh model struktur rangka beton bertulang dengan dinding pengisi (RDP) berlubang, dengan dan tanpa perkuatan di sekitar lubang (lintel), sebagai perkuatan seismik, dengan membandingkan perilaku dan kinerja struktur RDP dengan berbagai rasio lubang. Salah satu hasil yang didapatkan diagram beban-simpangan lateral yang diperoleh dari model validasi menggunakan elemen *shell* lebih mendekati diagram hasil uji laboratorium dibandingkan dengan menggunakan model strat diagonal.

Ichwandri (2014) dinding geser adalah dinding campuran beton dan tulangan dengan mutu tertentu yang berfungsi sebagai penahan gaya geser pada suatu gedung yang

ditimbulkan oleh beban lateral, dimana struktur dengan dinding geser dan portal-portal bertulang ikut menahan beban gempa sehingga meningkatkan kekakuan dan menahan gaya lateral. Selain itu dinding geser sangat efisien dalam menahan beban vertikal maupun lateral dan tidak mengganggu persyaratan arsitektur jika posisi dinding geser simetris. Sedangkan untuk susunan dinding geser yang tidak simetris atau asimetris, maka resultan gaya lateral tidak melalui titik berat kekakuan bangunan (Ismail, 2014).

Aribisma dkk. (2015) gempa menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam mendisain struktur berteknologi modern sehingga diperlukan rancangan bangunan yang mempunyai daya tahan terhadap gempa bumi yang terjadi, yaitu dimana jika bangunan terkena gempa tidak akan mengalami kehancuran struktural yang dapat merobohkan bangunan tersebut. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, struktur harus direncanakan dengan seksama agar apabila terjadi gempa struktur bangunan tidak rusak dan tidak runtuh. Dalam perencanaan suatu struktur harus memperhatikan faktor perencanaan yang matang agar struktur tersebut aman terhadap beban gempa dan beban-beban lainnya (Prins dkk., 2017).

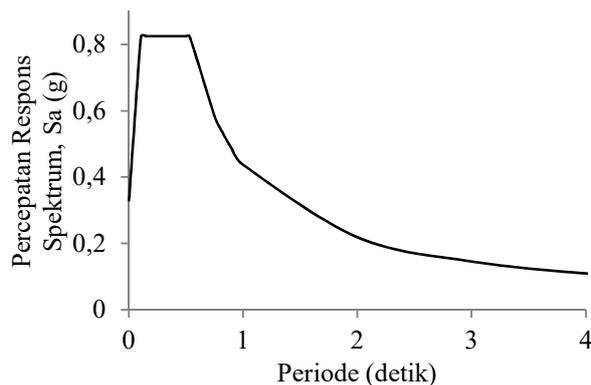
Ticoalu dkk. (2015) tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui perbandingan perhitungan struktur bangunan dengan mengkomparasikan metode SNI 03-2847-2013 dengan British Standard 8110-1-1997. Hasil yang didapatkan adalah bahwa metode SNI menghasilkan desain yang lebih ekonomis dibandingkan dengan metode British Standard.

Saruni dkk. (2017) balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban *tributary* dari slab lantai ke kolom penyangga yang vertikal. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser. Sistem perencanaan yang baik dan aman pada penampang beton ialah dengan menggunakan sistem perencanaan *under-reinforced* yang mendekati keadaan seimbang (Ticoalu dkk., 2015).

2. Metode Penelitian

Langkah Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam studi desain ulang gedung dengan penambahan kekuatan *outrigger* dan juga dengan *shear wall* menggunakan *software SAP2000* dengan studi kasus gedung Hotel El Royale Malioboro. Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Pertama adalah pengumpulan data berupa gambar arsitektur dan menentukan mutu material berupa material mutu beton dan mutu baja tulangan yang akan digunakan sebagai desain dan dilakukan pemodelan dengan posisi balok, kolom, dan pelat sesuai denah arsitektur. Setelah pemodelan dilakukan perhitungan analisis pembebanan meliputi beban mati yang diperoleh berdasarkan PPURG 1987 untuk pembebanan gedung, beban hidup dan beban atap berdasarkan SNI 1727 2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung. Beban atap yang dimasukkan berupa beban dari analisis pemodelan atap yang dimodelkan secara terpisah. Beban gempa respon spektrum yang didapatkan dari analisis desain spektra kota yogyakarta dengan asumsi berada diatas tanah sedang sesuai hasil data pengujian tanah berupa data NSPT dengan nilai S_s sebesar 1,212 dan nilai S_1 sebesar 0,444 dapat dilihat pada gambar 1.



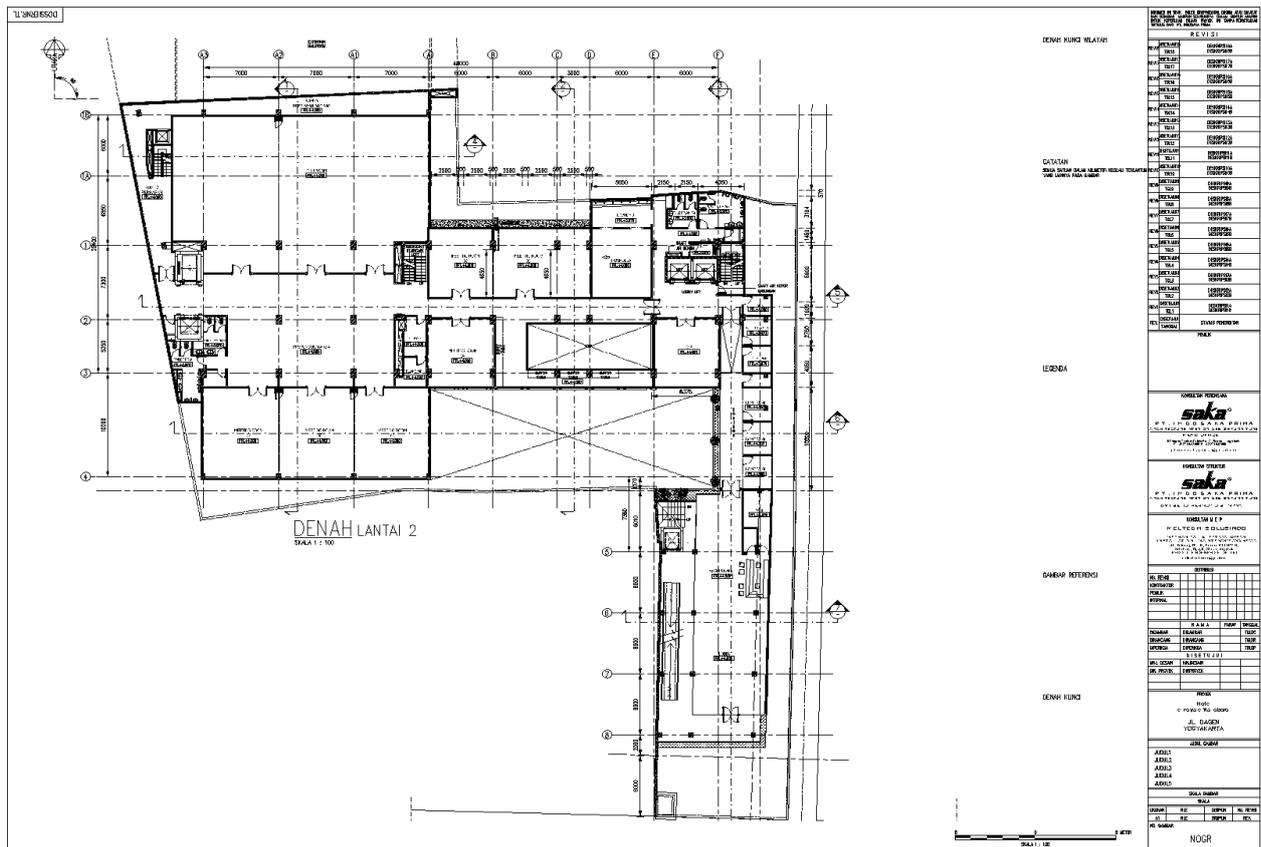
Gambar 1 Respon spektrum gempa

Tahapan selanjutnya setelah menghitung analisis pembebanan yaitu input hasil analisis pembebanan kedalam pemodelan *SAP2000* kemudian *running* pemodelan tersebut yang menghasilkan output berupa beberapa

parameter tinjauan yang dipakai untuk menganalisis struktur gedung. Hasil analisis yang didapatkan berupa periode getar alami yang nilainya harus diantara batas minimal dan batas maksimal, Partisipasi massa yang sekurang-kurangnya harus 90%, gaya geser dasar (*base shear*) nilai gaya geser dasar dinamik harus lebih besar 85% dari gaya geser statiknya, selanjutnya dapat dikeluarkan gaya geser setiap lantai (*story shear*), rasio simpangan (*drift ratio*) harus kurang dari 1%, kemudian output gaya dalam pada balok dan kolom untuk dilakukan desain. Kesimpulan yang didapat berdasarkan perbandingan perilaku, desain balok dan kolom struktur terhadap parameter-parameter pengecekan yang sudah disebutkan di atas.

Data Teknis Bangunan

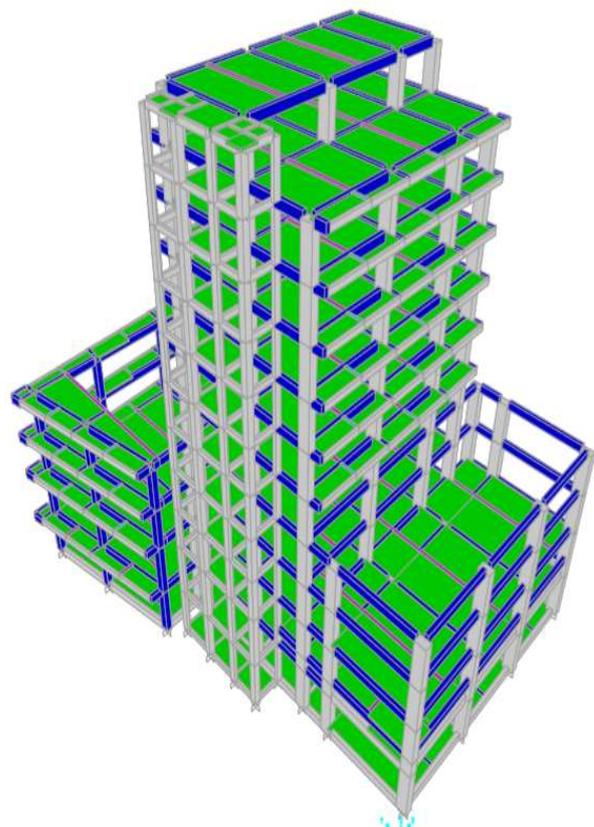
Gedung Hotel EL Royale Malioboro terletak di Jl. Dagen No.06 Daerah Istimewa Yogyakarta yang berfungsi sebagai Hotel dengan total 12 lantai termasuk 2 *basement*. (Kategori risiko I, $I_e : 1,0$). Mutu beton yang digunakan yaitu dengan mutu f_c' 30MPa dengan modulus elastisitas sebesar 23500 MPa. Mutu baja tulangan yang digunakan yaitu dengan nilai f_y 400 MPa atau dengan tulangan *deform*. Digunkana balok dengan beberapa dimensi yaitu B1 300x600 mm, B2 350x700 mm, B3 300x500 mm, B4 200x400 mm, BA1 250x500 mm, BA2 250x500 mm, BK1 300x600 mm, BK2 200x400 mm, TB1 300x600 mm, TB2 250x500 mm. Untuk elemen kolom yaitu K1 600x900 mm, K2 500x700 mm. Pelat lantai atap tebal 100 mm, pelat lantai kolom tebal 150 mm, pelat lantai kamar tebal 120mm. Elemen perkuatan berupa *outrigger* tebal 250 mm dan *shear wall* tebal 250 mm.



Gambar 2 Denah gedung EL Royale

Pemodelan pada SAP2000

Pemodelan struktur menggunakan program numerik yaitu *software* SAP2000 dengan memasukkan data propertis material, dimensi elemen struktur berdasarkan data-data perencanaan yang digunakan. Struktur yang dimodelkan hanya struktur atas rangka beton bertulang, atap dimodelkan terpisah sebagai beban perletakan pada balok atap. Beban dinding dalam pemodelan dimodelkan sebagai beban merata pada balok. Tumpuan yang digunakan pada struktur bangunan berjenis jepit karena struktur bangunan diharapkan mampu menahan gaya dari segala arah dan momen yang terjadi. Massa yang diperhitungkan sebagai beban gempa, terdiri dari 100 % beban mati dan 30% beban hidup. Pemodelan tangga dan kuda-kuda dimodelkan secara terpisah, hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam proses pemodelan. Hasil analisis untuk simpangan ditinjau dengan mengambil pada empat *joint* struktur yang letaknya di posisi pinggir yaitu *joint* 1, *joint* 2, *joint* 3, dan *joint* 4 yang memungkinkan terjadi perpindahan terbesar.



Gambar 3 Pemodelan Gedung EL Royale

3. Hasil dan Pembahasan

Periode Getar Alami

Untuk menentukan nilai periode getar alami struktur disarankan berada di antara periode gerar minimal (T_{min}) dan periode getar maksimal (T_{mak}) yang keduanya telah dihitung secara manual terlebih dahulu berdasarkan Nilai $C_{t,x}$ dan ketinggian gedung (h). Didapatkan nilai T_{min} sebesar 1,272 dan T_{mak} sebesar 1,780. Hasil penelitian menunjukkan nilai T untuk struktur tanpa perkuatan sebesar 1,568, T untuk struktur dengan *outrigger* sebesar 1,330, dan T untuk struktur dengan *shear wall* sebesar 1,445. Artinya dari ketiga pemodelan sudah memenuhi syarat untuk kekakuannya. Apabila T pada *SAP2000* melebihi batas maka harus diperbesar dimenis belok atau kolomnya. Dan apabila sebaliknya maka struktur terlalu kaku dan harus di perkecil dimensi kolom atau baloknya.

Partisipasi Massa

Syarat penentuan analisis yaitu menyertakan ragam yang cukup hingga menghasilkan partisipasi massa ragam terkombinasi yang nilainya minimal mencapai 90 % dari massa aktual dalam masing-masing sumbu dari respon model yang ditinjau. Nilai ratio partisipasi massa apabila belum tercapai maka mode bangunan harus ditambah sampai partisipasi massa terlampaui. Hasil menunjukan bahwa partisipasi massa bangunan telah mencapai atau lebih dari 90% pada modal ke 35 untuk struktur tanpa perkuatan, dan modal ke 34 untuk struktur dengan perkuatan *outrigger* dan juga *shear wall*. Maka modal bangunan tidak perlu ditambah lagi karena telah memenuhi syarat rasio partisipasi massa yang diijinkan.

Kontrol Gaya Geser Dasar (Base shear)

Hasil analisis *SAP2000* menunjukan bahwa nilai faktor pengali struktur mempunyai nilai kurang dari 1 yang berarti telah memenuhi syarat yaitu nilai gaya geser dinamik akibat beban gempa respon spektrum telah lebih besar dari 85% nilai gaya geser dasar rencana analisis statik ekuivalen maka tidak perlu dilakukan analisis ulang dan hasil output dari *SAP2000* sudah dapat digunakan.

Tabel 1 Hasil *output base shear* kondisi tanpa perkuatan

Arah	Vdinamik, Vd (kN)	85%Vstatik, Vs 9 (kN)	Pengali
X	3040,974	1845,579	0,607
Y	3197,383	1984,383	0,621

Tabel 2 Hasil *output base shear* kondisi dengan perkuatan *outrigger*

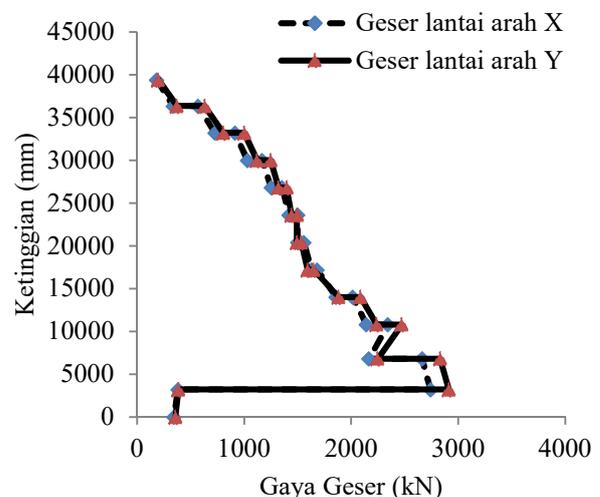
Arah	Vdinamik, Vd (kN)	85%Vstatik, Vs (kN)	Pengali
X	3511,485	2185,187	0,622
Y	3630,360	2456,992	0,677

Tabel 3 Hasil *output base shear* kondisi dengan perkuatan *shear wall*

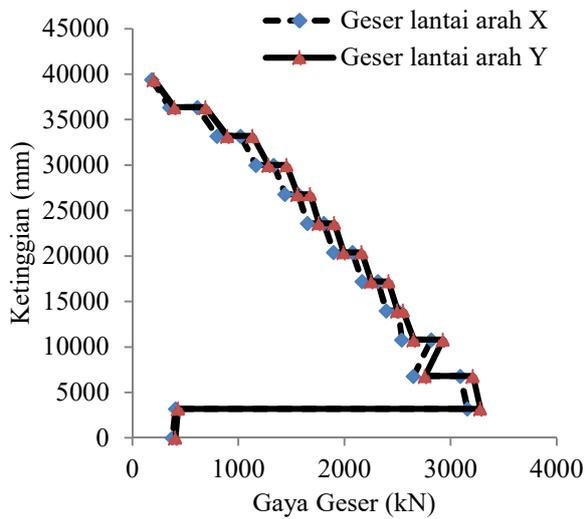
Arah	Vdinamik, Vd (kN)	85%Vstatik, Vs (kN)	Pengali
X	3765,842	2150,4201	0,571
Y	3777,132	2244,371	0,594

Gaya Geser Lantai (Story shear)

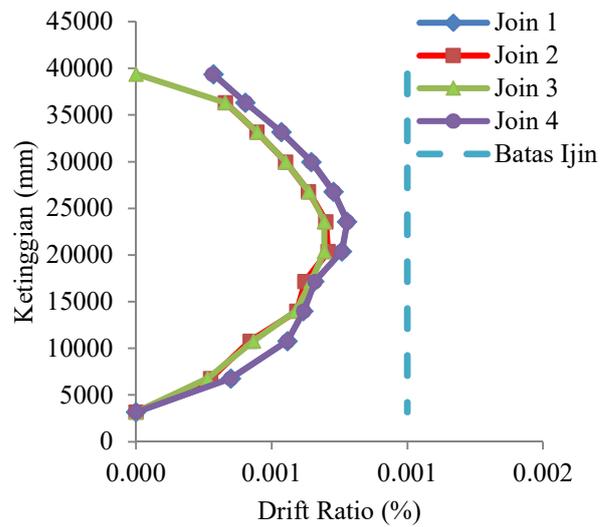
Nilai gaya geser lantai semakin kebawah nilainya seakin besar hal ini karena pada lantai dasar menumpu beban yang besar diatasnya. Tetapi pada penelitian ini nilai geser lantai pada area *basement* lebih kecil daripada lantai atasnya, hal ini dikarenakan *basement* memiliki area yang labih kecil daripada lantai atasnya. Hasil analisis didapatkan nilai gaya geser lantai maksimal terjadi pada pemodelan dengan *outrigger* dan nilai gaya geser minimal terjadi pada pemodelan tanpa perkuatan. Semakin kaku struktur nilai geser lantainya semakin besar.



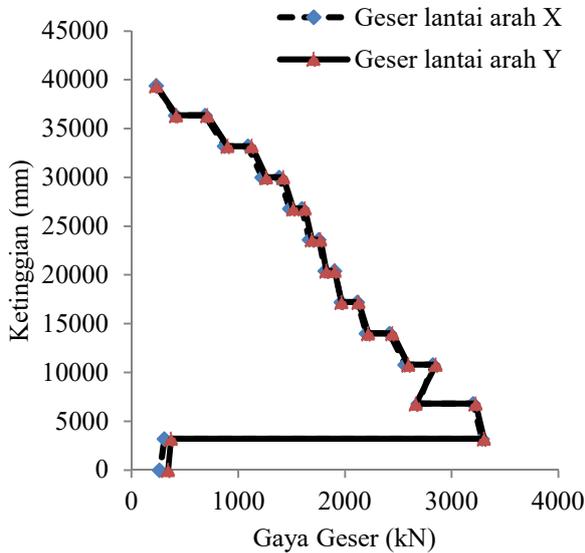
Gambar 4 Gaya geser lantai kondisi tanpa perkuatan



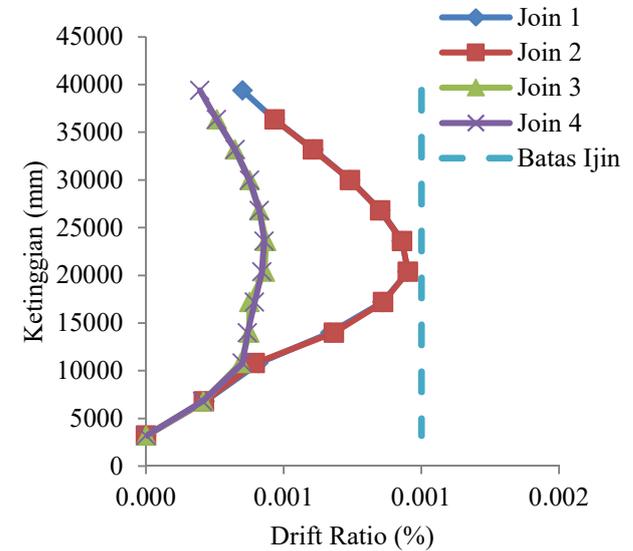
Gambar 5 Gaya geser lantai kondisi dengan perkutan *outrigger*



Gambar 7 *Drift ratio* akibat beban gempa arah X struktur tanpa perkutan



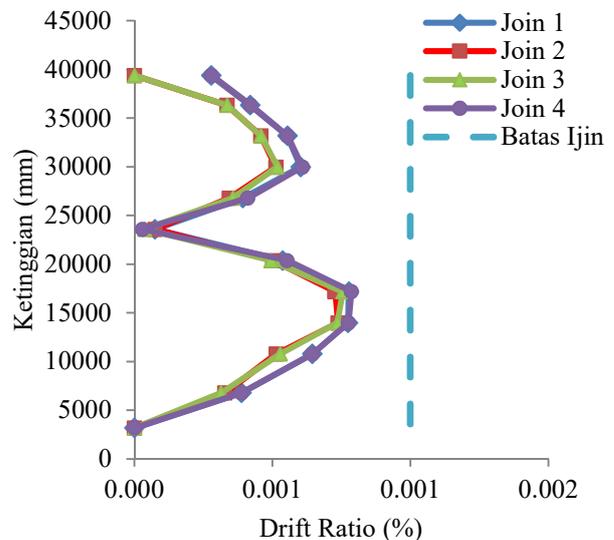
Gambar 6 Gaya geser lantai kondisi dengan perkutan *shear wall*



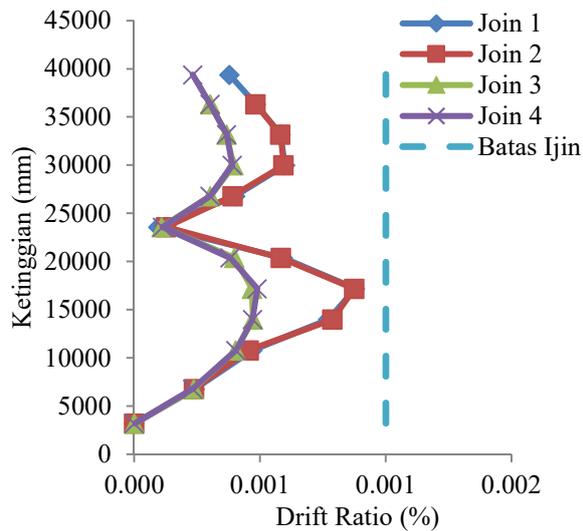
Gambar 8 *Drift ratio* akibat beban gempa arah Y struktur tanpa perkutan

Simpangan Antar Lantai (Drift ratio)

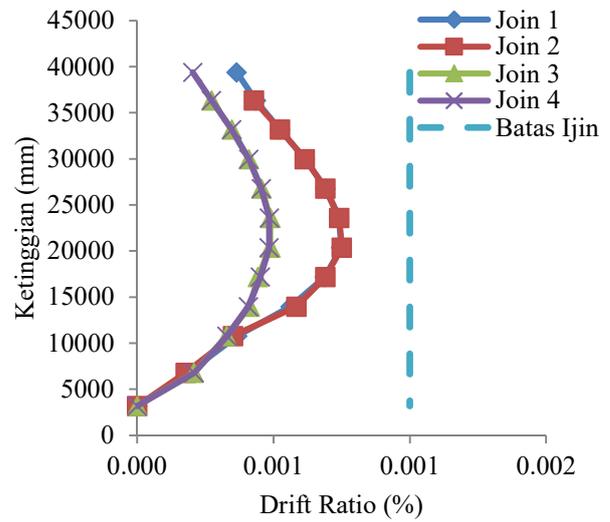
Pemilihan *outrigger* dan *shear wall* bertujuan sebagai perkutan yang menambah kekakuan struktur agar mencegah atau mengurangi risiko terjadinya keruntuhan struktur. Kekakuan struktur juga dapat dilihat dari besarnya simpangan antar lantai. Keruntuhan struktur akan berdampak negatif seperti korban jiwa serta kerugian material. Join yang di pilih sebagai tinjauan diambil dari join 1, join 2, join 3, dan join 4 karena keempat joint tersebut terletak disisi terlemah gedung yaitu pada bagian tepi. Simpangan antar lantai mengacu pada *joint* tinjauan didapatkan nilai *drift ratio* yang kurang dari 1%. Maka setruktur aman terhadap simpangan yang terjadi.



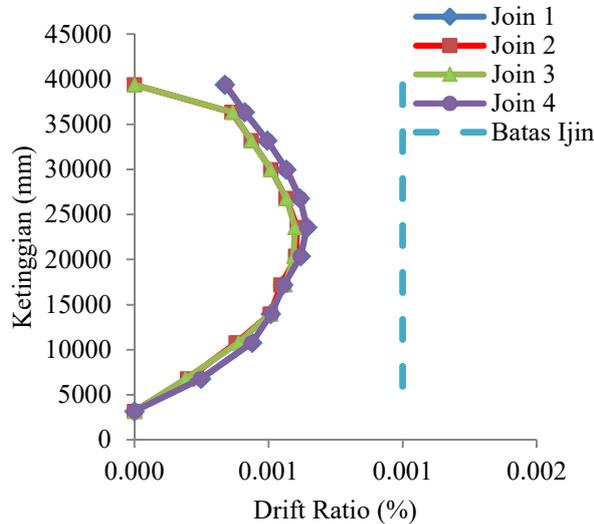
Gambar 9 *Drift ratio* akibat beban gempa arah X truktur dengan *outrigger*



Gambar 10 *Drift ratio* akibat beban gempa arah Y struktur dengan *outrigger*



Gambar 12 *Drift ratio* akibat beban gempa arah Y struktur dengan *shear wall*



Gambar 11 *Drift ratio* akibat beban gempa arah X struktur dengan *shear wall*

Desain Balok dan Kolom

Desain balok dan kolom adalah tujuan akhir dalam proses analisis struktur. Balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban tributary dari slab lantai ke kolom penyangga yang vertikal. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser (Saruni dkk., 2017). Sedangkan kolom adalah elemen vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok (Ichwandri., 2014). Hasil desain balok kolom pada ketiga variasi pemodelan adalah sebagai berikut yang memungkinkan perbedaan hasil desain setiap variasi pemodelan.

Tabel 15 Hasil desain balok ketiga variasi pemodelan

Balok	Penulangan	Tanpa Perkuatan	<i>Outrigger</i>	<i>Shear wall</i>
B1	Tumpuan Tarik	8 D22	7 D22	8 D22
	Tumpuan Tekan	4 D22	4 D22	4 D22
	Lapangan Tarik	5 D22	7 D22	5 D22
	Lapangan Tekan	3 D22	4 D22	3 D22
	Tulangan Geser	3P10-70	3P10-70	3P10-80
B2	Tumpuan Tarik	8 D22	8 D22	7 D22
	Tumpuan Tekan	4 D22	4 D22	4 D22
	Lapangan Tarik	6 D22	4 D22	4 D22
	Lapangan Tekan	3 D22	2 D22	2 D22
	Tulangan Geser	3P10-100	3P10-90	3P10-100
B3	Tumpuan Tarik	5 D16	6 D16	5 D16
	Tumpuan Tekan	3 D16	3 D16	3 D16
	Lapangan Tarik	5 D16	5 D16	4 D16
	Lapangan Tekan	3 D16	3 D16	2 D16
	Tulangan Geser	2P10-160	2P10-130	2P10-160

Tabel 4 (lanjutan)

Balok	Penulangan	Tanpa Perkuatan	<i>Outrigger</i>	<i>Shear wall</i>
BA1	Tumpuan Tarik	4 D19	5 D19	5 D19
	Tumpuan Tekan	2 D19	3 D19	3 D19
	Lapangan Tarik	3 D19	3 D19	3 D19
	Lapangan Tekan	2 D19	2 D19	2 D19
	Tulangan Geser	2P10-220	2P10-210	2P10-210
BA2	Tumpuan Tarik	2 D19	2 D19	2 D19
	Tumpuan Tekan	1 D19	1 D19	1 D19
	Lapangan Tarik	4 D19	4 D19	4 D19
	Lapangan Tekan	2 D19	2 D19	2 D19
	Tulangan Geser	2P10-170	2P10-190	2P10-170
BK1	Tumpuan Tarik	4 D19	4 D19	4 D19
	Tumpuan Tekan	2 D19	2 D19	2 D19
	Lapangan Tarik			
	Lapangan Tekan			
	Tulangan Geser	2P10-250	2P10-250	2P10-250
BK2	Tumpuan Tarik	4 D16	4 D16	5 D16
	Tumpuan Tekan	2 D16	2 D16	3 D16
	Lapangan Tarik			
	Lapangan Tekan			
	Tulangan Geser	2P10-170	2P10-170	2P10-170
TB1	Tumpuan Tarik	5 D22	5 D22	5 D22
	Tumpuan Tekan	3 D22	3 D22	3 D22
	Lapangan Tarik	3 D22	3 D22	3 D22
	Lapangan Tekan	2 D22	2 D22	2 D22
	Tulangan Geser	2P10-90	2P10-90	2P10-90
TB2	Tumpuan Tarik	4 D19	4 D19	4 D19
	Tumpuan Tekan	2 D19	2 D19	2 D19
	Lapangan Tarik	3 D19	2 D19	3 D19
	Lapangan Tekan	2 D19	1 D19	2 D19
	Tulangan Geser	2P10-180	2P10-200	2P10-190

Tabel 15 Hasil desain kolom ketiga variasi pemodelan

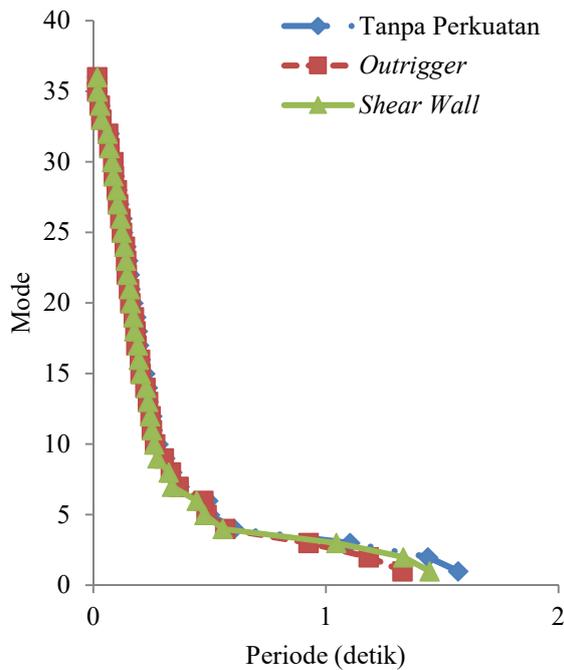
Kolom	Penulangan	Tanpa Perkuatan	<i>Outrigger</i>	<i>Shear wall</i>
K1 Lt. BS2-Lt.4	Longitudinal	22 D25	22 D25	22 D25
	Geser pada Lo	4D10-90	4D10-90	4D10-90
	Geser luar Lo	4D10-150	4D10-150	4D10-150
K1 Lt.5-Lt.10	Longitudinal	16 D25	22 D25	16 D25
	Geser pada Lo	4D10-90	4D10-90	4D10-90
	Geser luar Lo	4D10-150	4D10-150	4D10-150
K2	Longitudinal	16 D25	16 D25	16 D25
	Geser pada Lo	3D13-110	3D13-110	3D13-110
	Geser luar Lo	3D13-150	3D13-150	3D13-150

4. Perbandingan Hasil

Periode getar alami

Nilai periode getar alami struktur tanpa perkuatan untuk mode satu (arah X) adalah sebesar 1,568 detik dan untuk mode dua (arah Y) sebesar 1,438 detik. Untuk struktur gedung dengan perkuatan *outrigger* nilai periode getar alami untuk mode satu (arah X) sebesar 1,330 detik dan untuk mode dua (arah Y) sebesar

1,184 detik. Sedangkan untuk struktur dengan perkuatan *shear wall* periode getar alami mode satu (arah X) sebesar 1,455 detik dan 1,332 detik untuk mode dua (arah Y). Secara keseluruhan nilai periode struktur dengan perkuatan lebih kecil daripada struktur tanpa menggunakan perkuatan.



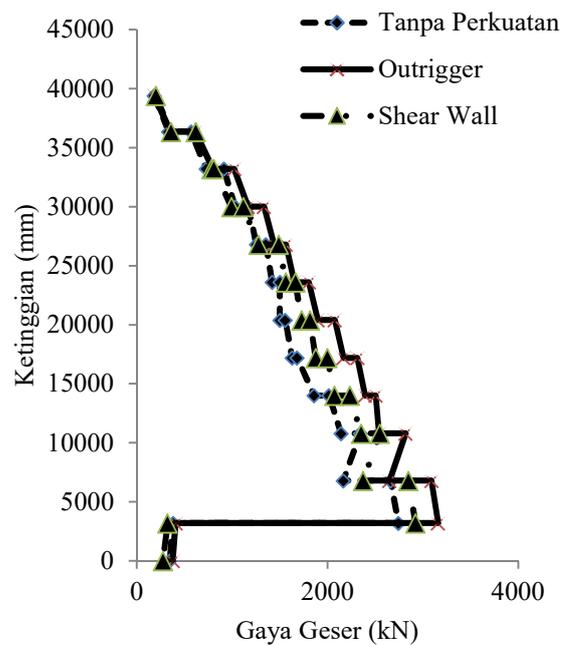
Gambar 13 Perbandingan periode

Gaya Geser Dasar (*Base shear*)

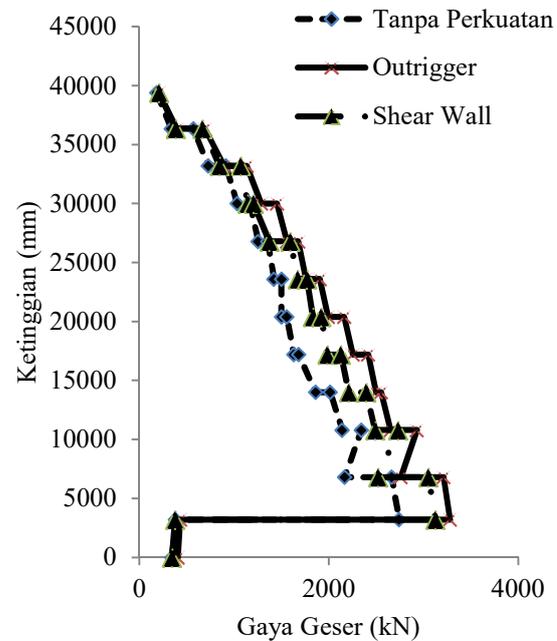
Gaya geser dasar (*base shear*) terbesar akibat akibat beban gempa dinamik respon spektrum pada struktur tanpa perkuatan sebesar 3197,383 kN yaitu pada gempa arah Y. Sedangkan untuk struktur dengan perkuatan *outrigger base shear* terbesar adalah 3630,360 kN pada gempa arah Y. Dengan kata lain *base shear* akibat penambahan perkuatan *outrigger* terjadi kenaikan sebesar 13,452 %. Untuk struktur dengan perkuatan *shear wall*, *base shear* terbesar yang terjadi adalah sebesar 3760,394 pada gempa arah Y. Dengan kenaikan sebesar 17,608 % dari *base shear* yang terjadi pada struktur tanpa perkuatan.

Gaya Geser Lantai

Perbandingan antara nilai gaya geser masing-masing lantai pada pemodelan struktur sebelum diberikan perkuatan dengan sesudah diberikan perkuatan mengalami kenaikan yang mengakibatkan nilai gaya geser masing-masing lantai menjadi lebih besar, hal ini dikarenakan dampak penggunaan perkuatan *outrigger* dan *shear wall* dapat menguatkan perilaku bangunan menjadi lebih kaku. Nilai kekakuan awal menjadi lebih tinggi setelah penggunaan perkuatan sehingga dapat mengurangi bahaya keruntuhan pada struktur tersebut.



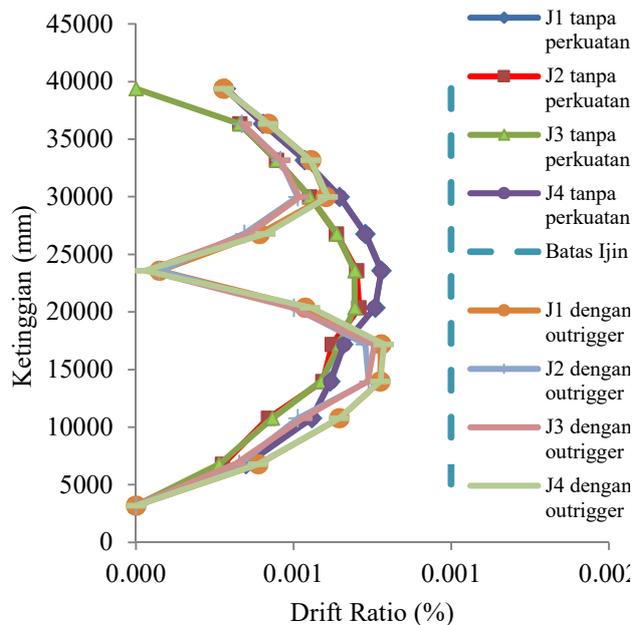
Gambar 14 Perbandingan *story shear* arah X



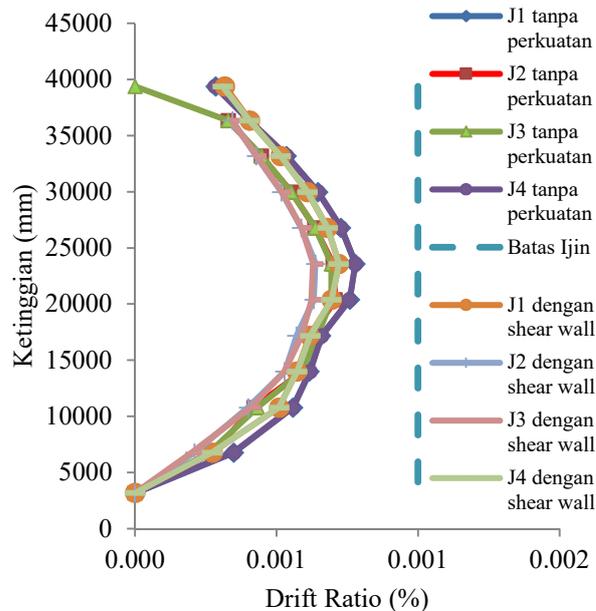
Gambar 15 Perbandingan *story shear* arah Y.

Simpangan Antar lantai (*Drift ratio*)

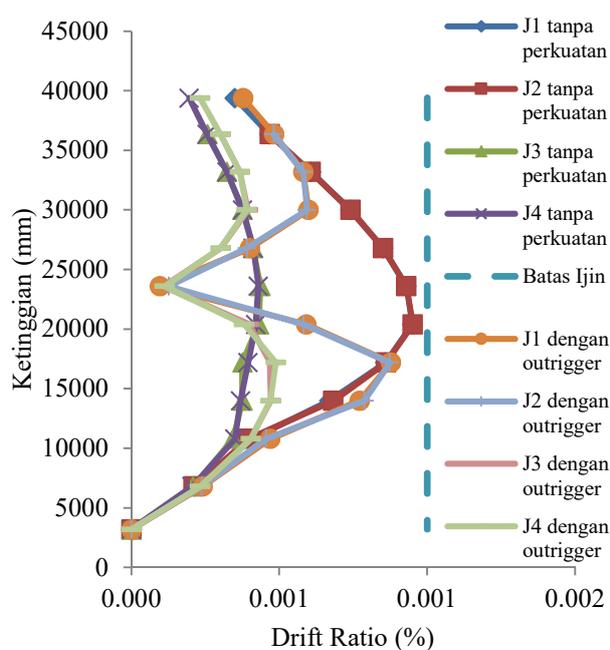
Nilai *drift ratio* yang dihasilkan pada *joint* yang ditentukan akibat gempa respon spektrum arah X dan gempa respon spektrum arah Y pada pemodelan struktur yang telah diperkuat menggunakan *outrigger* maupun *shear wall* mengalami perubahan. Simpangan yang terjadi pada masing-masing lantai berubah menjadi lebih kecil dibawah nilai syarat yang diijinkan sebesar 1%. Perbandingan antara *drift ratio* pemodelan gedung sebelum dilakukan dengan perkuatan



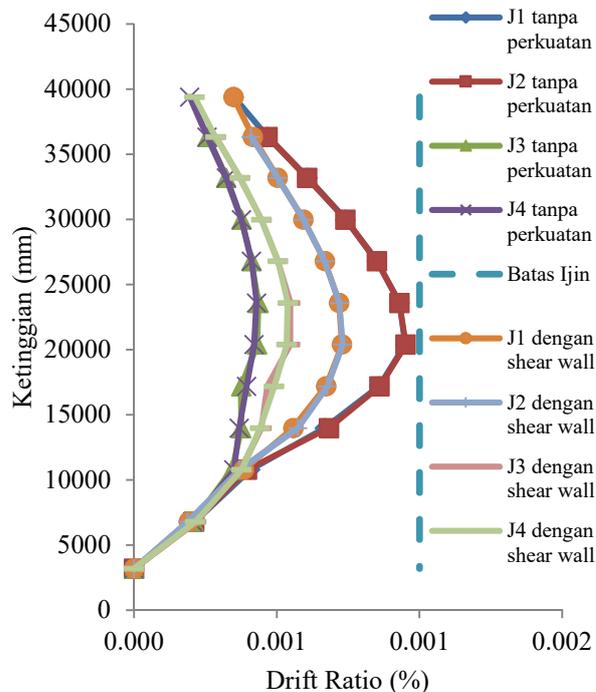
Gambar 16 Perbandingan *drift ratio* dengan *outrigger* arah X



Gambar 18 Perbandingan *drift ratio* dengan *shear wall* arah X



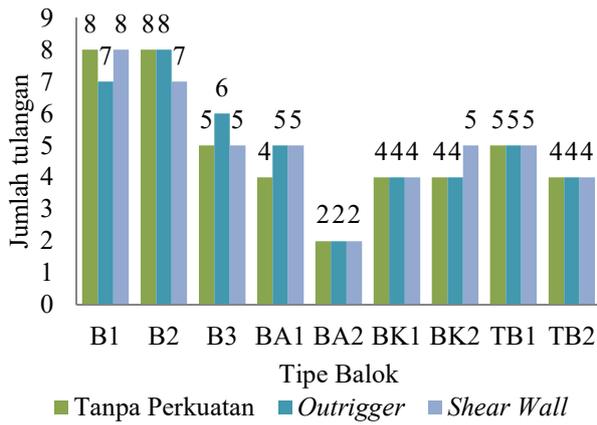
Gambar 17 Perbandingan *drift ratio* dengan *outrigger* arah Y



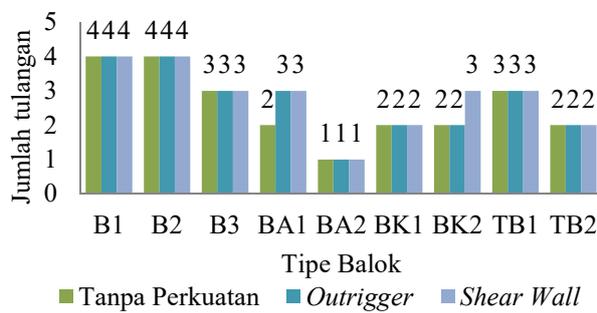
Gambar 19 Perbandingan *drift ratio* dengan *shear wall* arah Y

Desain Balok dan Kolom

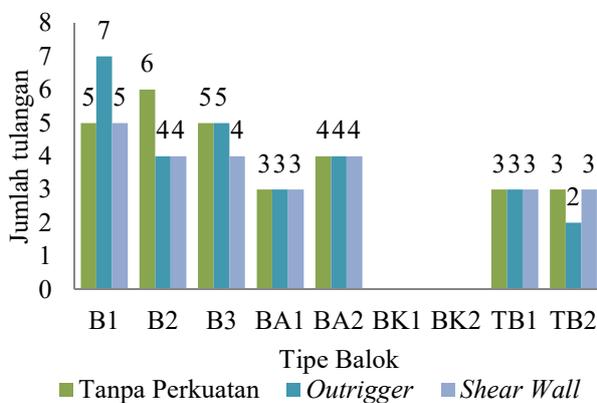
Hasil desain balok dan kolom dari ketiga variasi pemodelan hamper sama, hanya beberapa elemen saja yang mengalami perubahan yang tidak terlalu besar. Untuk hasil desain dari elemen balok dan kolom dapat dilihat pada grafik perbandingan berikut.



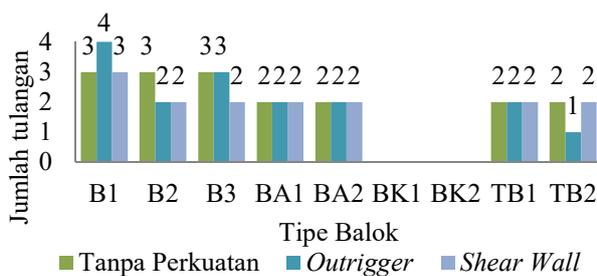
Gambar 20 Kebutuhan tulangan tarik pada daerah tumpuan balok



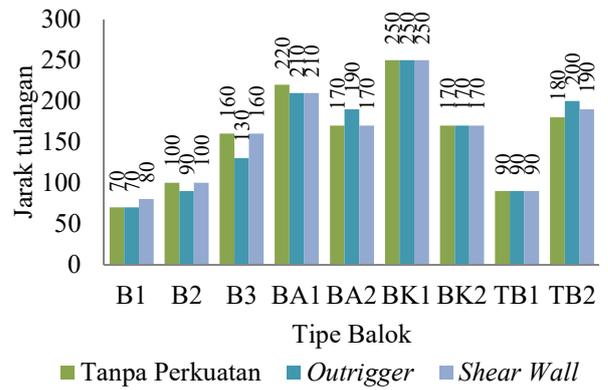
Gambar 21 Kebutuhan tulangan tekan pada daerah tumpuan balok



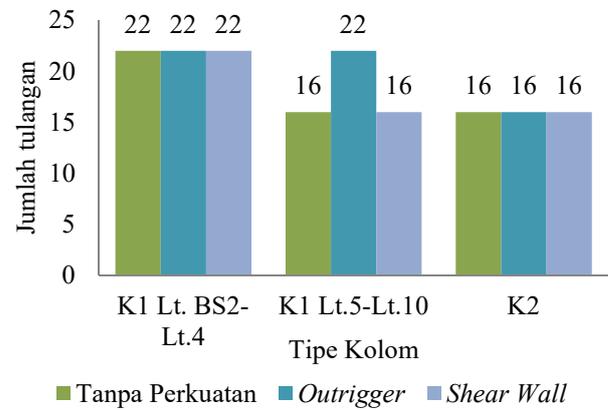
Gambar 22 Kebutuhan tulangan tarik pada daerah lapangan balok



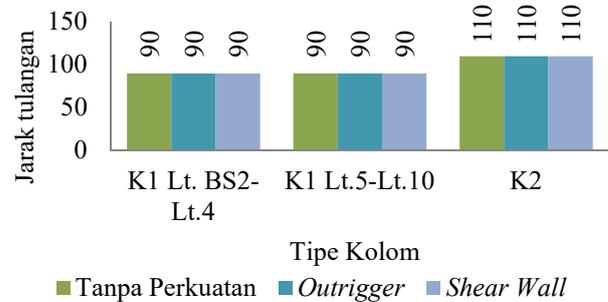
Gambar 23 Kebutuhan tulangan tekan pada daerah lapangan balok



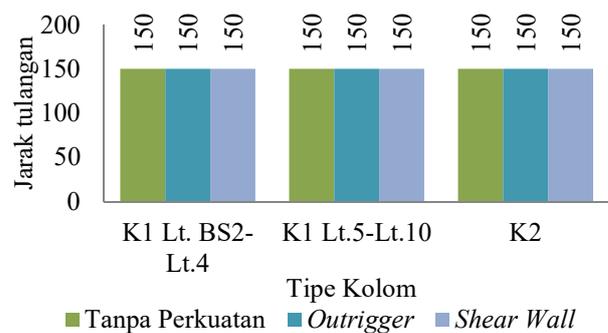
Gambar 24 Jarak tulangan sengkang pada balok



Gambar 25 Kebutuhan tulangan pokok pada kolom



Gambar 26 Jarak sengkang area Lo pada kolom



Gambar 27 Jarak sengkang area di luar Lo pada kolom

5. Kesimpulan

1. Dari ketiga percobaan, nilai periode getar alami struktur keseluruhan masuk dalam batas minimal sebesar 1,272 detik dan batas maksimal sebesar 1,780 detik. Hanya saja untuk periode getar alami pada pemodelan dengan *outrigger* untuk mode dua (arah Y) kurang dari batas minimal yang disyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa struktur sangat kaku. Kekakuan struktur yang paling kaku dari ketiga variasi secara berurutan adalah struktur dengan *outrigger*, struktur dengan *shear wall*, dan struktur tanpa perkuatan.
2. Partisipasi massa struktur pada ketiga variasi pemodelan telah mencapai dan melewati batas partisipasi massa yang ditentukan yaitu setidaknya sebesar 90%. Untuk partisipasi massa struktur tanpa perkuatan telah mencapai 90% pada mode ke 35 yaitu sebesar 97,8% untuk arah X dan sebesar 90,2% untuk arah Y. Sedangkan untuk pemodelan dengan perkuatan *outrigger* partisipasi massanya telah mencapai 90% pada mode ke 34 yaitu sebesar 90,6% untuk arah X dan 90,5% untuk arah Y. Dan pemodelan yang ketiga yaitu dengan perkuatan *shear wall* partisipasi massanya telah mencapai 90% pada mode ke 34 sebesar 91,2% untuk arah X dan 90,6% untuk arah Y.
3. Gaya geser dasar (*base shear*) terbesar akibat akibat beban gempa dinamik respons spektrum pada struktur tanpa perkuatan sebesar 3197,383 kN yaitu pada gempa arah Y. Sedangkan untuk struktur dengan perkuatan *outrigger base shear* terbesar adalah 3630,360 kN pada gempa arah Y. Dengan kata lain *base shear* akibat penambahan perkuatan *outrigger* terjadi kenaikan sebesar 13,452 %. Untuk struktur dengan perkuatan *shear wall*, *base shear* terbesar yang terjadi adalah sebesar 3760,394 pada gempa arah y. Dengan kenaikan sebesar 17,608 % dari *base shear* yang terjadi pada struktur tanpa perkuatan.
4. Nilai gaya geser lantai (*story shear*) berdasarkan hasil analisis dari *SAP2000* nilai kenaikan gaya geser masing-masing lantai setelah dilakukan perkuatan menggunakan *outrigger* terbesar terjadi

akibat beban gempa dinamik respons spektrum arah X yang nilainya sebesar 37,57 % yaitu pada lantai 3 dan untuk arah Y sebesar 46,53 pada lantai 3. Sedangkan untuk kenaikan gaya geser lantai setelah dilakukan perkuatan dengan *shear wall* pada arah X sebesar 18,5 % dan untuk arah Y sebesar 29,09 %.

5. Dengan penambahan perkuatan pada struktur berpengaruh besar terhadap besarnya *drift ratio* setiap lantai . Nilai *drift ratio* terbesar terjadi pada struktur tanpa perkuatan yaitu sebesar 0,951 pada lantai lima. Dari nilai *drift ratio* terbesar yang terjadi menunjukkan bahwa struktur aman terhadap simpangan antar lantai yang terjadi karena sudah kurang dari batas persyaratan yang telah ditentukan yakni sebesar 1%.
6. Secara keseluruhan hasil desain penulangan kolom dan balok pada setiap variasi pemodelan mengalami perubahan yang tidak terlalu besar bahkan hampir sama disetiap elemen yang di desain.

6. Daftar Pustaka

- ACI, 2000, ACI 318-2000: *Building Code Requirements For Structural Concrete and Commentary* ,ACI Cimmittee 318, Michigan
- Aribisma, F., Raka, I. G. P. dan Tavio., 2015, Evaluasi Gedung MNC Tower Menggunakan SNI 03-1726-2012 dengan Metode *Pushover Analysis*. *Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 71-75.
- BSN, 2012, SNI 1726:2012: *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- BSN, 2013a, SNI 2847:2013: *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- BSN, 2013b, SNI 1727:2013: *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- Budiwati, I. A. M., dan Sukrawa, M., 2017. Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Berlubang sebagai Perkuatan

- Seismik. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), 43-50.
- Ichwandri, Y. P., 2014, Perencanaan Struktur Gedung Asrama Mahasiswa Universitas Sriwijaya Palembang dengan Penahan Lateral Dinding Struktural. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2(1), 180-187.
- Ismail, M., 2014, Analisis Kinerja Struktur Atas Gedung 7 lantai Dengan Variasi Dimensi dan Lokasi Shearwall Studi Kasus Konsep Kondominium Hotel. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2(1), 196-208.
- Mistavhirul, A., Setianingrum, T., Nurhuda, I. dan Sukamta, S., 2018, Redesain Struktur Gedung Hotel Citihub Magelang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 7(2), 67-76.
- Ticoalu, P. E. E., Pangouw, J. D. dan Dapas, S. O., 2015. Studi Komparasi Perhitungan Truktur Bangunan dengan Menggunakan SNI 03-2847-2013 dan British Standard 8110-1-1997. *Jurnal Sipil Statik*, 3(10), 718-727.
- Prins, M. I., Dapas, S. O. dan Wallah, S. E., 2017, Studi Komparasi Desain Struktur Bangunan Bertingkat Akibat Gempa pada 5 Kota di Indonesia. *Jurnal Sipil Statik*, 5(7), 411-423.
- Rendra, R., Kurniawandy, A. dan Djauhari, Z., 2015, Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum dan Time History. *Jurusan Teknik Sipil*, 6, 153-160.
- Saputra, A. A., Brata, D. K., Indarto, H. dan Adi, R. Y., 2017, Perencanaan Pembangunan Gedung Beta Corporation Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(4), 183-191.
- Saruni, C. P., Dapas, S. O. dan Manalip, H., 2017, Evaluasi dan Analisis Perkuatan Bangunan yang Bertambah Jumlah Tingkatnya. *Jurnal Sipil Statik*, 5(9), 591-602.