

# Evaluasi Kinerja Gedung Perkuliahan Beton Bertulang 7 Lantai di Yogyakarta dengan Analisis *Pushover* dengan STERA\_3D

*Performance Evaluation Of Reinforced Concrete Lecture House 7 Floors In Yogyakarta With Pushover Analysis With STERA\_3D*

**Jihad Novario Faturrochman, Taufiq Ilham Maulana**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Bangunan gedung memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai tempat manusia melakukan berbagai kegiatan berupa kegiatan sosial, kegiatan keagamaan, kegiatan belajar mengajar, kegiatan kesehatan serta kegiatan lainnya. Gedung yang merupakan tempat berlangsungnya berbagai aktivitas ini akan mengalami beberapa masalah pada strukturnya atau pun segi arsitekturnya. Permasalahan pada struktural merupakan permasalahan yang sangat riskan terutama yang disebabkan oleh gempa bumi. Dalam beberapa aspek gempa bumi menjadi pertimbangan penting ketika dilakukannya perencanaan terhadap bangunan yang akan dibangun. Gempa bumi yang terjadi berupa tiga arah utama yaitu dua arah horizontal dan satu arah Vertikal. Program STERA\_3D mampu mengolah ketiga arah gempa tersebut hingga menghasilkan grafik hubungan gaya geser lantai dan pergeseran lantai atap, grafik orbit lantai atap, grafik percepatan geser tiap lantai, dan grafik *pushover*. Input data gempa berupa sejarah waktu Elcentro, Kobe, dan Parkfield di match dengan respon *spektrum* di Yogyakarta dengan menggunakan aplikasi *Seismomacth*. Hasil nilai dari grafik percepatan geser tiap lantai pada gempa Kobe, Parkfield, Elcentro didapatkan garis pergeseran arah X dan Y tidak ada yang menyimpang dari garis syarat geser. Hasil dari *Shear Redudancy Factor* didapatkan nilai untuk gedung dengan tambahan beban *Masonry* sebesar 6,94 dan tanpa *Masonry* sebesar 7,09 serta dengan lantai yang berjumlah 7. Gedung ini dapat disimpulkan aman dari analisis *pushover* tersebut karena angka yang didapat tidak melebihi batas jumlah lantai.

Kata kunci: permodelan, STERA\_3D, sejarah waktu, beton bertulang, dan gempa bumi.

**Abstract.** social function, religious activity, education relate activity, health activity and a lot of other activity. This building will be having some problem with the structure or even the architecture. The problem with structure of the building is a very tisky problem especially it the cause is an earthquake. In some aspect, earthquake become an important consideration when it comes to planning towards the building that would be built. The earthquake that happen to be in the of three main direction wish consist of two horizontal direction and a vertical direction. STERA\_3D programs could process the three of them so that it will produce the correlation chart between base shear-top drift, orbit of displacement chart, maximum inter-story drift chart, and pushover analysis chart. The data input of earthquake is in the form of Elcentro, Kobe, and Parkfield time history and being match with the response spektrum in Yogyakarta using the seismomatch application. The result from Shear Redudancy Factor Obtained by value for building With additional loads *Masonry* Sevalue 6.94 and without *Masonry* Sevalue 7,09 and with seven story building.

Keywords: modeling, STERA\_3D, The Time history, Reinforced Concrete, and Earthquake

## 1. Pendahuluan

Yogyakarta merupakan kota yang menjadi tujuan para pelajar untuk menuntut ilmu. Gedung merupakan sara penunjang para perguruan tinggi untuk melaksanakan kegiatan belajar mengajar. Pembangunan pun selalu dilakukan demi kebutuhan para pelajar yang singgah di Yogyakarta, maka untuk menunjang

keamanan penggunaan gedung harus dilakukan analisis yang menunjang bencana yang sering terjadi di Yogyakarta seperti gempa. Analisis *pushover* merupakan salah satu analisis yang dapat digunakan untuk mengetahui ketahanan bangunan terhadap gempa yang terjadi. STERA\_3D adalah aplikasi yang membantu untuk mengolah analisis *pushover*. Aplikasi STERA\_3D mampu menganalisis *pushover* dengan terbebani batu bata (*Masonry*) dan tanpa terbebani batu bata. Data yang akan didapatkan nantinya adalah perbandingan gaya

geser kedua gedung tersebut dengan 3 jenis beban gempa dan masing masing 3 arah.

Saito (2016) menjelaskan pada penelitiannya bahwa The Building Research Institute (BRI) telah melakukan pengamatan gerak yang kuat untuk bangunan sejak 1957. Selama 2011 gempa besar Jepang Timur, catatan gerak yang kuat dikumpulkan di Stasiun 54 yang terletak di seluruh Jepang dari Hokkaido ke daerah Kansai. Analitis juga menjelaskan pengurangan periode alami bangunan setelah peristiwa 2011 sebagai akibat dari retak minor pada anggota struktural. Untuk mensimulasikan perilaku bangunan bertingkat tinggi dalam rentang respons nonlinier besar dengan menggunakan model analisis konvensional. Dari studi parametrik yang dilakukan oleh STERA\_3D, ditemukan bahwa beberapa faktor dalam analisis seperti kontribusi slab untuk fleksibilitas balok, perilaku slip dalam histeresis lentur elemen balok, dan efek P-Delta harus dipertimbangkan untuk mensimulasikan respons nonlinier besar dari bangunan bertingkat tinggi. Pada penelitian Nugroho (2016) melakukan penelitian pada bangunan gedung sekolah yang dibuat dari struktur rangka beton bertulang dengan kriteria SNI 1726-2012 kinerja struktur pada penelitian tidak ada satupun yang melewati kondisi LS (*Life Safety*) sehingga kinerja struktur dapat dikatakan baik, Pada kriteria FEMA saat kinerja struktur telah melewati kondisi LS (*Life Safety*) bahkan akan mengalami collapse sehingga kinerja struktur akan dikatakan tidak baik. Berdasarkan kriteria SNI tersebut maka bangunan dapat menjadi 3 lantai yang semula memiliki 2 lantai. Aziz dkk (2017) pada penelitiannya mengungkapkan bahwa untuk mencapai struktur yang kuat, kokoh, ekonomis, dan aman. Dibutuhkan perencanaan struktur dengan benar dan baik penggunaan peraturan perencanaan struktur dan standar teknis yang berlaku. Untuk kombinasi beban struktur yang menggunakan kombinasi beban jika metoda ultimit, sebagaimana: elemen – elemen fondasi, komponen elemen struktur, dan struktur wajib dirancang sebatas kekuatan yang mencapai perencanaan atau sanggup melebihi pengaruh beban terfaktor namun tetap sebanding oleh SNI 1726:2012. Metode tersebut mengaplikasikan perpaduan beban yang

bekerja dalam struktur Bersama faktor beban, hingga mendapat satu taksiran keamanan pada perencanaan struktur. Saat merencanakan struktur gedung ini memakai konsep metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan *Strong Column-Weak Beam* (SCWB), sehingga jika level beban terlangkahi akan menjadikan joint kolom dan joint balok paling bawah menjadi sendi plastis, yang menjadikan tidak sampai menghadapi keruntuhan total saat gempa terjadi kuat dan syarat balok tidak diizinkan mengalami gagal geser dan sambungan kolom-balok tidak diizinkan gagal saat gaya yang besar diterima melewati balok ke kolom.

Tata dkk., (2018) pada penelitian ini menjelaskan bahwa Pushover analysis merupakan sebuah analisis statik nonlinier yang mana menganggap pengaruh suatu gempa rencana pada suatu struktur bangunan gedung yang dijadikan sebagai beban statik yang menempel pada satu pusat massa tiap – tiap lantai saat nilainya telah meningkat secara perlahan hingga melebihi pembebanan yang akan menjadi sebuah pelelehan yang pertama pada suatu struktur bangunan, kemudian meningkatkan beban lebih lanjut yang mengalami transformasi bentuk sesudah elastik yang besarnya telah sampai pada kondisi elastis. Sesudah mencapai pelelehan pada lokasi lain pada struktur bangunan tersebut. Evolusi teknologi kini sungguh membantu saat perencanaan dan analisis akan kinerja struktur gedung. Dengan adanya program ETABS dan SAP 2000 akan mampu mempermudah pemodelan yang lebih dahulu sangat sulit apabila dikerjakan menurut konvensional. Dwi Kurniati (2018) menyatakan bahwa Metode pushover merupakan suatu analisis statik nonlinier dimana gempa mempengaruhi rencana terhadap struktur bangunan yang dianggap menjadi beban-beban statik pada pusat massa disetiap lantainya, yang peningjatan nilainya secara berangsur-angsur hingga melampaui pembebanan yang menjadi penyebab terjadi pelelehan (sendi plastis) pertama pada struktur bangunan gedung yang mana saat terjadi peningkatan beban hingga mengalami perubahan bentuk pasca-elastik hingga mencapai kondisi plastik. Hasil analisis pushover yang dilakukan dengan program SAP2000 v.14 non-linier merupakan kurva

kapasitas (*capacity cruve*) atau skema pelepasan yang berupa Performance Point dan distribusi sendi plastis yang terjadi. Kurva kapasitas (*capacity cruve*) menunjukkan bahwa hubungan antara perpindahan yang terjadi hingga struktur tersebut runtuh dengan gaya gempa. Perpindahan yang ditinjau merupakan gaya geser dasar dan perpindahan gaya atap. Riantoby dkk. (2014) mengungkapkan pada penelitian bahwa sendi plastis merupakan kurang sanggup elemen struktur menahan gaya dalam. Merencanakan gedung yang sesuai pada perencanaan desain kolom kuat balok lemah. Keruntuhan gedung yang terjadi maka balok terlebih dahulu yang runtuh. Keruntuhan struktur langsung akan terjadi jika kolom yang runtuh terlebih dahulu.

Nugroho (2016) metode yang digunakan program ETABS yang merupakan perangkat lunak hasil karya CSI Bekeley, program ini sangat kuat dalam melakukan permodelan struktur analysis, dan desain. Untuk mendapati waktu getar alami konstruksi biasanya memerlukan kupasan nilai eigen. Waktu getar alami sangat pokok untuk mencapai besarnya gaya gempa yang diterima oleh konstruksi. Kupasan nilai eigen dibuat dengan data struktur saat masih pada kondisi elastis linear. Gempa maksimum yang akan terjadi pada kondisi struktur saat mengalami kondisi plastis, saat analisis nilai eigen enggan digunakan. Waktu getar efektif yaitu waktu getar selagi struktur saat kondisi tidak elastis didapat melalui kuva pushover. Setiawan (2018) Capacity spectrum method mempresentasikan dua buah grafik yang dinamakan spektrum, ialah spektrum kapasitas yang menguraikan kapasitas struktur berbentuk hubungan antara gaya dorong total (*base shear*) dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan), dan *spektrum demand* yang menggambarkan besarnya *demand* (tuntutan kinerja) akibat gempa dengan periode ulang tertentu. Grafik yang menunjukkan pada saat perpindahan mencapai 0,005 m kondisi struktur masih bersifat elastis yang kemudian berperilaku in-elastis pada saat perpindahan mencapai 0,300 m. Selanjutnya struktur mengalami keruntuhan ditandai dengan penurunan kurva yang tajam. Titik kinerja menjadikan perpotongan diantara spektrum kapasitas dengan spektrum demand. sehingga titik kinerja membentuk representasi

dari dua syarat, yaitu terletak di spektrum kapasitas yang merepresentasikan kekuatan struktur dengan nilai perpindahan tertentu, dan posisi pada kurva demand, mengisyaratkan bahwa kekuatan struktur mampu mengisi demand beban yang diberikan.

Sudarsana (2015) memaparkan hasil penelitian bahwa Kurva produk analisis pushover berwujud kurva hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan simpangan horizontal atap dengan masing-masing variasi jumlah tingkat yang ditinjau. Perilaku kurva pushover dari model struktur SRPMK untuk 4, 7, dan 10 tingkat memiliki kecenderungan yang sama, begitu juga untuk model struktur Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE). Bagi model struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), saat terjadi beberapa sendi plastis telah mencapai kondisi collapse yang diidentifikasi oleh gaya geser dasar terus meningkat sampai keruntuhan terjadi. Kondisi ini akan berbeda saat karakter model struktur SRBE setelah mencapai gaya geser maksimum, kinerja struktur untuk meredam beban naik-turun (*jagness*). Kondisi *jagness* berawal dari kurva pushover model SRBE yang mungkin bias disebabkan oleh interaksi dari bresing. Struktur SRBE menyimpan kekakuan yang lebih besar jika dibandingkan dengan SRPMK untuk semua tingkat yang ditinjau. Demi mencapai level kinerja yang mirip yaitu life safety berasal dari model struktur saat dimensi-dimensi yang didapat dari hasil desain sesuai dengan beban berlaku, dapat terlihat saat deformasi horizontal SRPMK lebih besar dari SRBE. Pranata (2006) melakukan Perbandingan pada penelitian dari hasil analisis beban dorong (*pushover analysis*) dengan analisis riwayat waktu untuk gedung beraturan, nilai gaya geser dasar maksimum *envelope* peralihan dinyatakan dalam kurva sebagai berikut. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa untuk gempa *ElCentro*, Flores dan Pacoima nilai maksimum. *Envelope* peralihan belum melampaui target peralihan sesuai hasil dari analisis beban dorong, sedangkan untuk gempa Bucharest sudah melampaui. Gempa *ElCentro*, Flores, dan Pacoima apabila dibandingkan dengan analisis beban dorong, hasil peralihan, drift dan rotasi sendi plastis yang terjadi jauh lebih kecil, maka analisis beban dorong cukup

rasional dan dapat diandalkan untuk evaluasi perilaku seismic Haryanto dkk (2015) memperlihatkan hasil penelitian apabila kinerja struktur akan ditentukan dari hasil story drift yakni rasio simpangan pada titik kontrol (atap) beserta ketinggiannya. Maka hasil analisis akan menunjukkan bahwa story drift yang akan terjadi sebesar 0,31% menurut beban gempa SNI 03-1726-2012 dan 0,26% menurut beban gempa pada SNI 03-1726-2002. Kedua hasil story drift memiliki nilai kurang dari 1% jadi kinerja struktur gedung tidak akan mengalami perubahan, akan tetap dengan level *immediate occupancy* saat tidak ada kerusakan yang berarti di struktur, kekakuan dan kekuatannya akan mirip saat kondisi sebelum gempa. Pada komponen nonstruktur saat masih berada pada tempatnya serta sebagian besar yang masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Gedung tidak terganggu dan tetap berfungsi dengan masalah perbaikan. Oleh karena itu untuk model struktur gedung dengan 5 lantai pada tanah keras yang ada pada wilayah Banyumas akan terjadi peningkatan gaya geser dasar senilai 1,48% saat telah mencapai titik kinerja pada beban gempa SNI 03-1726-2002 ke SNI 03-1726-2012. *Displacement* yang terjadi akan mengalami peningkatan sebesar 19,61% namun daktilitas menghadapi penurunan senilai 43,14%. Pada kinerja struktur gedung yang tidak mendapat perubahan akan konsisten pada level *immediate occupancy*. Arifin, Z. dkk (2016) melakukan analisis beban gempa dengan metode pushover pada Gedung POP hotel dengan bantuan program SAP 2000 dilakukan iterasi dengan prosedur B, ATC 40. Didapatkan hasil iterasi yang didasari *demand elastic (damping ratio 5%)*. Serta didapatkan hasil *pushover* arah X yaitu *immediate occupancy* yaitu saat terjadi gempa akan terjadi sedikit kerusakan structural. Kapasitas dan karakteristik penahan gaya lateral dan vertical pada struktur masih aman seakan belum terjadi gempa. Dan Pushover arah Y yang terjadi masuk kekategori *damage control* yaitu bangunan yang terkena gempa masih sanggup menahan gempa yang dengan kecilnya korban jiwa manusia. Purba (2014) yang melakukan perbandingan kinerja struktur gedung tidak beraturan horizontal dan gedung beraturan dilihat dari displacement, drift ratio, base shear, level kinerja berdasarkan ATC-40, perbedaan

berat beton dan tulangan, penelitian ini menggunakan metode statik ekuivalen dalam menganalisis struktur gedung dengan menggunakan bantuan program SAP 2000.

## 1. Landasan Teori

### **Beban Mati**

Semua struktur terkhusus bangunan gedung seharusnya memiliki beban mati. Beban mati merupakan berat yang membebani struktur selama struktur tersebut tetap berdiri. Beban mati meliputi berat struktur sendiri dan beban mati tambahan (*Additional Dead Load*).

### **Beban Hidup**

Menurut SNI 03-1727-2013, beban hidup merupakan berat yang diakibatkan oleh penghuni bangunan gedung dan pengguna atau struktur lain yang tidak termasuk beban lingkungan dan beban struktur seperti beban gempa, beban mati, beban angin, ataupun beban banjir.

### **Beban Gempa**

Beban gempa adalah seluruh beban statik ekuivalen yang diterima oleh gedung atau sebagian gedung yang menyamakan pengaruh akibat dari gerakan tanah oleh gempa (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, PPURG-1987). Beban gempa memiliki banyak gaya-gaya yang bekerja, yaitu gaya horizontal, gaya vertikal ataupun kombinasi dari keduanya. Gaya dari beban gempa tersebut perlu dicegah agar tidak mengakibatkan *collapse* (kegagalan struktur bangunan).

### **Analisis Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012**

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 dalam merencanakan suatu bangunan struktur gedung harus memerlukan penentuan nilai respons spektral pada percepatan getaran periode pendek ( $F_a$ ) yaitu 0,2 detik dan percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). parameter tersebut dapat dilihat pada SNI 03-1726-2012 atau pada situs kementerian pekerjaan umum bagian pusat pengembangan dan penelitian permukiman

Tabel 1 Faktor R untuk sistem penahan gaya gempa lanjutan (SNI 03-1726-2012)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^\alpha$
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8
Rangka beton bertulang pemikulmomen menengah	5

## 2. Metode Penelitian

### Tahapan Penelitian

Penelitian harus dilaksanakan secara sistematis dengan menggunakan tahapan yang teratur dan lugas, sehingga didapatkan hasil yang sesuai diharapkan. Oleh sebab itu, pelaksanaan penelitian ini dibagi dalam beberapa tahap, sebagai berikut.

#### 1) Tahap Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan merupakan data struktur gedung, lokasi pembangunan struktur, pengambilan data percepatan spektrum respons 1 detik dan pendek.

#### 2) Tahap Studi Literatur

Pada tahap ini perlu dilakukan studi literatur untuk menambah dan memperluas wawasan ilmu yang berkaitan dengan penelitian.

#### 3) Pemodelan dan Pembebanan

Dari gambar kerja yang telah direncanakan, penulis memodelkan gambar kerja tersebut menggunakan software STERA\_3D versi 10.0 sesuai aturan SNI yang berlaku

#### 4) Analisis Riwayat Respon

Prosedur analisis pada penelitian ini menggunakan analisis time history dengan menggunakan 3 catatan pasang gerak tanah pada setiap kelas situs. Penelitian ini menggunakan kelas situs SD.

#### 5) Evaluasi Nilai Perpindahan dan Penulisan Laporan

Evaluasi parameter *displacement* dari hasil analisis *running* program STERA\_3D. Perbandingan *displacement* berdasarkan hasil *running* yang dihitung secara manual dengan program *Microsoft Excel*.

### Batasan Deformasi

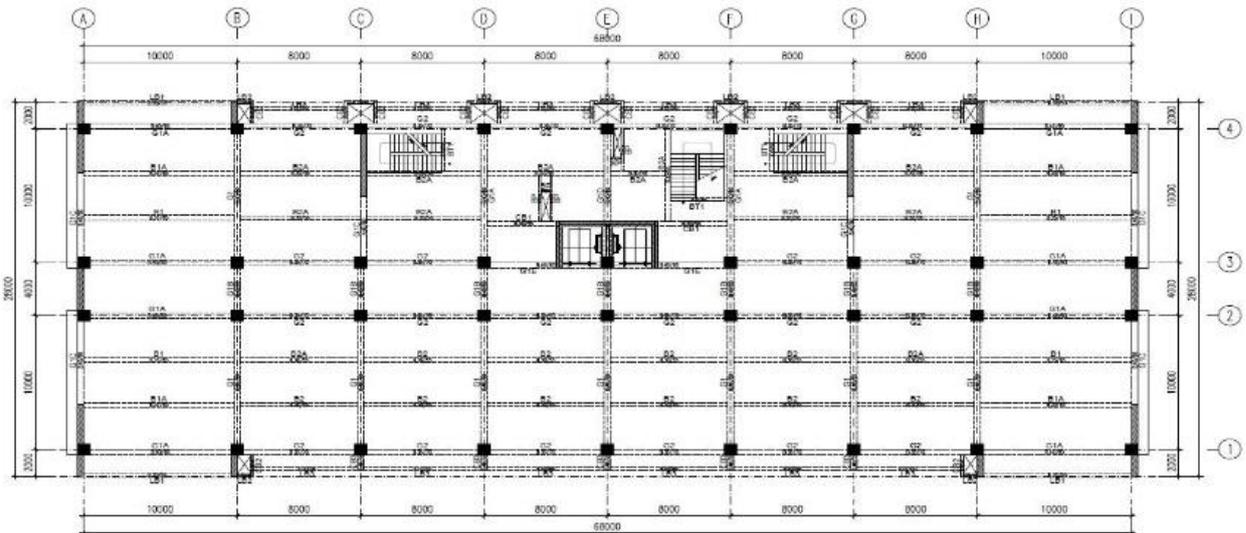
Simpangan total maksimum (maximum total drift) adalah simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada titik kinerja (*performance point displacement*) atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Simpangan inelastis maksimum adalah proporsi simpangan total maksimum diluar titik leleh efektif. Untuk *structural stability level*, simpangan total maksimum pada lantai ke-i saat titik kinerja harus tidak melebihi 0.33 V, IP, dimana V, adalah total gaya geser pada lantai ke-i dan P, adalah total gaya gravitasi (seperti beban mati dan beban hidup) pada lantai ke-i.

Tabel 2 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996: 11-4)

Batas Simpangan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 $V_i/P_i$
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

### Data Teknis Bangunan

Penelitian ini dilakukan pada struktur bangunan gedung 7 lantai yang direncanakan dibangun di Yogyakarta. Gedung ini mempunyai fungsi sebagai gedung perkuliahan dengan struktur beton bertulang dimana struktur gedung ini mempunyai jumlah 7 lantai dengan atap berupa rangka beton bertulang. Data-data yang digunakan pada penelitian ini data primer, yaitu seluruh data perencanaan struktur berdasarkan perencanaan peneliti. Mutu rencana beton sebesar 30 Mpa, mutu baja tulangan yang digunakan sebesar 400 Mpa.

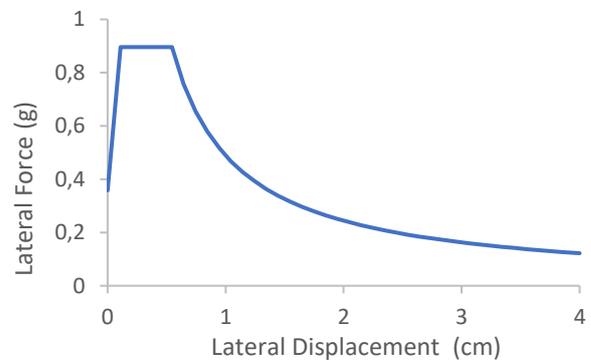


Gambar 1 Denah rencana bangunan

Dimensi baloknya terdiri dari 400 x 800 mm, 350 x 650 mm, 300 x 550 mm, 350 x 700 mm. Dimensi kolom yang digunakan seluruhnya sama yaitu sebesar 800 x 800 mm.

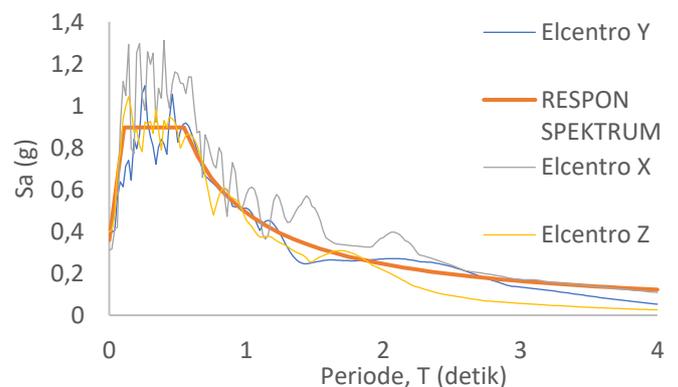
### **Pembebanan**

Pembebanan berdasarkan SNI 03-1726-2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” SNI 03-2847-2013 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”, dan SNI 03-1727-2013 “Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain”. Bangunan Perkuliahan yang telah direncanakan peneliti, menggunakan jenis tanah berupa tanah sedang yang disesuaikan dengan syarat analisis riwayat respon diharuskan menggunakan 3 pasang gerak tanah. Untuk mencari nilai  $S_s$  dan  $S_l$  bisa didapatkan pada SNI 1726:2012 atau situs Kementerian Pekerjaan Umum bagian Pusat Pengembangan dan Penelitian Permukiman. Beban gempa respons spektrum didapatkan dari analisis desain spektral pada kota Yogyakarta yang telah ditentukan dengan nilai  $S_s$  dan nilai  $S_l$  ditentukan berdasarkan SNI Gempa 2012 dengan interpolasi liner. Setelah semua parameter percepatan respons spektrum dan percepatan spektrum desain telah didapatkan langkah selanjutnya yaitu membuat grafik respons spektrum seperti pada Gambar 2.

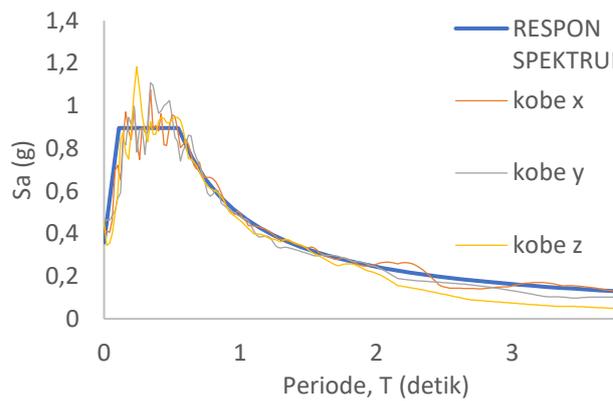


Gambar 2. Grafik respons spektrum (BSN, 2012)

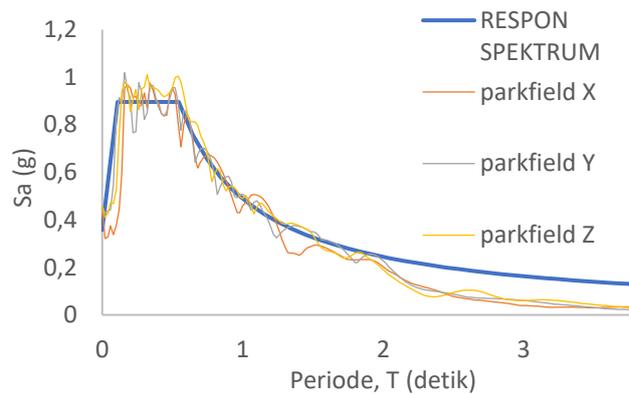
Tahapan selanjutnya adalah mencocokkan *respon spektrum* Yogyakarta dengan sejarah waktu 3 gempa yang akan diujikan



Gambar 3. Seismograf Gempa *Elcentro*



Gambar 4. Seismograf Gempa Kobe

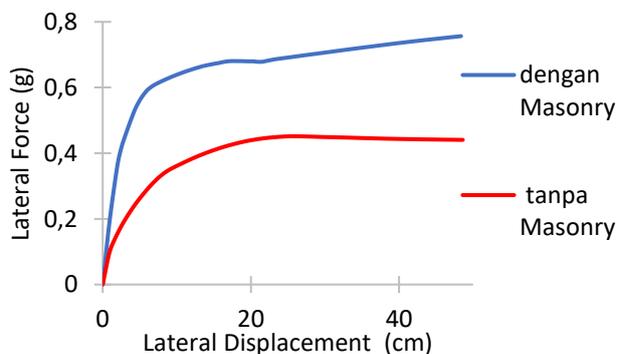


Gambar 5 Seismograf Gempa Parkfield

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Kurva Kapasitas

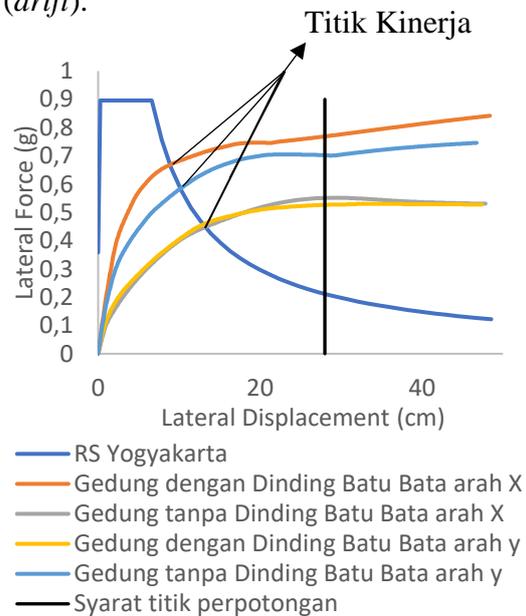
Kurva kapasitas diperoleh dari hasil analisis *pushover* yaitu dengan memberikan beban lateral statik tertentu pada struktur bangunan, yang kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai suatu batas tertentu atau struktur mengalami runtuh. Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi dari masing-masing komponen struktur bangunan.



Gambar 6. Grafik *Capacity Curve* gedung perkuliahan di Yogyakarta

#### Performance Point

Performance point (titik kinerja) merupakan titik perpotongan antara kurva kapasitas dan *response spektrum*. Dimana kapasitas struktur mampu menahan beban lateral akibat gempa (*demand*) yang diberikan, dimana dapat diketahui tingkat kerusakan struktur berdasarkan perpindahan lateralnya (*drift*).



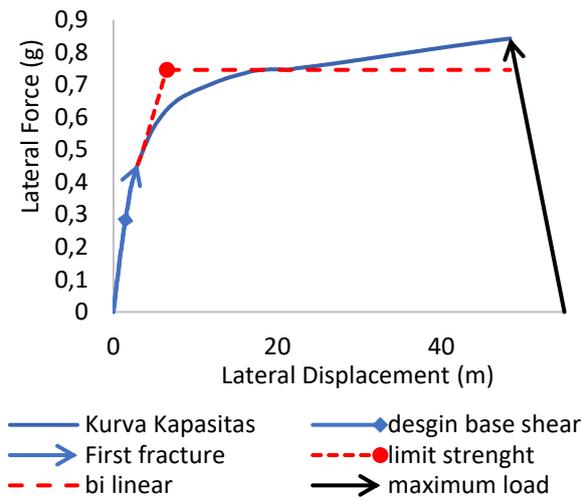
Gambar 7. Grafik *Performance Point* gedung perkuliahan di Yogyakarta

Menurut ATC-40, level kinerja pada desain bangunan baru yang direkomendasikan adalah Live Safety Level, saat simpangan total maksimum 0,02. Tingginya mutu gedung yang digunakan menjadikan level kinerja pada gedung penelitian ini ditingkatkan menjadi Immediate Occupancy, saat simpangan total maksimum 0,01 dengan tinggi gedung 2800 cm didapatkan tingkat kinerja maksimum dengan level Immediate Occupancy sebesar 28 cm. Tabel 4.1 menjelaskan bahwa titik kinerja antara kurva *pushover* dengan *response spektrum* pada gedung *masonry* dan tanpa *masonry* dengan arah beban lateral statik ke arah X dan Y tidak ada yang melewati syarat tingkat kinerja maksimum sebesar 28 cm.

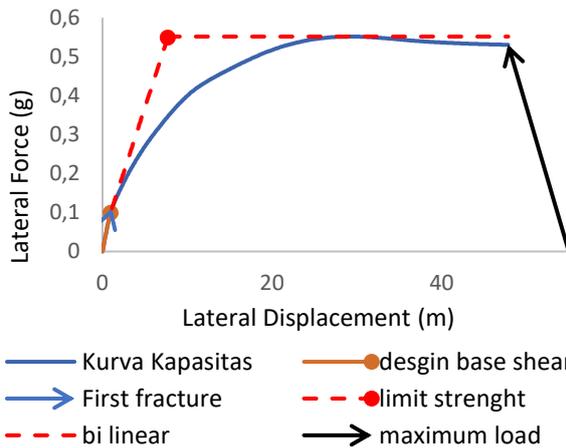
#### Shear Redundancy Factor

Perhitungan faktor modifikasi respons berdasarkan beban lateral, sama dengan dasar geser,  $R_v$ , pada dasarnya hasil *pushover* yang diperoleh dengan model elemen terbatas dan mengikuti desegregasi faktor kelebihan ke

dalam tiga komponennya yang diusulkan di ATC 19 (ATC 1995).



Gambar 8 Grafik Redundancy Factor gedung tanpa Masonry



Gambar 9 Grafik Redundancy Factor gedung dengan Masonry

Syarat koefisien modifikasi respon (R) untuk rangka beton bertulang pemikul momen khusus yaitu 8 dan rangka beton bertulang pemikul momen menengah yaitu 5. Gedung pada uji coba dengan *masonry* didapat dari kedua gedung uji coba dengan *masonry* 7,09 dan tanpa *masonry* 6,94. Gedung dengan dua model ini dapat disimpulkan bahwa gedung berada diantara rangka beton bertulang pemikulmomen khusus dan menengah namun condong kearah khusus.

**Base Shear – Top Drift**

*Base shear – top drift* merupakan hubungan antara nilai perpindahan lantai paling atas atau atap Gedung dengan gaya geser dasar yang

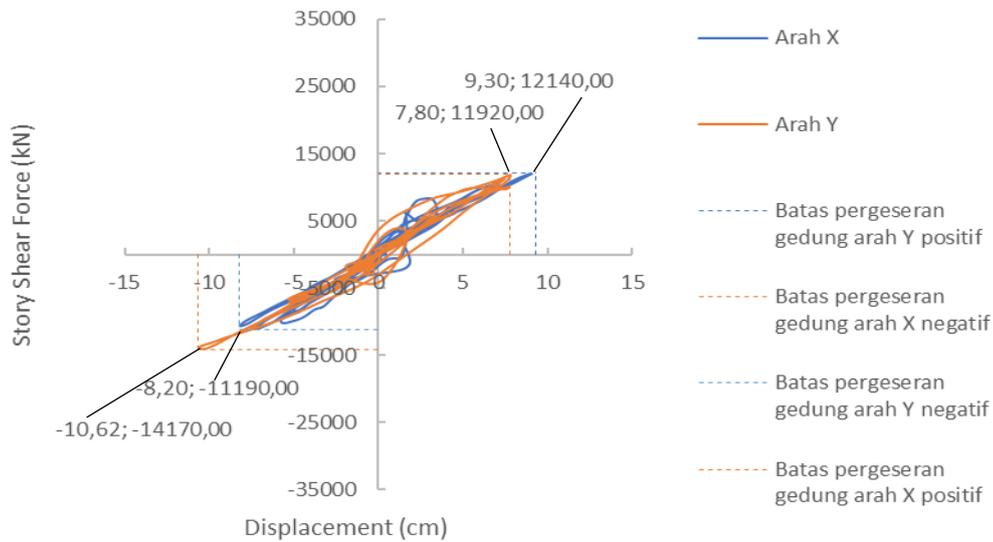
diakibatkan beban gempa yang diberikan terhadap tiap modelnya.

Tabel 3 Nilai perpindahan *maximum* gedung tanpa *masonry*

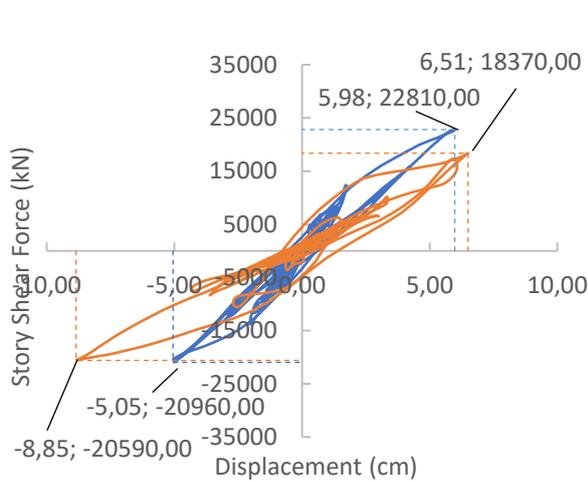
Arah -X		
Gempa	Gaya Geser Lantai (kN)	Perpindahan (cm)
<i>Elcentro</i>	-20960	-5.1
<i>Kobe</i>	-23260	-6.047
<i>Parkfield</i>	-21670	-5.795
Arah X		
Gempa	Gaya Geser Lantai (Kn)	Perpindahan (cm)
<i>Elcentro</i>	22810	5.981
<i>Kobe</i>	19180	4.161
<i>Parkfield</i>	21640	5.925
Arah -Y		
Gempa	Gaya Geser Lantai (kN)	Perpindahan (cm)
<i>Elcentro</i>	-20590	-8.851
<i>Kobe</i>	-19540	-8.037
<i>Parkfield</i>	-19140	-8.07
Arah -Y		
Gempa	Gaya Geser Lantai (kN)	Perpindahan (cm)
<i>Elcentro</i>	18370	6.506
<i>Kobe</i>	20420	8.792
<i>Parkfield</i>	19070	8.153

Tabel 4 Nilai perpindahan *maximum* gedung *masonry*

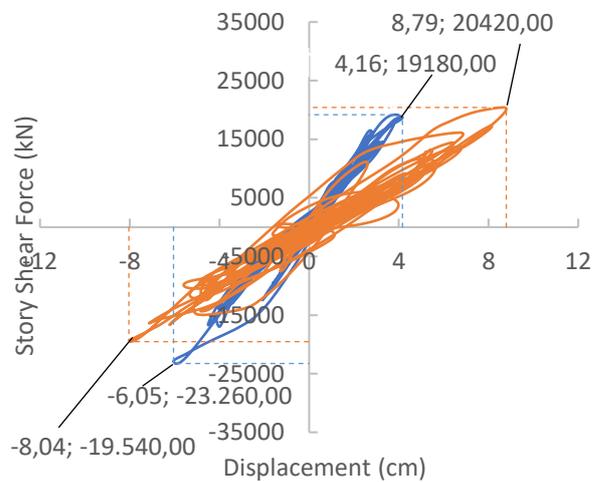
Arah -X		
Gempa	Gaya Geser Lantai (kN)	Perpindahan (cm)
<i>Elcentro</i>	-11190	-8.195
<i>Kobe</i>	-12260	-11.14
<i>Parkfield</i>	-14220	-11.37
Arah X		
Gempa	Gaya Geser Lantai (Kn)	Perpindahan (cm)
<i>Elcentro</i>	12140	9.304
<i>Kobe</i>	12620	9.459
<i>Parkfield</i>	14300	11.94
Arah -Y		
Gempa	Gaya Geser Lantai (kN)	Perpindahan (cm)
<i>Elcentro</i>	-14170	-10.62
<i>Kobe</i>	-12840	-9.484
<i>Parkfield</i>	-13210	-9.032
Arah -Y		
Gempa	Gaya Geser Lantai (kN)	Perpindahan (cm)
<i>Elcentro</i>	11920	7.802
<i>Kobe</i>	14960	12.72
<i>Parkfield</i>	11690	7.957



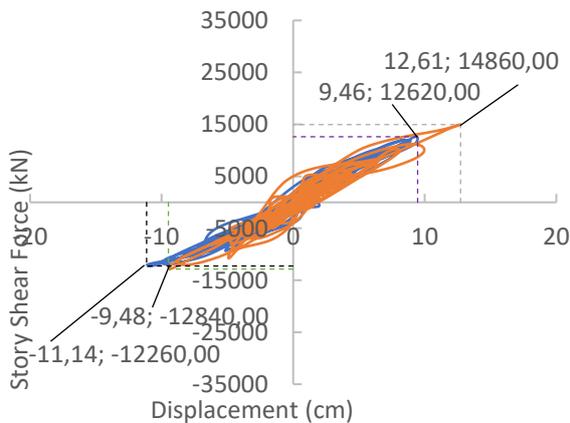
Gambar 10 Grafik *Base Shear – Top Drift* gedung tanpa *masonry* serta beban gempa *Elcentro*



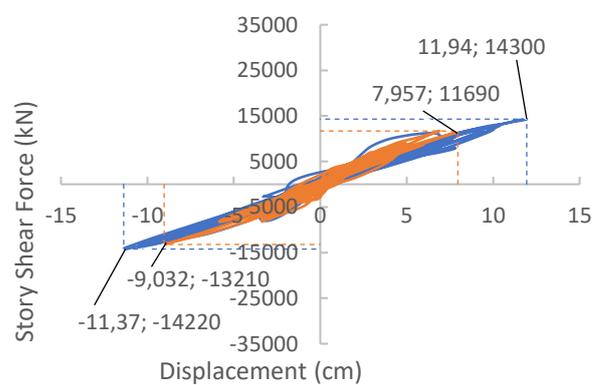
Gambar 11 Grafik *Base Shear – Top Drift* gedung dengan *masonry* serta beban gempa *Elcentro*



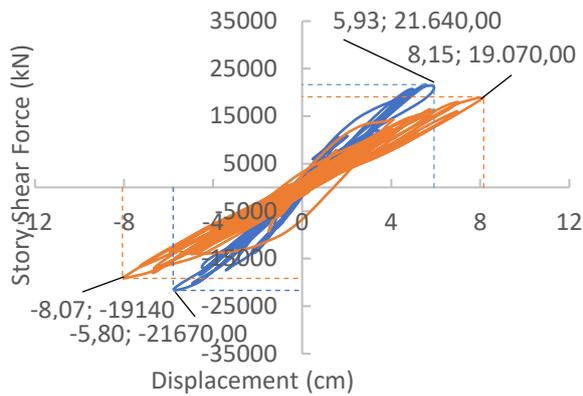
Gambar 13 Grafik *Base Shear – Top Drift* gedung dengan *masonry* serta beban gempa *Kobe*



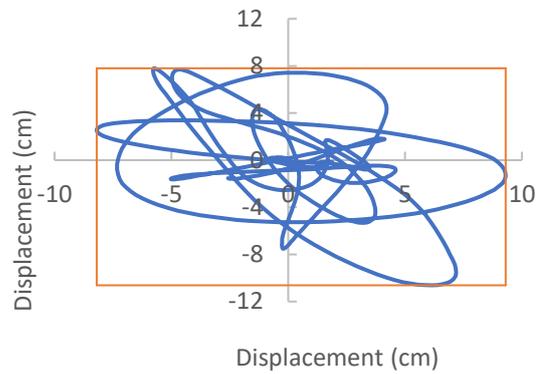
Gambar 12 Grafik *Base Shear – Top Drift* gedung tanpa *masonry* serta beban gempa *Kobe*



Gambar 14 Grafik *Base Shear – Top Drift* gedung dengan *masonry* serta beban gempa *Parkfield*



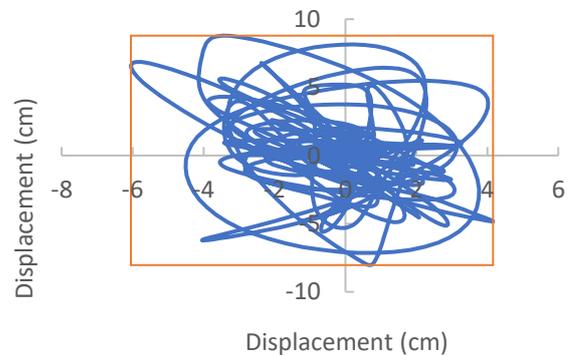
Gambar 15 Grafik Base Shear – Top Drift gedung dengan *masonry* serta beban gempa Parkfield



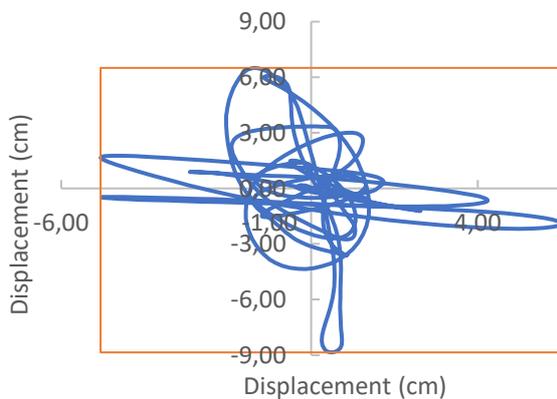
Gambar 17 Grafik *Orbit of Top Displacement* gedung tanpa *masonry* dengan beban gempa Elcentro

***Orbit of Top Displacement***

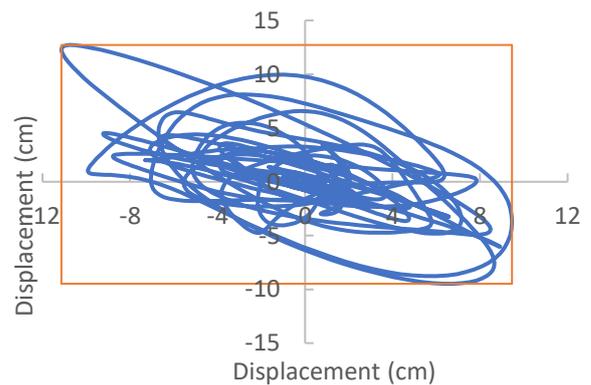
*Orbit of top displacement* merupakan hubungan antara nilai perpindahan lantai paling atas sumbu X dan sumbu Y yang diakibatkan beban gempa yang diberikan terhadap tiap modelnya. Grafik ini menunjukkan batas-batas pergeseran yang dialami gedung selama gempa sehingga pembangunan gedung yang akan didirikan disebelah gedung ini dapat mengetahui batasan jarak agar terhindar dari tumbukan saat gedung mengalami pergeseran oleh beban gempa. Pada analisis ini gempa yang digunakan untuk membebani gedung perkuliahan yang telah diberi *masonry* maupun belum diberi *masonry* adalah gempa Kobe, *Elcentro*, dan *Parkfield*.



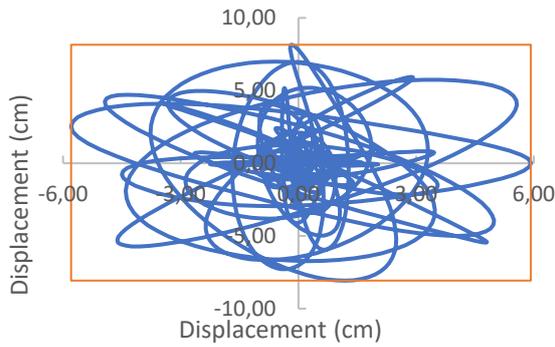
Gambar 18 Grafik *Orbit of Top Displacement* gedung dengan *masonry* dengan beban gempa Kobe



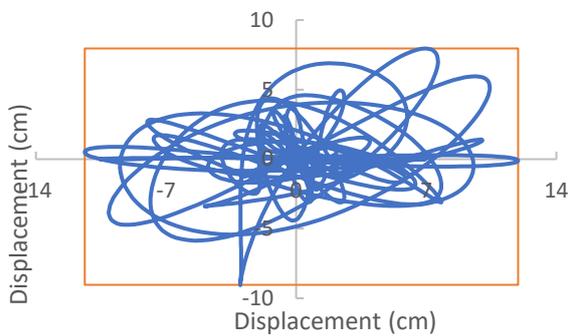
Gambar 16 Grafik *Orbit of Top Displacement* gedung dengan *masonry* dengan beban gempa Elcentro



Gambar 19 Grafik *Orbit of Top Displacement* gedung tanpa *masonry* dengan beban gempa Kobe



Gambar 20 Grafik *Obit of Top Displacement* gedung dengan *Masonry* dengan beban gempa Parkfield



Gambar 21 Grafik *Obit of Top Displacement* gedung tanpa *masonry* dengan beban gempa Parkfield

### Percepatan *Maximum Gedung*

Percepatan maximum merupakan percepatan struktur yang dipengaruhi rasio antara respon yang terjadi dari satu lantai dengan lantai dibawahnya. Jika rasio antar lantai yang dimiliki kecil maka nilai percepatan yang dimiliki struktur semakin besar sebelum struktur mengalami kerusakan.

Tabel 5 Syarat Pergeseran

F	Syarat Pergeseran
7	6
6	6
5	6
4	6
3	6
2	6
1	6
0	6

Tabel 6 Nilai percepatan maksimum setiap lantai gedung tanpa batu bata beban gempa Elcentro

F	Dx (cm)	Dy (cm)	Perpindahan antar lantai arah X	Perpindahan antar lantai arah Y
7	9,31	10,62	0,403	0,43
6	8,90	10,19	0,71	0,78
5	8,19	9,41	1,181	1,26
4	7,01	8,15	1,56	1,748
3	5,45	6,402	1,879	2,13
2	3,57	4,272	1,959	2,266
1	1,61	2,006	1,614	2,006
0	0,00	0	0	0

Tabel 7 Nilai percepatan maksimum setiap lantai gedung dengan batu bata beban gempa Elcentro

F	Dx (cm)	Dy (cm)	Perpindahan antar lantai arah X	Perpindahan antar lantai arah Y
7	5,988	8,851	0,215	0,24
6	5,773	8,611	0,363	0,489
5	5,41	8,122	0,563	0,91
4	4,847	7,212	0,827	1,44
3	4,02	5,772	1,122	1,966
2	2,898	3,806	1,358	2,18
1	1,54	1,626	1,54	1,626
0	0	0	0	0

Tabel 8 Nilai percepatan maksimum setiap lantai gedung tanpa batu bata Beban gempa Kobe

F	Dx (cm)	Dy (cm)	Perpindahan antar lantai arah X	Perpindahan antar lantai arah Y
7	11,14	12,72	0,57	0,57
6	10,57	12,15	1,01	0,99
5	9,56	11,16	1,538	1,54
4	8,022	9,62	1,937	2,111
3	6,085	7,509	2,185	2,523
2	3,9	4,986	2,146	2,648
1	1,754	2,338	1,754	2,338
0	0	0	0	0

Tabel 9 Nilai percepatan maksimum setiap lantai gedung dengan batu bata beban gempa

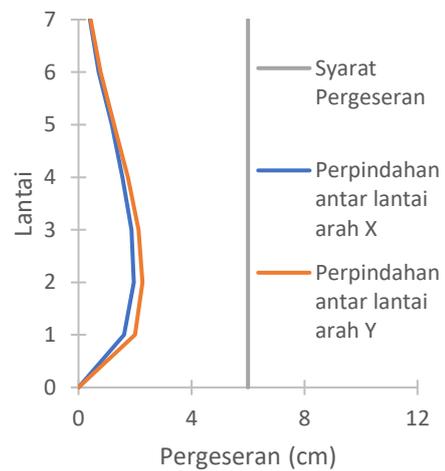
Kobe				
F	Dx (cm)	Dy (cm)	Perpindahan antar lantai arah X	Perpindahan antar lantai arah Y
7	6,05	8,794	0,208	0,266
6	5,842	8,528	0,344	0,512
5	5,498	8,016	0,548	0,897
4	4,95	7,119	0,798	1,39
3	4,152	5,729	1,114	1,89
2	3,038	3,839	1,383	2,134
1	1,655	1,705	1,655	1,705
0	0	0	0	0

Tabel 10 Nilai percepatan maksimum setiap lantai gedung tanpa batu bata beban gempa

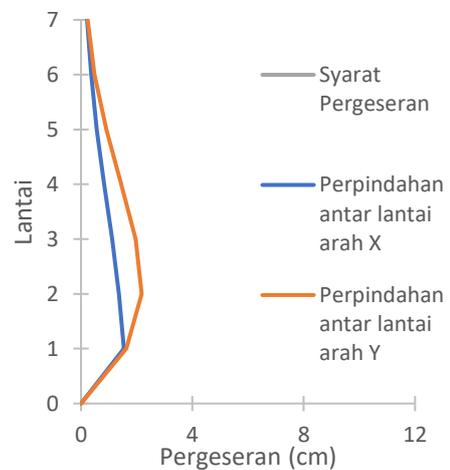
Parkfield				
F	Dx (cm)	Dy (cm)	Perpindahan antar lantai arah X	Perpindahan antar lantai arah Y
7	11,94	9,037	0,53	0,32
6	11,41	8,717	0,99	0,643
5	10,42	8,074	1,556	1,057
4	8,864	7,017	2,034	1,481
3	6,83	5,536	2,4	1,835
2	4,43	3,701	2,439	1,976
1	1,991	1,725	1,991	1,725
0	0	0	0	0

Tabel 11 Nilai percepatan maksimum setiap lantai gedung dengan batu bata beban gempa

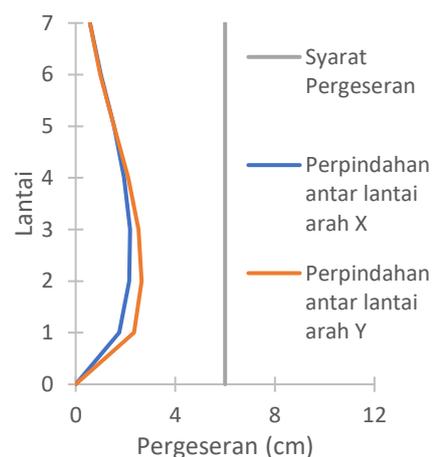
Parkfield				
F	Dx (cm)	Dy (cm)	Perpindahan antar lantai arah X	Perpindahan antar lantai arah Y
7	5,926	8,155	0,263	0,246
6	5,663	7,909	0,442	0,465
5	5,221	7,444	0,638	0,83
4	4,583	6,614	0,873	1,302
3	3,71	5,312	1,034	1,804
2	2,676	3,508	1,222	2,003
1	1,454	1,505	1,454	1,505
0	0	0	0	0



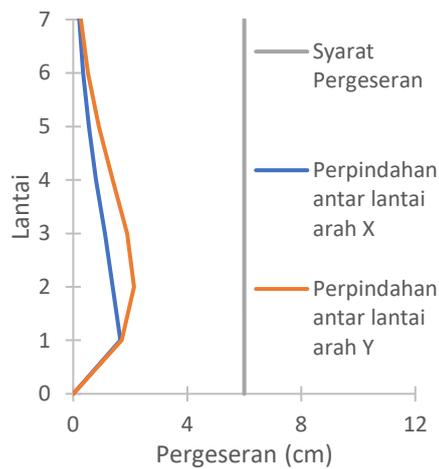
Gambar 22 Grafik percepatan maksimum tiap lantai gempa Elcentro tanpa *masonry*



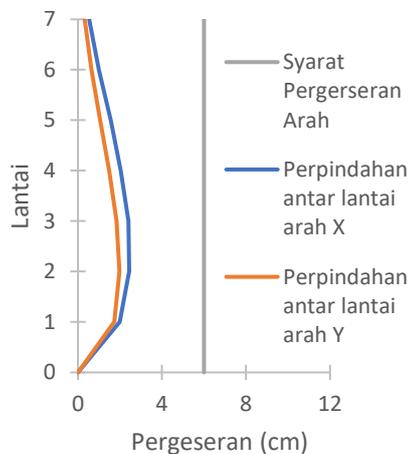
Gambar 23 Grafik percepatan maksimum tiap lantai gempa Elcentro dengan *masonry*



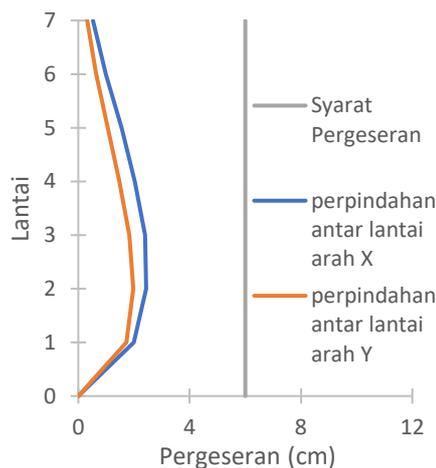
Gambar 24 Grafik percepatan maksimum tiap lantai gempa Kobe tanpa *masonry*



Gambar 25 Grafik percepatan maksimum tiap lantai gempa Kobe dengan *masonry*



Gambar 26 Grafik percepatan maksimum tiap lantai gempa Parkfield tanpa *masonry*



Gambar 27 Grafik percepatan maksimum tiap lantai gempa Parkfield dengan *masonry*

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan olah data yang dilakukan pada Gedung perkuliahan di Yogyakarta dengan *masonry* maupun tanpa *masonry*. Yang pada analisis dilakukan pembebanan dengan gempa Elcentro, Kobe, dan Parkfield dengan Software analisis struktur STERA\_3D ver 10.0. dapat ditarik kesimpulan berikut ini:

1. Hasil analisis *Pushover* pada gedung perkuliahan di Yogyakarta ini dapat dinyatakan aman. Karena pada grafik percepatan maksimum didapatkan hasil pergeseran arah X dan pergeseran arah Y tidak ada yang keluar dari garis syarat pergeseran.
2. Grafik dari aplikasi STERA\_3D mampu menampilkan Kurva kapasitas sebagai hasil *pushover*, *base shear-top drift* sebagai gambaran pergerakan gedung arah X dan arah Y jika terkena beban gempa, dan *orbit of top displacement* sebagai gambaran luasan pergerakan gedung selama gempa terjadi. Gedung-gedung yang akan didirikan disebelah gedung perkuliahan inipun juga dapat diperhitungkan jarak aman dari hasil grafik STERA\_3D.

## Daftar Pustaka

- Arifin, Z., Suyadi, S., dan Sebayang, S., 2016, Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban gempa Dengan Metode Pushover Analysis. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3(3), 427-440.
- Aziz, A. A., Tanojo, T. A. Y., Nurhuda, I., dan Purwanto, P., 2017, Perencanaan Struktur Gedung Center of Advances Science (Cas) Institut Teknologi Bandung. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(2), 285-295.
- Haryanto, Y., Sudibyo, G. H., dan Mariyatno, N. G., 2015, Kinerja model struktur gedung lima lantai pada kondisi tanah keras di wilayah Banyumas akibat beban gempa SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012. *Dinamika Rekayasa*, 11(2), 82-85.
- Khaldun Riantoby, I., Setiya Budi, A., dan Purwanto, E., 2014. Evaluasi kinerja struktur pada gedung bertingkat dengan analisis Pushover menggunakan software etabs (studi kasus: hotel di wilayah

- karanganyar). Matriks Teknik Sipil, 2(1), 116-123.
- Kurniati, D., 2019, Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Awana Condotel Yogyakarta. Jurnal Rekayasa Sipil, 6(1), 85-93.
- Nugroho, F. 2016, Penerapan analisis Pushover untuk menentukan kinerja struktur pada bangunan eksisting gedung beton bertulang. Jurnal Momentum, 18(2), 19-25.
- Pranata, Y. A., 2006, Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440), Jurnal Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Vol. 3, No. 1, hal 41 – 52
- Purba, H. L., 2014, Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidak Beraturan Horizontal Sesuai SNI-1726:2012, Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 2, 710-717.
- Saito, T. 2016, Response of high-rise buildings under long period earthquake ground motions. Int. J. Struct. Eng. Res., (4), 308-314.
- Setiawan, A. 2018, Studi keruntuhan akibat beban siklik dengan metode analisa Pushover pada portal.
- Sudarsana, I. K., Budiwati, I. A. M., dan Juliarta, I. G., 2015, Analisis Perbandingan Efisiensi Struktur Baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Bresing Eksentrik Pada Level Kinerja yang Sama. Tidak diterbitkan. Laporan Penelitian. Bali: Universitas Udayana Bali
- Tata, A., Imran, I., dan Imron, F., 2018, Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Ekonomi Unkhair dengan Analisis Pushover ATC-40. SIPIL SAINS, 8(15), 1-10.
- Comartin, C., Niewiarowski, R., & Rojahn, C. (1996). ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. *SSC 96, 1*.