

KINERJA SEISMIK STRUKTUR PADA TIPE GEDUNG DENGAN KETIDAKTERATURAN KETINGGIAN DAN DENAH

Eka Faisal Nurhidayatullah¹, Mochamad Teguh²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia
Email: eka.faisal@staff.uty.ac.id

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia
Email: m.teguh@ftsp.uui.ac.id

ABSTRACT

Makalah ini membahas kinerja seismic struktur pada bangunan gedung, yang memiliki vertical and horizontal irregularities ditunjukkan dengan elevasi bangunan A lebih tinggi dan lebih panjang dari pada bangunan. Bangunan tersebut mempunyai beberapa keunikan desain, antara lain memiliki dua massa gedung (blok A dan B) yang dibangun di atas tanah berkontur. Untuk menyatukan dua massa bangunan tersebut dihubungkan oleh struktur tangga dengan elevasi yang berbeda. Massa bangunan A terdapat dilatasi terbatas atau tidak menerus. Pemeriksaan kinerja seismic dilakukan guna menentukan implikasi yang ditimbulkan dari keunikan desain bangunan tersebut ketika dilanda gempa dan bagaimana solusi atau metode yang tepat untuk mengatasinya. Pemeriksaan kinerja seismic dilakukan dalam tiga tahapan berdasarkan FEMA 310 (1998), yaitu evaluasi tahap 1 (screening) dengan Rapid Visual Screening (RVS) sesuai FEMA 154 (2002), evaluasi tahap 2 (analisis linier) menggunakan analisis beban gempa statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum untuk menentukan nilai Demand Capacity Ratio (DCR), dan evaluasi tahap 3 (analisis nonlinier) menggunakan analisis pushover dengan program SAP2000 v.14. Titik kinerja (performance point) ditentukan dengan Metode Spektrum Kapasitas berdasarkan ATC-40 (1996). Level kinerja struktur gedung ditentukan berdasarkan kriteria drift ratio yang disyaratkan oleh ATC-40 (1996). Kondisi sendi plastis struktur gedung ditentukan dengan FEMA 356 (2000). Dari hasil penelitian tahap 1 didapatkan hasil RVS menurut FEMA 154 (2002) adalah not good atau terdapat bagian struktur dan non struktur yang tidak memenuhi persyaratan. Nilai DCR pada analisis tahap 2 untuk beberapa elemen balok sudah lebih dari 2 atau sudah dalam kondisi nonlinear in-elastik, sehingga diperlukan evaluasi lebih detail pada evaluasi tahap 3. Pada evaluasi tahap 3, diperoleh level kinerja struktur gedung damage control.

Keywords: *Pemeriksaan Kinerja Seismik, Analisis Pushover, Performance Point, Metode Spektrum Kapasitas, Demand Capacity Ratio, Sendi Plastis*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pemeriksaan terhadap kinerja seismic struktur bangunan dilakukan karena adanya kekhawatiran bangunan-bangunan bertingkat tinggi di Indonesia rentan mengalami kerusakan struktur ketika terjadi gempa berskala besar, seperti gempa Yogyakarta pada bulan Mei 2006. Menurut FEMA, Metode evaluasi yang lazim digunakan meliputi 3 tahapan yaitu *screening phase/rapid visual screening of building* (Tier 1), *evaluation phase* (Tier 2), dan *detailed phase* (Tier 3). Untuk melakukan

evaluasi Tier 2 & Tier 3 diperlukan alat bantu berupa software antara lain SAP 2000, ETABS dan sebagainya. Metode ini dikembangkan oleh *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) yang berupa peraturan standar untuk bangunan. Standar yang dikeluarkan oleh FEMA mencakup tahap sebelum terjadinya gempa, saat terjadi gempa dan setelah terjadi gempa. Dalam standar FEMA juga ditentukan skala prioritas pelaksanaan evaluasi bangunan menurut kegunaan bangunan.

Dalam penelitian ini dipilih sebuah bangunan UPT Rusunawa Grha Bina Harapan yang

terletak di Jl. Juminahan No. 1 Yogyakarta sebagai objek penelitian. Bangunan dirancang pada tahun 2003 menggunakan pedoman Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI-03-1726-2002. Dalam kurun waktu kurang lebih 10 tahun, peraturan pedoman tersebut diperbaharui. Pedoman perencanaan bangunan tahan gempa terbaru adalah Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI-03-1726-2012, yang merupakan pembaharuan dari SNI-03-1726-2002 dengan sebagian daerah mempunyai kandungan *spectral acceleration* pada peta gempanya lebih besar hampir 40% dari *spectral acceleration* sebelumnya (Arfiadi dan Satyarno, 2013). Bangunan ini memiliki dua massa gedung (blok A dan B) dengan ketinggian berbeda dan mempunyai perbedaan elevasi dikarenakan berlokasi di atas tanah berkontur. Bangunan memiliki denah *vertical irregularity* dengan elevasi bangunan A lebih tinggi dari pada bangunan B dan *plan irregularity* dengan kondisi bangunan A lebih panjang dari pada bangunan B. Bangunan ini juga mempunyai beberapa keunikan desain. Dua massa gedung (blok A dan B) dihubungkan oleh struktur tangga dengan elevasi berbeda untuk menyatukan struktur. Pada massa bangunan yang lebih panjang (blok bangunan A) terdapat dilatasi terbatas atau tidak sempurna. Bangunan terdilatasi selebar 10 cm namun masih disatukan oleh plat dan balok selasar pada bagian teras. Pentingnya peran bangunan UPT Rusunawa Grha Bina Harapan dan beberapa ketidakbiasaan atau keunikan kondisi bangunan baik struktur maupun non struktur bangunan pada perencanaan maupun pelaksanaannya di lapangan menjadikan alasan mengapa bangunan tersebut dipilih sebagai objek penelitian.

Titik kinerja (*performance point*) ditentukan dengan Metode Spektrum Kapasitas berdasarkan ATC-40 (1996) dan Metode Koefisien Perpindahan berdasarkan FEMA 356 (2000). Level kinerja struktur gedung

ditentukan berdasarkan kriteria *drift ratio* yang disyaratkan oleh ATC-40 (1996) dan FEMA 356 (2000).

Dengan dilakukannya evaluasi kinerja seismik diharapkan dapat ditentukan *demand capacity ratio*, *drift ratio*, perbandingan tingkat kinerja bangunan, tingkat kinerja bangunan (*performance level*), sendi plastis (*plastics hinge*) pada struktur bangunan. Dengan demikian kebijakan dan langkah-langkah yang tepat sasaran dan rekomendasi yang tepat dapat dilakukan guna mengantisipasi terjadinya kegagalan fungsi struktur pada bangunan yang banyak menimbulkan kerugian seperti kejadian bencana gempa sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Objek penelitian adalah Gedung UPT rusunawa Grha Bina Harapan yang terletak di Jl. Juminahan No.1, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Permodelan Struktur

Permodelan struktur menggunakan *software* SAP2000 V1.4. Berikut ditampilkan tampak atas bangunan gedung objek penelitian.

Pengolahan data

Berikut ditampilkan *flow chart* metode evaluasi struktur bangunan gedung.

LANDASAN TEORI

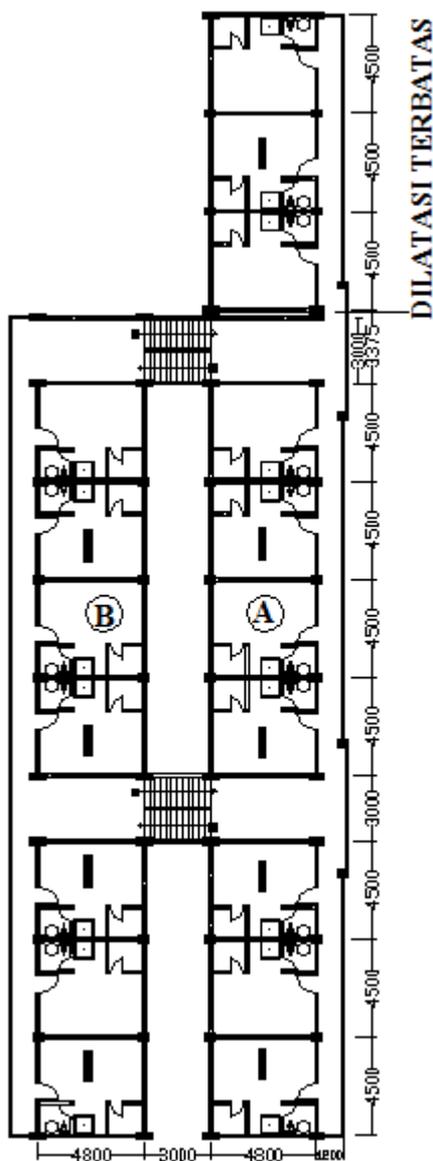
Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Eksisting Dengan Pedoman FEMA 310

Menurut FEMA 310 (1998) evaluasi kinerja struktur bangunan eksisting meliputi 3 tahapan yaitu *screening phase/Rapid Visual Screening of Building* (Tier 1), *evaluation phase* (Tier 2), dan *detailed phase* (Tier 3).

Tier 1 (Evaluasi Tahap 1)

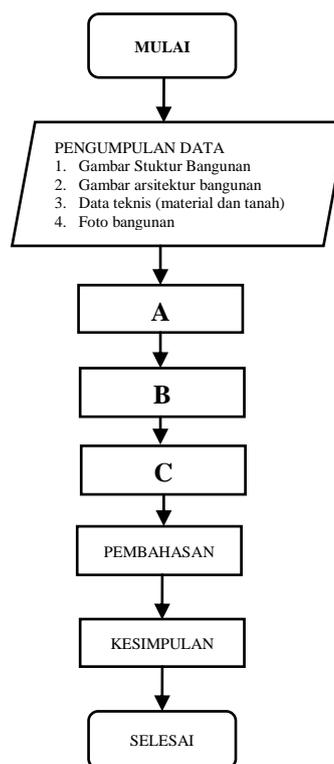
Evaluasi tahap satu (*screening phase*) merupakan langkah awal dalam evaluasi struktur bangunan eksisting. Evaluasi yang dilakukan merupakan evaluasi kondisi eksisting pada bangunan objek penelitian. Pada tahap *screening phase* dilakukan

dengan survei lokasi dan dokumentasi bangunan. Tahap ini mengacu pada pedoman FEMA 154 (2002) yakni evaluasi struktur dengan *Rapid Visual Screening (RVS)*. *Rapid visual screening of building* merupakan evaluasi secara visual yang dilakukan dengan survei lokasi ke bangunan eksisting secara langsung, Hasil akhir (*score*) dari pengisian formulir



Gambar 1 Tampak atas struktur gedung objek penelitian

FEMA 154 (2002) ditentukan dari penjumlahan nilai pada tiap kolom sesuai tipe bangunan yang dievaluasi dari salah satu *seismicity building area form* tersebut. Apabila hasil evaluasi menghasilkan nilai *score* lebih dari 2, maka bangunan tersebut dianggap memiliki kemampuan yang memadai dalam menahan beban gempa. Sebaliknya apabila bangunan memiliki nilai *score* kurang dari 2, maka bangunan perlu dievaluasi lebih lanjut.

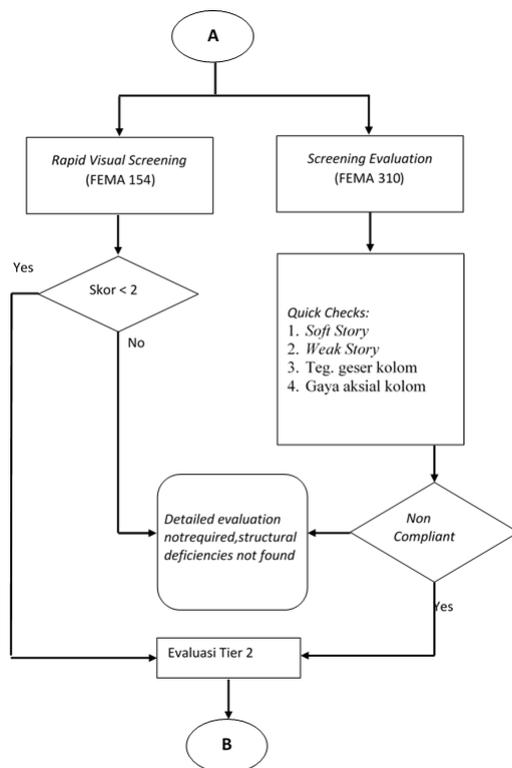


Gambar 2 Diagram evaluasi struktur bangunan

Tier 2 (Evaluation Phase)

Evaluasi tahap 2 (*evaluation phase*) dilakukan setelah evaluasi tahap 1 dengan kesimpulan bahwa bangunan memerlukan evaluasi lebih lanjut dan mendalam. Pada tahap 2 dilakukan analisis dan evaluasi kemampuan sistem penahan gaya lateral pada bangunan meliputi balok (momen dan geser) juga kolom (momen, gaya aksial dan geser). Analisis struktur yang dilakukan pada tahapan ini yaitu *Linear Static Analisis* dan *Linear Elastic Dynamic Analisis*.

Menurut FEMA 356 (2000) *Linear Static Procedure (LSP)* merupakan metode analisis dengan cara memberikan beban gempa statik dalam kondisi linier dan elastik pada bangunan. Beban gempa diberikan setiap lantai bangunan (diafragma) secara horisontal dan vertikal. Beban gempa berupa beban titik yang ditempatkan pada pusat massa tiap lantai (*center of mass*). Analisis *Linear Static Procedure (LSP)* dilakukan dengan berpedoman pada SNI-03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

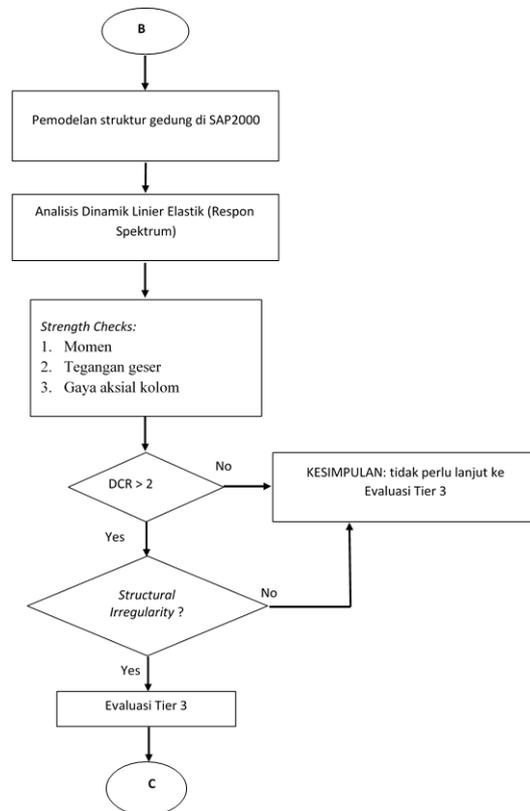


Gambar 3 Diagram alur penelitian, Tier 1

Beban gempa statik ekuivalen arah horisontal yang bekerja pada bangunan ditentukan berdasarkan Pasal 7.8 dan 8.3.1.1 arah vertikal ditentukan berdasarkan Pasal 8.3.1.2.

Dalam *Linear Dynamic Procedure (LDP)* dilakukan analisis ragam spektrum respons yang ditentukan berdasarkan SNI-03-1726-2012 dan peta hazard Gempa Indonesia 2010. Pemberian beban gempa lebih dari satu arah harus dievaluasi dengan

menerapkan 100% gaya gempa pada satu arah ditambah 30% dari gaya gempa pada arah tegak lurus bangunan. Pengaruh gempa arah vertikal bangunan juga turut dipertimbangkan. Menurut FEMA 310 (1998) Gerakan gempa arah vertikal harus diperhitungkan dengan nilai 67 % spektrum response horisontal.



Gambar 4 Diagram alur penelitian, Tier 2

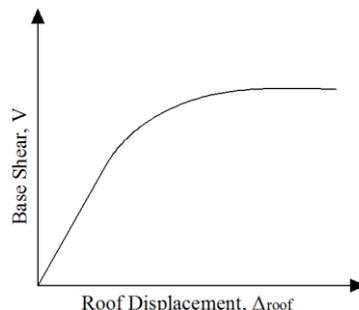
Tier 3 (*Nonlinear Static Pushover Analysis*)

Tahapan 3 pada evaluasi bangunan sesuai FEMA 310 (1998) adalah analisis nonlinier (*nonlinear static pushover analysis*). *Pushover analysis* merupakan metode analisis pada struktur bangunan yang dilakukan dengan menaikkan gaya lateral secara monoton dan bervariasi, mendistribusikannya tergantung ketinggian sampai target *displacement* bangunan terpenuhi (SNI 03-1726-2012). Dua hal terpenting dari *performance based design* adalah *demand* dan *capacity*. *Demand* merepresentasikan beban gempa sedangkan

capacity merepresentasikan kemampuan struktur dalam menahan beban gempa. Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40) menggunakan kurva kapasitas (*capacity curve*) dengan kurva *demand spectrum*.

Kurva kapasitas (*capacity curve*)

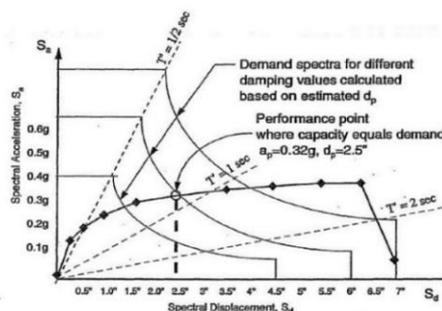
Hubungan antara lateral *displacement* lantai atap dan gaya geser dasar digambarkan dalam suatu kurva yang menggambarkan kapasitas struktur dan dinamakan kurva kapasitas (*capacity curve*). Kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kapasitas gaya geser (V) – roof displacement (ATC-40, 1996)

Titik kinerja (*performance point*)

Titik kinerja merupakan titik perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum *demand*. Ilustrasi *Performance point* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Penentuan titik kinerja menurut metode spektrum kapasitas (ATC-40, 1996)

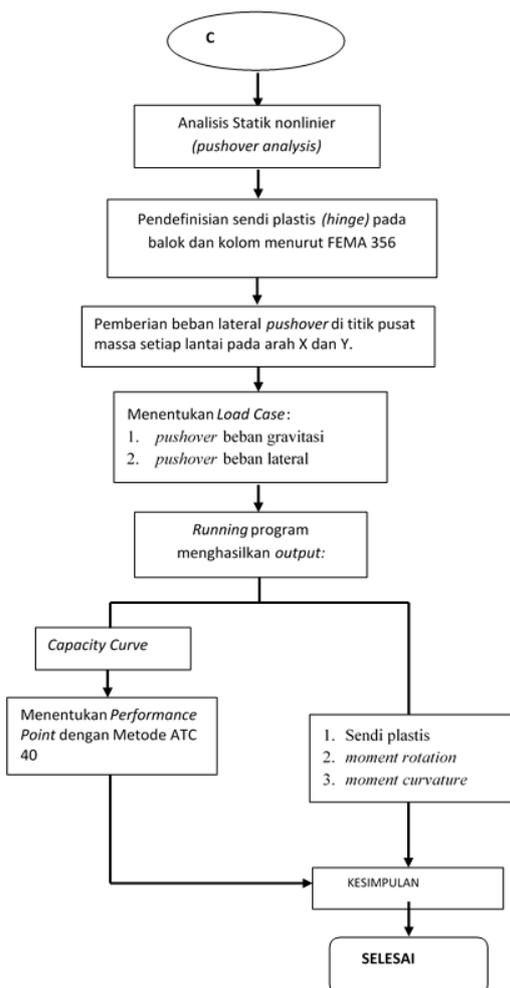
Batasan *Drift Ratio* menurut ATC-40

ATC-40 (1996) memberikan batasan deformasi untuk berbagai level kinerja struktur gedung seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Batasan *drift ratio* untuk level kinerja (ATC-40, 1996)

Batasan simpangan antar tingkat	Level kinerja struktur			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maximum total drift	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Maximum inelastic drift	0,005	0,005-0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

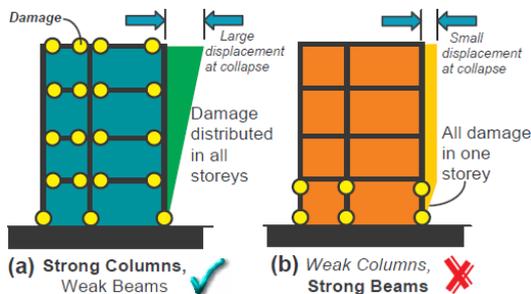
V_i adalah gaya geser total pada lantai i dan P_i adalah gaya gravitasi total pada lantai i .



Gambar 5 Diagram alur penelitian, Tier 3

Sendi plastis (*plastic hinges*)

Menurut (Satyarno, 2010) daerah dengan kondisi tampang sudah tidak mampu lagi menahan kenaikan gaya yang lebih besar disebut sendi plastis (*plastic hinges*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Pola sendi plastis (Indian Institute of technology kanpur Earthquake Tip, 2005)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Evaluasi Tahap 1 (Tier 1)

Rapid visual screening (RVS) dilakukan dengan meninjau dua massa bangunan sesuai kondisi lapangan. *Final score* menunjukkan nilai 1,4, lebih kecil dari 2 yang merupakan batas skor untuk bangunan menurut FEMA 154 (2002). Berdasarkan hasil *Rapid Visual Screening* perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut yang berarti bahwa gedung tersebut memiliki potensi mengalami keruntuhan apabila terjadi gempa.

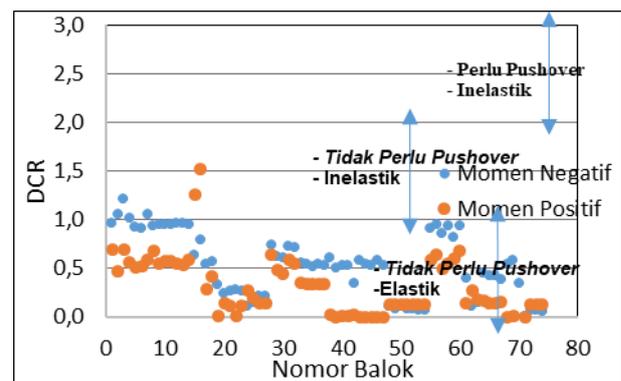
Hasil Evaluasi Tahap 2 (Tier 2)

Tahap 2 (*Tier 2*) pada FEMA 310 (1998) adalah evaluasi bangunan menggunakan analisis linier. Analisis ini meliputi prosedur analisis statik linier elastik (*Linier Elastic Static Procedure, LESP*) dan prosedur analisis dinamik linier elastik (*Linier Elastic Dinamic Procedure, LEDP*) menggunakan respons spektrum. Kemudian hasil dari kedua analisis tersebut dilakukan perhitungan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) sesuai FEMA 310 (1998) untuk menentukan apakah bangunan tersebut perlu dilakukan evaluasi lanjutan. Dalam jurnal ini tinjauan evaluasi *Tier 2* hanya difokuskan pada balok dan kolom lantai 1 gedung dengan pengaruh paling signifikan dibandingkan dengan lantai lainnya.

Linier Elastic Static Procedure (LESP)

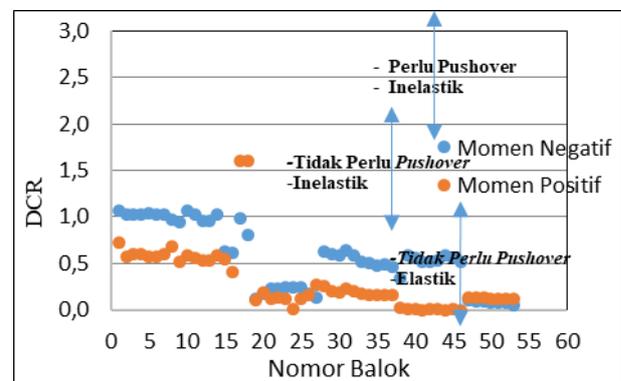
Analisis statik linier elastik dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur pada kondisi linier. Dalam analisis ini, digunakan analisis beban gempa statik berdasarkan SNI 03-1726-2012.

Hasil perhitungan *DCR* momen balok gedung A lantai 1 akibat kombinasi beban gempa statik ditampilkan pada Gambar 9.



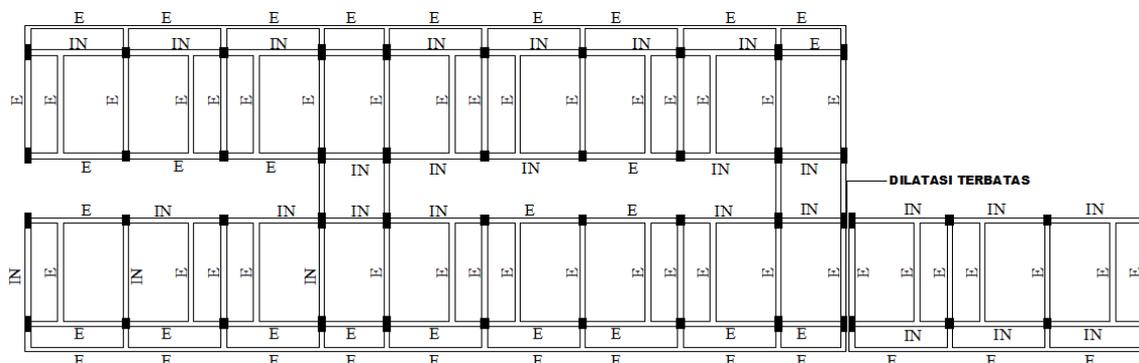
Gambar 9 Grafik *DCR* momen statik balok gedung A

Berdasarkan Gambar 9 diperoleh bahwa belum terdapat balok yang mempunyai nilai *DCR* lebih besar dari 2 dan sudah berada dalam kondisi *nonlinear*. Sedangkan *DCR* balok gedung B dapat dilihat pada Gambar 10.



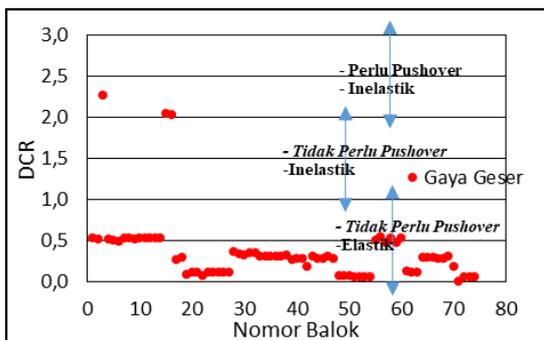
Gambar 10 Grafik *DCR* momen statik balok gedung B

Hasil analisis *DCR* geser balok lantai 1 gedung A akibat beban gempa statik dapat dilihat pada Gambar 12.

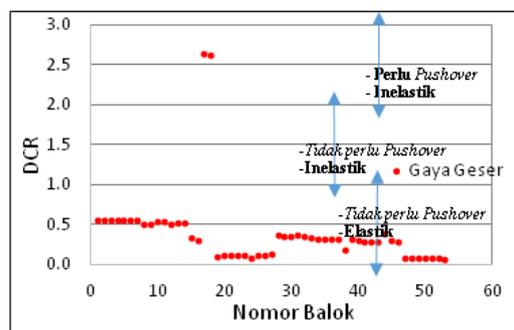


Gambar 11 Gambar Denah Demand Capacity Ratio momen statik balok lantai 1

Gambar 12 menunjukkan terdapat 3 balok yang mempunyai nilai DCR geser lebih besar dari 2 dan sudah berada dalam kondisi *nonlinear*. Balok-balok tersebut menopang tangga penghubung antara gedung A dan B. Hasil perhitungan DCR geser gedung B dapat dilihat pada Gambar 13.

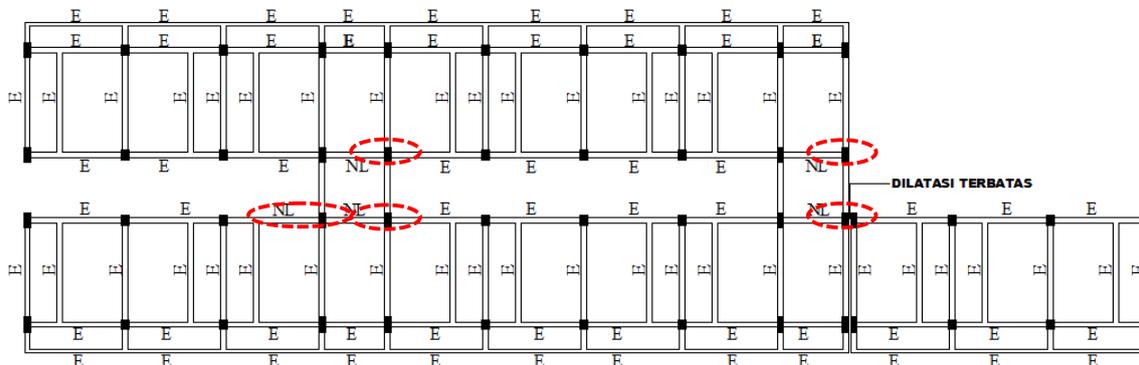


Gambar 12 Grafik DCR geser statik balok gedung A



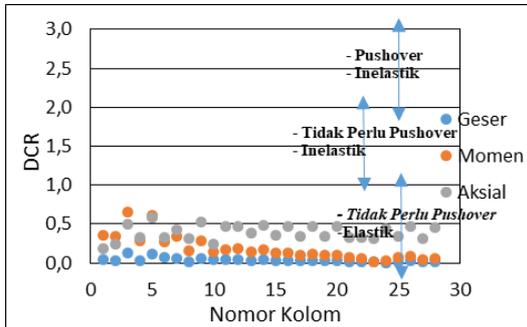
Gambar 13 Grafik DCR geser statik balok gedung B

Seperti yang terlihat pada Gambar 13, DCR geser 2 balok sudah lebih besar dari 2 atau dalam kondisi *nonlinear*. Balok-balok tersebut adalah balok yang menopang tangga penghubung antara gedung A dan B. Tata letak DCR geser balok akibat beban gempa statik dapat dilihat pada Gambar 14.



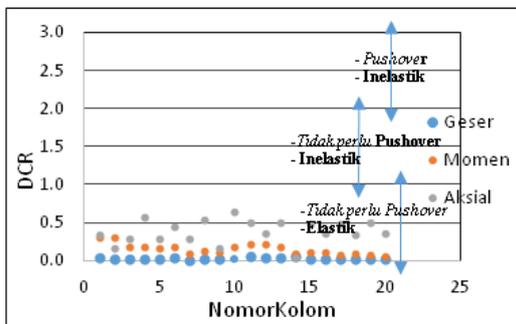
Gambar 14 Denah Demand Capacity Ratio geser statik balok lantai 1

Hasil analisis kolom dengan kombinasi beban gempa statik diperoleh DCR sebagai berikut ini.



Gambar 15 Grafik DCR statik kolom gedung A

Menurut Gambar 15, pada gedung A belum terdapat kolom yang nilai DCR-nya lebih besar dari 1. Semua kolom masih berada dalam kondisi elastik.



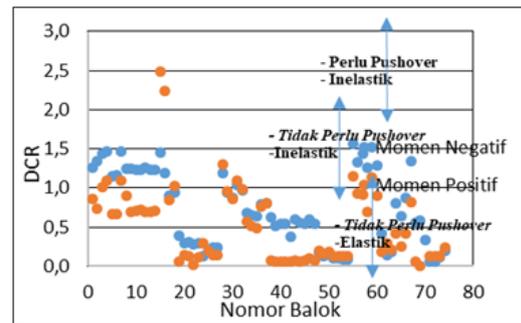
Gambar 16 Grafik DCR statik kolom gedung B

Kondisi sebaliknya terjadi pada gedung B (Gambar 16) bahwa semua kolom berada dalam kondisi elastik dengan nilai DCR kurang dari 1.

Hasil evaluasi dengan *linear elastic Statics Procedure* menunjukkan bahwa seluruh kolom pada gedung objek penelitian mempunyai nilai DCR lebih kecil dari 1 atau masih berada dalam kondisi elastik.

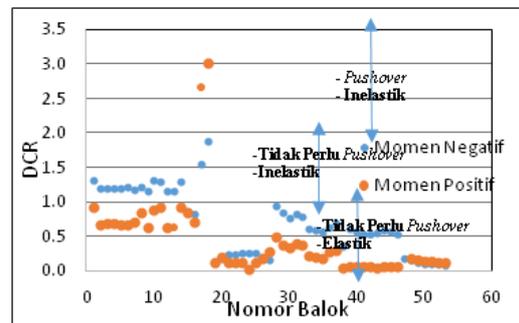
Linier Elastic Dynamic Procedure (LEDP)

Pada penelitian ini, analisis dinamik yang digunakan adalah analisis dinamik respon spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2012. Dari hasil analisis diperoleh grafik DCR momen balok akibat kombinasi beban gempa dinamik sebagai berikut.



Gambar 17 Grafik DCR momen balok lantai 1 akibat beban dinamik gedung A

Gambar 17 menunjukkan bahwa di Gedung A terdapat dua balok yang mempunyai nilai DCR lebih besar dari 2 dan sudah berada dalam kondisi *nonlinear*.



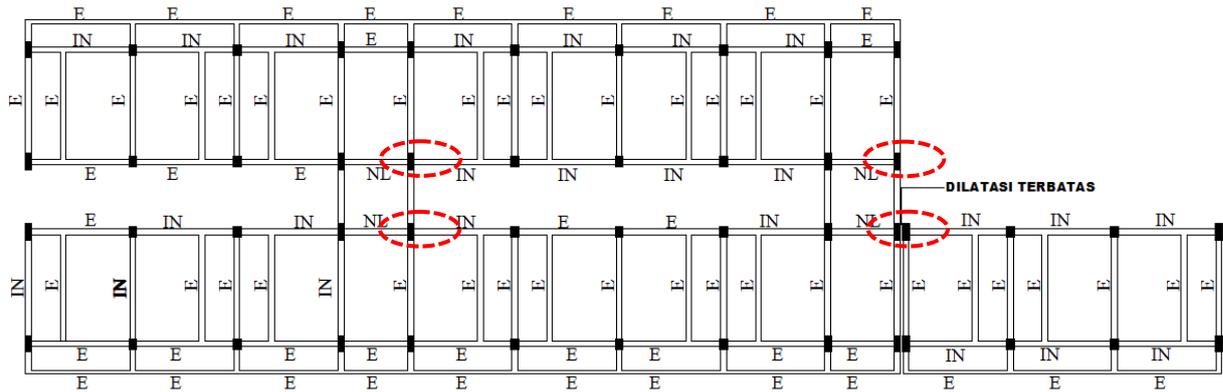
Gambar 18 Grafik DCR momen balok lantai 1 akibat beban dinamik gedung B

Sesuai dengan Gambar 18 diketahui bahwa pada gedung B ada dua balok mempunyai nilai DCR lebih besar dari 2 atau berada dalam kondisi *nonlinear*. Balok-balok tersebut pada umumnya merupakan balok yang menopang tangga penghubung antara gedung A dan B. Denah DCR Momen balok dengan *Linier Elastic Dynamic Procedure* dapat dilihat pada Gambar 19.

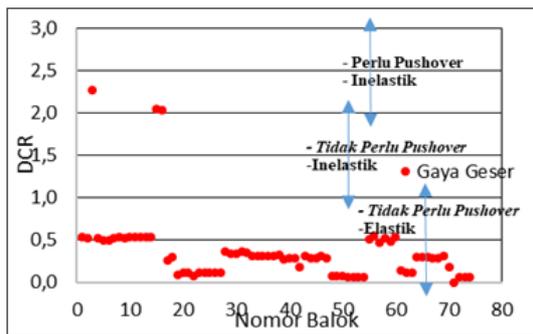
DCR gaya geser hasil analisis beban gempa dinamik pada gedung A dapat dilihat pada Gambar 20.

Seperti yang terlihat pada Gambar 20 bahwa pada gedung A terdapat 3 buah balok yang mempunyai nilai DCR geser lebih besar dari 2 dan sudah berada dalam kondisi *nonlinear*.

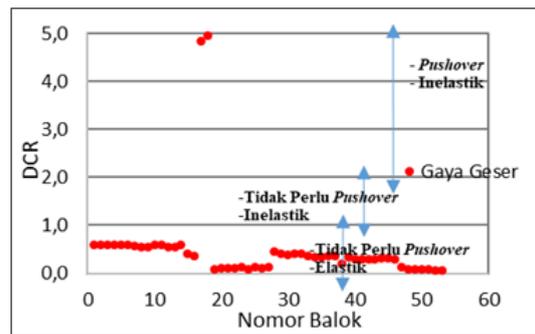
Sedangkan hasil analisis DCR gedung B ditunjukkan oleh Gambar 21.



Gambar 19 Denah DCR momen akibat beban dinamik lantai 1



Gambar 20 Grafik DCR geser balok lantai 1 akibat beban dinamik gedung A



Gambar 21 Grafik DCR geser balok lantai 1 akibat beban dinamik gedung B



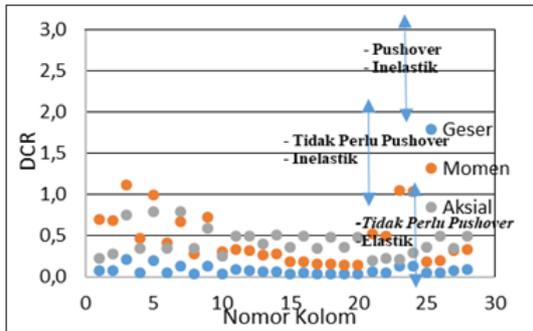
Gambar 22 Denah DCR geser akibat beban dinamik lantai 1

Dengan melihat gambar di atas diketahui bahwa pada gedung B terdapat 2 balok yang mempunyai nilai DCR lebih besar dari 2 dan berada dalam kondisi *nonlinear*. Denah kondisi DCR momen dinamik balok dapat dilihat pada Gambar 22.

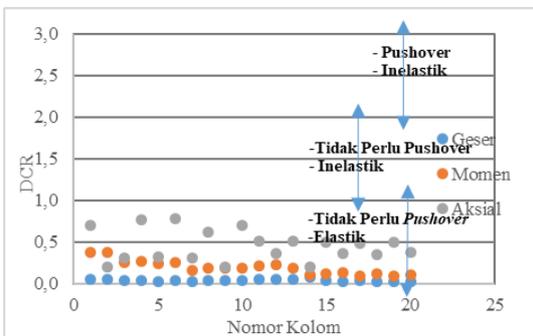
Hasil Perhitungan *Demand Capacity Ratio* (DCR) kolom lantai 1 gedung A akibat gempa dinamik disajikan pada Gambar 23.

Sesuai dengan Gambar 23, hasil analisis struktur akibat kombinasi beban gempa dinamik (*respons spektrum*) menunjukkan bahwa pada gedung A seluruh kolomnya masih berada dalam kondisi elastik.

Hasil perhitungan DCR gedung B disajikan pada Gambar 24.



Gambar 23 Grafik DCR kolom akibat beban dinamik lantai 1 gedung A



Gambar 24 Grafik DCR kolom akibat beban dinamik lantai 1 gedung B

Seperti yang terlihat pada Gambar 24 di gedung B seluruh kolom masih berada dalam keadaan elastik dengan nilai DCR kurang dari 1 dan dengan pola yang tampak relatif sama dengan Gedung A. Dari hasil analisis *Linier Elastic Dynamic Procedure* diketahui seluruh kolom pada gedung objek penelitian berada dalam kondisi elastik dengan nilai DCR kurang dari 1.

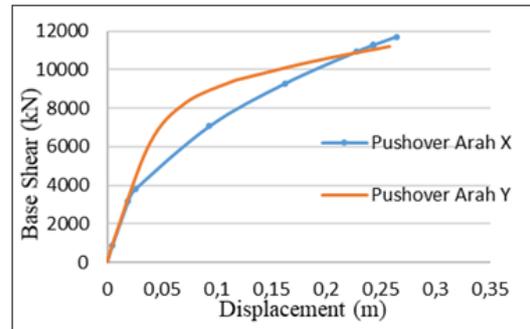
Evaluasi Tahap 3 (Tier 3)

Dari hasil evaluasi tier 2 yang telah dilakukan, terdapat beberapa balok yang mempunyai nilai DCR lebih besar dari 2 (*Non-Linear*) baik untuk variabel momen maupun gaya gesernya maka harus dilanjutkan ke evaluasi tahap 3 (*Tier 3*). *Tier 3* dilakukan untuk mengetahui level kinerja struktur dengan mengacu kepada standar prosedur ATC-40 (1996) dan FEMA 356 (1998). *Tier 3* menggunakan *pushover analysis*. Beban lateral statik *pushover analysis* ditentukan berdasar-kan SNI 03-1726-2012. Berikut adalah hasil dari

pushover analysis menggunakan metode Kurva Kapasitas, ATC-40.

Kurva Kapasitas

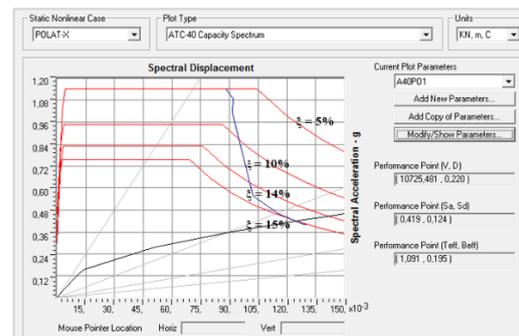
Salah satu hasil yang diperoleh dari hasil analisis *pushover* yaitu berupa kurva kapasitas. Kurva kapasitas *pushover* dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25 Kurva kapasitas *pushover* arah X dan Y

Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

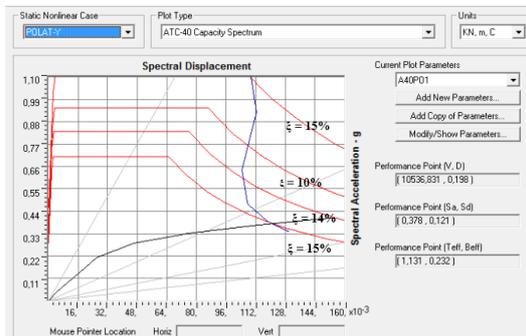
Hasil analisis *pushover* didapatkan nilai target gaya geser dasar (V_t) dan target *displacement* (δ_t). Berikut adalah hasil analisis *pushover* dengan menggunakan metode ATC-40 sebagaimana dijelaskan pada Gambar 26 dan Gambar 27.



Gambar 26 Kurva *pushover* metode ATC-40 akibat beban lateral arah X

Berdasarkan metode ATC-40 diketahui bahwa akibat beban *pushover* arah X diperoleh level kinerja *Damage Control*.

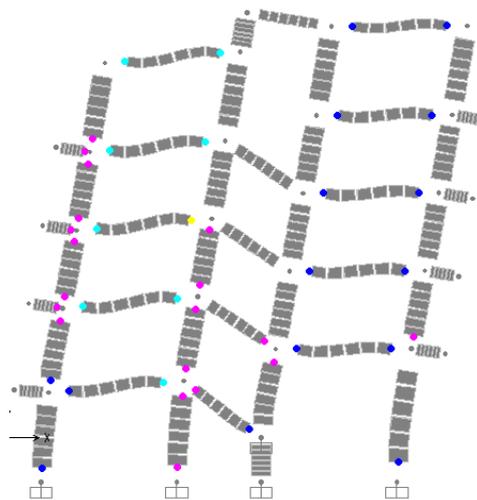
Dengan metode ATC-40 menghasilkan bahwa akibat beban *pushover* arah Y mempunyai level kinerja *Damage Control*.



Gambar 27 Kurva *pushover* metode ATC-40 akibat beban lateral arah Y

Sendi Plastis

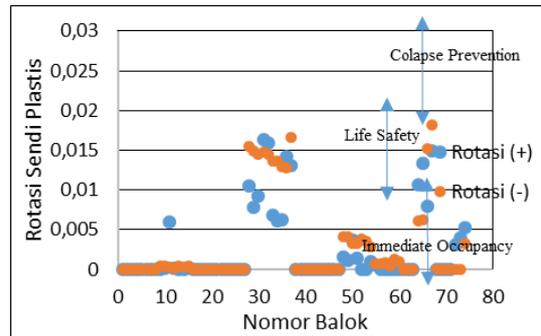
Dari hasil analisis *pushover* didasarkan pada titik kinerja (*performance point*) maka dapat diperoleh titik kinerja tersebut tercapai pada langkah (*step*) tertentu, kemudian dihasilkan jumlah elemen struktur yang mengalami kerusakan.



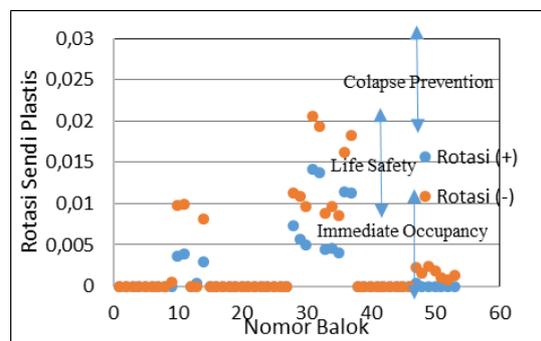
Gambar 28 Posisi sendi plastis step 10 untuk pembebanan *pushover* arah-X

Sendi plastis pada elemen struktur diperoleh dari grafik *moment curvature* atau *moment rotation* yang dihasilkan secara otomatis oleh program SAP2000 v.14. Penentuan kondisi sendi plastis mengikuti pedoman FEMA 356.

Plastics hinge result diperoleh grafik rotasi sendi plastis balok akibat beban *pushover* arah X sebagai berikut.



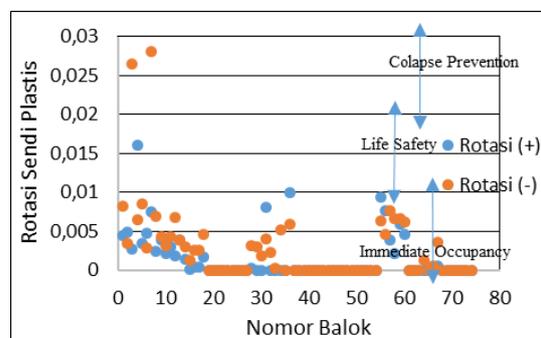
Gambar 29 *Pushover* analisis arah X gedung A



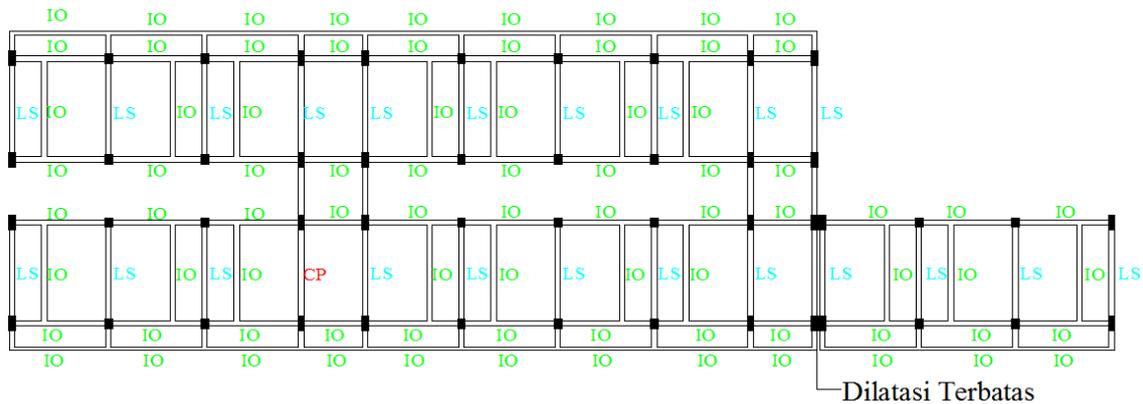
Gambar 30 *Pushover* analisis arah X gedung B

Beban *pushover* arah X mengakibatkan 1 balok sudah berada pada kondisi *Collapse Prevention*. Gedung A terdapat 10 balok, gedung B 10 balok, dan gedung C 4 balok yang termasuk dalam kategori *Life Safety*. Tata letak kondisi balok akibat beban *pushover* arah X pada dapat dilihat pada Gambar 32.

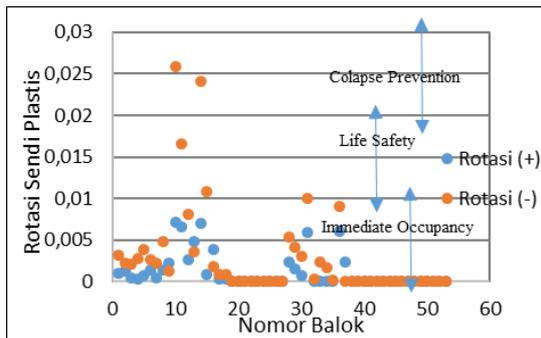
Dari *hinge result* diperoleh grafik rotasi sendi plastis balok akibat beban *pushover* arah Y sebagai berikut.



Gambar 31 Sendi plastis balok *pushover* arah Y gedung A

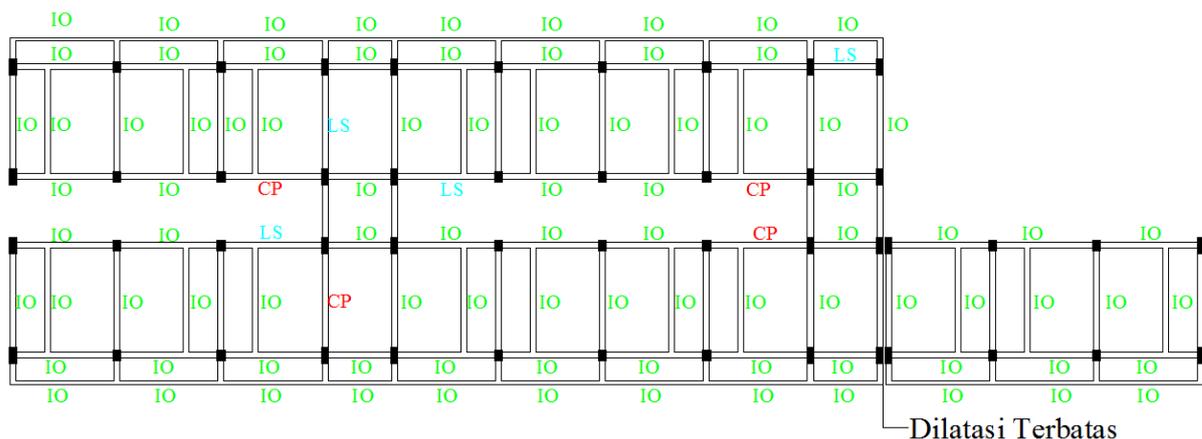


Gambar 32 Denah kondisi sendi plastis balok lantai 1 akibat beban *pushover* arah X



Analisis pembebanan *pushover* arah Y menghasilkan 4 balok sudah berada dalam kondisi *collapse prevention*. Dua balok terletak pada gedung A sedangkan balok lainnya di gedung B. 1 balok gedung A dan 3 balok gedung B sudah termasuk dalam kategori *Life Safety*. Tata letak kondisi balok akibat beban *pushover* arah Y pada dapat dilihat pada Gambar 34.

Gambar 33 Sendi plastis balok *pushover* arah Y gedung B



Gambar 34 Denah kondisi sendi plastis *balok* lantai 1 akibat beban *pushover* arah Y

KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut ini.

1. Hasil evaluasi *Rapid Visual Screening* (RVS) sesuai dengan FEMA 154 (2002) mempunyai nilai akhir (*final score*) $1,4 < 2$, sehingga diperlukan evaluasi lebih

- lanjut dengan menggunakan peraturan yang terbaru SNI-03-1726-2012.
2. *Demand Capacity Ratio* (DCR) baik momen maupun geser beberapa elemen balok lebih besar dari 2 atau berada dalam kondisi *Non-Linear*, sehingga diperlukan evaluasi lanjutan (Evaluasi Tier 3).

3. Hasil analisis *nonlinier* yang menggunakan analisis pushover Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40), diperoleh level kinerja struktur untuk arah-X adalah *Damage Control (DC)*. Sedangkan level kinerja struktur untuk arah-Y dengan adalah *Damage control (DC)*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfiadi, Y., Satyarno, I., (2013). *Perbandingan Spektra Desain Beberapa Kota Besar Di Indonesia Dalam SNI Gempa 2012 Dan SNI Gempa 2002*. Konferensi Nasional Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret. Solo.
- ATC-40.(1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Vol 2*. Applied Technology Council. Redwood City. California. USA.
- Daryono. (2011). Indeks Kerentanan Seismic Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan Di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. Disertasi Doktor. Fakultas Geografi UGM.
- Dewabroto,Wiryanto. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Civil Engineering Conference: *Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism*. Unika Soegijapranata. Semarang.
- Faisal, Eka. (2016). “*Evaluasi Kinerja Struktur Gedung UPT Rusunawa Grha Bina Harapan*”. Tesis. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- FEMA 154. (2002). *Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. Second Edition. Applied Technology Council. 555 Twin Dolpin Drive. Suite 550 Redwood City. California 94065
- FEMA 310. (1998) *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency. USA
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- Irsyam M, Sengara W, Aldiamar F, Widiyantoro S, Triyoso W, Hilman D, Kertapati E, Meilano I, Asrurifak M, Suhardjono. (2010). Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010. Kementrian Pekerjaan Umum
- Jamal, A.U. (2011). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Kuliah Umum “Dr. Sardjito”*. Tesis. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Murty, C.V.R. (2005). *Earthquake Tips-Learning Earthquake Design and Contruction*. Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Kanpur. India.
- Pawidrodikromo W, (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka.
- Satyarno, I. (2011). *Seismic Risk of Important Buildings (Case: Hospitals in Indonesia Recent Earthquakes)*. Postgraduate Program in Natural Disaster Management Department of Civil and Environmental Engineering. Gadjah Mada University. Yogyakarta. Indonesia.
- SNI 1726. (2012). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1727. (2013). *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standari-sasi Nasional. Jakarta.