

EVALUASI KERAPUHAN SEISMIK PADA STRUKTUR GEDUNG KULIAH *TWIN BUILDING* UMY MENURUT SNI 1726-2012

Muhammad Rifki¹, Mochamad Teguh²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : rifki26muhammad@gmail.com

²Guru Besar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : m.teguh@uii.ac.id

Abstrak : *In an effort to anticipate to the risk of future earthquake disasters, the government has renewed the Indonesian National Standard (SNI) relating to the design of earthquake-resistant building structures. It should be noted that the new standard produces a moderate design of earthquake building structure. However, not all of new buildings are designed using the latest standards. The Twin Building of UMY for example, still used the old standard (SNI 1726-2002). Therefore, an evaluation of the structure based on the latest standard (SNI 1726-2012) is needed to evaluate the building performance with regard to the future earthquake-disaster mitigation. This study used three methods to evaluate the structure of the Twin Building of UMY, namely linear static analysis, non-linear pushover analysis and seismic fragility analysis. A Linear static analysis produces the value of the storey-drift ratio and demand capacity ratio (DCR) which shows the behavior of the structure in a linear condition, while a non-linear pushover analysis computes a capacity curve, a spectrum capacity and structural limits. Seismic fragility analysis based on the HAZUS methodology provides a fragility curve producing the probability of structural damage in various conditions of damage (slight, moderate, extensive, and complete). The results of linear static analysis show that there are several structural components with DCR values more than 2, indicating that a non-linear static analysis of the structure should be undertaken. The non-linear pushover analysis presents the displacement and the base shear limits values are 0,220037 m and 60320,78 kN respectively for the x earthquake direction, while for the y earthquake direction consist of 0,263347 m and 161227,1 kN. The seismic fragility analysis results of the Twin Building UMY due to the maximum earthquake in Yogyakarta area ($S_a = 0,7523g$) in conditions of slight, moderate, extensive and complete damage were respectively 99,95%; 99,4%; 84,42% and 31,92% for the x earthquake direction, while for the y earthquake direction consist of 94,87%; 83,11%; 23,65% and 1,35%. If the maximum earthquake occurs in the Yogyakarta area ($S_a = 0,7523g$), the damage condition that can be a reference in overcoming the risk due to the disaster is the extensive condition for the x direction, and the moderate condition for the y direction. The reference is taken based on the level of the damage that is more severe and exceeds the percentage of 50%.*

Kata kunci : kerapuhan seismik, kurva kerapuhan, pushover

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam upayaantisipasi terhadap risiko bencana gempa mendatang, pemerintah telah melakukan pembaharuan Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait desain struktur bangunan tahan gempa. Akan

tetapi, tidak semua gedung baru didesain menggunakan standar yang terbaru. Salah satu contoh bangunan gedung baru yang direncanakan dengan standar lama pasca pemberlakuan standar baru adalah Gedung Kuliah *Twin Building* Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY). Perencanaan gempa pada bangunan ini

menggunakan peraturan lama SNI 1726-2002. Oleh karena itu, evaluasi pada struktur diperlukan untuk mengetahui keamanan struktur bangunan tersebut yang disesuaikan dengan peraturan SNI terbaru, yaitu SNI 03-1726-2012.

Penelitian ini menggunakan tiga metode untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY, yaitu analisis statik linier, analisis *pushover* non-linier dan analisis kerapuhan seismik. Analisis statik linier menghasilkan nilai *storey-drift ratio* dan *demand capacity ratio (DCR)* yang menunjukkan perilaku struktur pada kondisi linier, sedangkan analisis *pushover* memperlihatkan perubahan perilaku struktur dari linier menjadi non-linier. Menurut Pranata (2006), Analisis *pushover* adalah suatu analisis statik non-linier dengan asumsi pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastis. Dari analisis *pushover* akan didapatkan kurva kapasitas, spektrum kapasitas dan batas layan struktur.

Analisis kerapuhan seismik menghasilkan kurva kerapuhan yang menunjukkan probabilitas kerusakan struktur pada berbagai kondisi kerusakan (*slight, moderate, extensive, complete*). Salah satu prosedur yang dapat diikuti untuk memperoleh kurva kerapuhan seismik adalah dengan memakai prosedur yang terdapat dalam metodologi HAZUS.

Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* dalam metodologi HAZUS diperlukan untuk menentukan nilai *median spectral displacement point*. *Median spectral displacement point* adalah nilai tengah dari setiap kondisi kegagalan struktur, yang

nantinya akan diplot dalam skala-log untuk menjadi titik-tinjau pembuatan kurva kerapuhan.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan rumusan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana bentuk kurva kapasitas dan batas layan struktur gedung kuliah *Twin Building* UMY menggunakan analisis *pushover* non-linier?.
2. Bagaimana menentukan *median spectral displacement point* pada berbagai kondisi kegagalan struktur?.
3. Bagaimana bentuk kurva kerapuhan seismik pada berbagai kondisi kegagalan struktur?.
4. Bagaimana hasil evaluasi kegagalan struktur gedung kuliah *Twin Building* UMY berdasarkan kurva kerapuhan seismik struktur?.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab permasalahan pada rumusan masalah sebagai berikut ini.

1. Menggambarkan kurva kapasitas struktur gedung kuliah *Twin Building* UMY menggunakan analisis *pushover* non-linier.
2. Menentukan *median spectral displacement point* pada berbagai kondisi kegagalan struktur menggunakan prosedur pengembangan metodologi HAZUS.
3. Menggambarkan kurva kerapuhan seismik pada berbagai kondisi kegagalan struktur.
4. Mengevaluasi kegagalan struktur gedung kuliah *Twin Building* UMY berdasarkan kurva kerapuhan seismik struktur.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut ini.

1. Sebagai tambahan referensi di bidang perencanaan struktur bangunan tahan gempa terutama dalam memahami perilaku struktur gedung bertingkat yang merupakan inti dari ilmu perancangan dalam rekayasa struktur.

2. Sebagai rekomendasi evaluasi terhadap struktur bangunan gedung-gedung eksisting yang berpotensi mengalami kerusakan akibat beban gempa mendatang terkait dengan perilaku sistem struktur khususnya Gedung Kuliah *Twinn Building* UMY.

2. STUDI PUSTAKA

Wijayanti (2015) melakukan analisis kerapuhan seismik pada bangunan Gedung V Fakultas Teknik UNS Surakarta menggunakan metode HAZUS untuk mengetahui probabilitas pada kondisi kerusakan *slight*, *moderate*, *extensive*, dan *complete* pada gedung tersebut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada *Sd* sebesar 3 cm pada kondisi *slight*, *moderate*, *extensive*, dan *complete* berturut-turut sebesar 66,40%; 41,55%; 8,38%; dan 0,88%. Pada *Sd* sebesar 5 cm pada kondisi *slight*, *moderate*, *extensive*, dan *complete* berturut-turut sebesar 89,14%; 71,65%; 27,23%; dan 4,9%. Hasil analisis ini memberikan gambaran kondisi kerusakan apa yang paling perlu diperhatikan saat gempa terjadi. Sebagai contoh, apabila terjadi gempa yang mengakibatkan *spectra displacement* sebesar 3 cm pada struktur, maka kondisi kerusakan yang menjadi acuan adalah kondisi *slight* karena probabilitasnya lebih dari 50%.

Topomera (2016) melakukan analisis kurva kerapuhan seismik pada Jembatan Meluang A Bengkulu. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa struktur Jembatan Meluang A mengalami sendi plastis saat struktur mengalami perpindahan sebesar 0,1852 m, gaya geser dasar sebesar 12387,2 kN, dan *spectral acceleration* (S_a) sebesar 1,2818. Hasil lainnya menunjukkan bahwa kemungkinan terjadi keruntuhan akibat gempa di daerah Bengkulu (0,5 g) untuk kerusakan *slight* berdasarkan Kim & Shinozuka (2004) sebesar 37,89%; berdasarkan HAZUS sebesar 4,93%; dan IO berdasarkan ATC-40 sebesar 12,78 %; pada kerusakan *moderate* $S_a=1,0$ g; Kim & Shinozuka (2004) sebesar 46,34%; HAZUS-MHMR5 sebesar 39,99%; dan ATC-40 sebesar 39,88%; pada kondisi *extensive*

$S_a=0,5$ g; Kim & Shinozuka (2004) sebesar 2,17%; HAZUS-MHMR5 sebesar 2,11%; dan untuk kondisi *complete* $S_a=0,5$ g; Kim & Shinozuka sebesar 0,00% dan HAZUS-MHMR5 sebesar 1,44 %. Jadi dari penelitian ini dapat dilihat bahwa kemungkinan struktur Jembatan Meluang A mengalami keruntuhan akibat gempa di daerah Bengkulu (0,5 g) berdasarkan Kim & Shinozuka (2004), HAZUS-MH MR5, dan ATC-40 tidak mencapai 10%.

Mayhendra (2015) melakukan evaluasi kinerja struktur Gedung Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan “M.Natsir” UII Yogyakarta yang terletak di jalan Kaliurang KM 14,4. Evaluasi tahap 1 yaitu *Rapid Visual Screening* (RVS) melalui FEMA 154 (1998) diperoleh skor akhir 2,9 dan dilakukan evaluasi secara detail sesuai FEMA 310 dengan hasil komponen struktur dan nonstruktur tidak memenuhi persyaratan. Hasil evaluasi tahap 2 yaitu analisis linier (FEMA 310, 1998) menggunakan beban gempa statik ekuivalen dan beban gempa dinamik spektrum respon, diperoleh *Demand Capacity Ratio* (DCR) lebih dari 2 pada elemen balok dan kolom yang berarti dilakukan evaluasi tahap 3. Pada evaluasi tahap 3 menggunakan analisis *pushover* dan metode spektrum kapasitas (ATC-40, 1996), struktur gedung berada pada level *Damage Control* (DC), sedangkan dengan FEMA 356 simpangan struktur bangunan berada pada level *Life Safety* (LS).

3. LANDASAN TEORI

3.1. Analisis Statik Linier

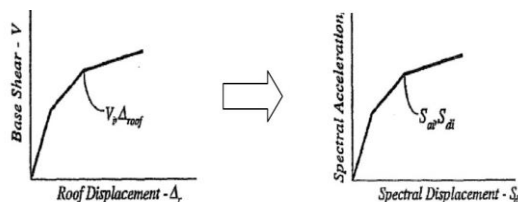
Analisis statik linier menempatkan bangunan masih dalam kondisi linier pada saat dibebani beban gempa. Kekakuan struktur bangunan hampir mendekati kondisi titik leleh. Hasil dari analisis statik linier adalah *storey-drift ratio* (*DR*) dan *demand capacity ratio* (*DCR*). *storey-drift ratio* (*DR*) adalah persentase perbandingan selisih *displacement* antar tingkat dan tinggi lantai. Sedangkan *demand capacity ratio* (*DCR*) adalah perbandingan Momen ultimit komponen struktur terhadap Momen nominal-nya.

Menurut FEMA 356 (2000), nilai DCR ijin yang disyaratkan untuk prosedur linier adalah sebesar 2,0. Jika terdapat satu atau lebih komponen struktur yang memiliki nilai DCR lebih dari atau sama dengan 2,0, maka diperlukan analisis non-linier pada struktur tersebut.

3.2. Analisis Pushover

Analisis *pushover* adalah suatu analisis statik non-linier dengan asumsi pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastik (Pranata, 2006).

Hasil akhir dari analisis pushover adalah kurva kapasitas. Kurva kapasitas (*capacity curve*) merupakan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear, V*) dan simpangan atap (*Roof Displacement, Δ_{roof}*). Kurva kapasitas perlu diubah menjadi kurva spektrum kapasitas (*capacity spectrum*). Kurva spektrum kapasitas merupakan hubungan antara *spectral acceleration (S_a)* dan *spectral displacement (S_d)*. Konversi kurva kapasitas menjadi kurva spektrum kapasitas dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Proses konversi kurva kapasitas ke bentuk *capacity curve spectrum*

Metode ini secara khusus telah *built-in* dalam program SAP2000, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan dalam program.

3.3. Analisis Kerapuhan Seismik

Dalam pembentukan kurva kerapuhan seismik ada dua parameter yang sangat dibutuhkan, yaitu *median spectral displacement* dan nilai standar deviasi.

Nilai *median spectral displacement* didapatkan dengan mengacu kepada prosedur yang diusulkan oleh Duan&Pappin (2008). Langkah-langkah prosedur tersebut dijelaskan sebagai berikut ini.

- Mengidentifikasi nilai *spectra displacement* saat komponen pertama mencapai kondisi kerusakan *complete*. Menurut rekomendasi HAZUS, titik ini merupakan *median spectra displacement* untuk kondisi kerusakan *slight*.
- Nilai *median spectra displacement* untuk kondisi kerusakan *moderate* dapat diperoleh dengan mengalikan *median spectra displacement* dari kondisi kerusakan *slight* dengan factor 1,5.
- Mengidentifikasi *spectra displacement* dengan titik *collapse* pada kurva kapasitas sebagai *median spectral displacement point* kondisi kerusakan *complete*.
- Nilai *median spectra displacement* untuk kondisi kerusakan *extensive* dapat ditentukan dengan menempatkannya pada tengah-tengah antara *median points* untuk kondisi kerusakan *moderate* dan *complete* pada skala log.

Untuk nilai standar deviasi (β_{ds}) diperoleh dari tabel HAZUS yang diklasifikasikan berdasarkan jumlah lantai, bahan konstruksi dan sistem struktural yang dimiliki.

Nilai probabilitas pada setiap kondisi kerusakan dapat diperoleh berdasarkan persamaan 1 berikut ini.

$$P(ds|S_d) = \Phi \left(\frac{1}{\beta_{ds}} \right) \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,ds}} \right) \quad (1)$$

dengan: S_d, ds : nilai median *spectral displacement* dimana bangunan mencapai ambang *damage state*, ds.

- β_{ds} : standar deviasi
- Φ : fungsi distribusi standar kumulatif normal.

4. METODE PENELITIAN

4.1. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini evaluasi kinerja struktur dilakukan menggunakan tiga metode, yaitu analisis statik linier, analisis, dan analisis kurva kerapuhan. Langkah-langkah dalam penelitian ini berpedoman pada SNI 1726-2012, ATC-40, dan HAZUS-MH 2.1.

4.2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam perancangan meliputi data struktural, jenis tanah, beban gempa, serta bahan material bangunan. Data ini digunakan untuk pemodelan dan pembebanan struktur yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan SAP2000 V15.

4.3. Pemodelan Struktur

Penelitian ini menggunakan analisis *pushover* nonlinier dengan bantuan program SAP 2000 V15. Pemodelan berupa portal *open frame*, sehingga hanya *shear wall* (dinding geser) yang dimodelkan dalam pemodelan struktur. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan numerik pada gedung kuliah *Twin Building* UMY adalah sebagai berikut ini.

1. Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*.
2. Plat lantai dimodelkan sebagai *shell*.
3. *Shear wall* dimodelkan sebagai *shell*.

4.4. Pembebanan Gempa

Dalam menganalisis elemen struktur bangunan yang ditinjau, beban gempa dianggap sebagai beban statik ekuivalen pada tiap lantainya. Prosedur statik ekuivalen untuk mendapatkan distribusi gaya lateral gempa tiap lantainya, yaitu dengan :

1. menghitung periode alami fundamental (T),
2. menghitung distribusi gaya geser dasar horizontal, dan
3. menghitung gaya geser tiap lantai.

4.5. Analisis Pushover

Pada program SAP2000, hasil analisis *pushover* didapat Kurva Kapasitas yang

menunjukkan perilaku struktur saat dikenai gaya geser pada level tertentu, kurva respon spektrum yang sesuai dengan wilayah gempa yang ada, diagram leleh sendi plastis pada balok dan kolom.

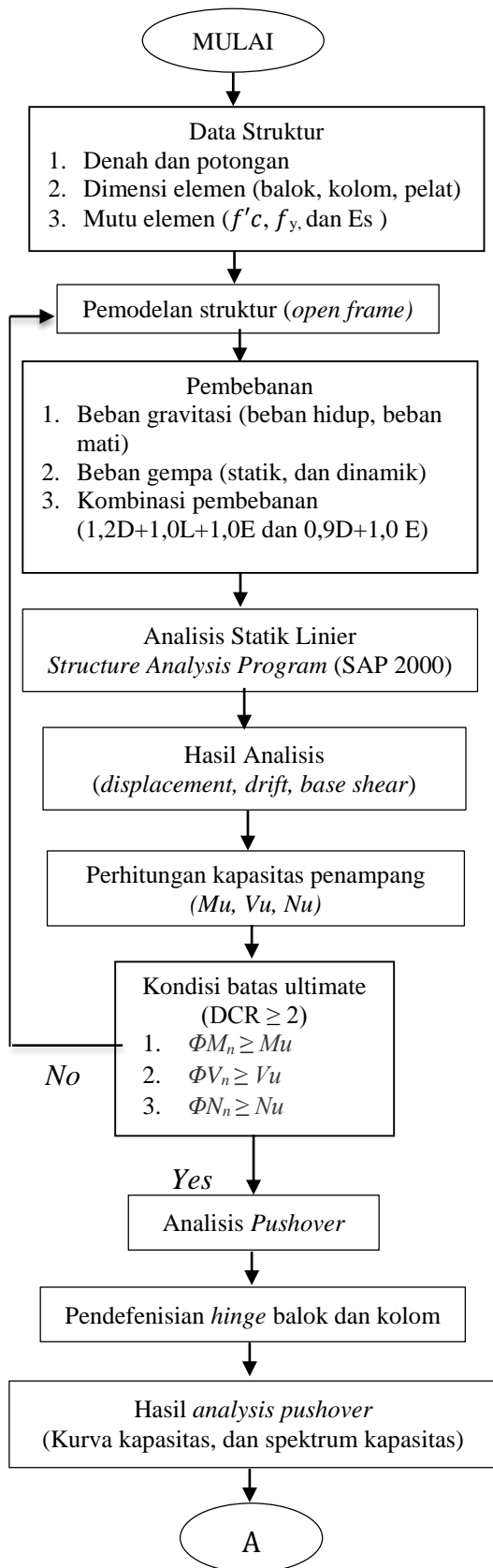
Dilakukan analisis terhadap kurva kapasitas spektrum yang diperoleh dari analisis *pushover* untuk mendapatkan nilai *median spectral displacement* pada setiap kondisi kerusakan. Nilai *median spectral displacement* pada setiap kondisi kerusakan akan digambarkan dalam skala log pada kurva kerapuhan seismik dengan nilai probabilitas sebesar 50% serta digunakan untuk menentukan nilai probabilitas kegagalan struktur pada skala gempa yang lain (Duan&Pappin,2008).

4.6. Analisis Kerapuhan Seismik

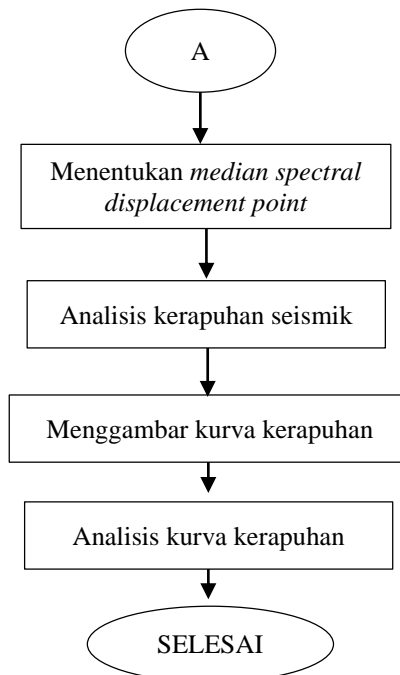
Metode analisis merupakan metode yang akan digunakan untuk memperoleh nilai probabilitas dalam setiap kondisi kerusakan. Probabilitas kegagalan struktur pada setiap kondisi kerusakan akan dihitung menggunakan persamaan 1.

Variabel tidak diketahui yang berupa nilai *median spectra displacement* diperoleh menggunakan prosedur yang diusulkan oleh Duan&Pappin (2008), sedangkan nilai standar deviasi pada setiap kondisi kerusakan ditetapkan berdasarkan peraturan HAZUS. Untuk variabel acak *spectral displacement* disimulasikan hingga diperoleh nilai probabilitas yang dapat mewakili kurva kerapuhan untuk masing masing *damage state*. Nilai probabilitas yang diperoleh digunakan untuk menentukan titik koordinat kurva kerapuhan sebagai sumbu ordinat (y) dengan nilai *spectra displacement* sebagai sumbu aksis (x). titik-titik koordinat tersebut kemudian dihubungkan untuk membentuk kurva kerapuhan seismik.

Proses penelitian pada struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dapat dilihat dalam bagan alir berikut ini.



Gambar 2 Bagan alir tahapan analisis



Gambar 3 Bagan alir tahapan analisis (lanjutan)

5. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Statik Linier

1. Rasio Simpangan Tingkat (*Storey-drift ratio*)

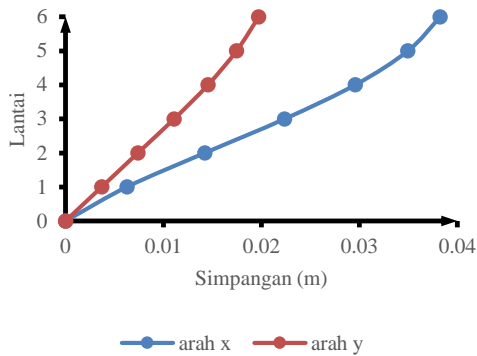
Hasil perhitungan Rasio simpangan tingkat dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Nilai *storey-drift ratio* pada masing masing tingkat

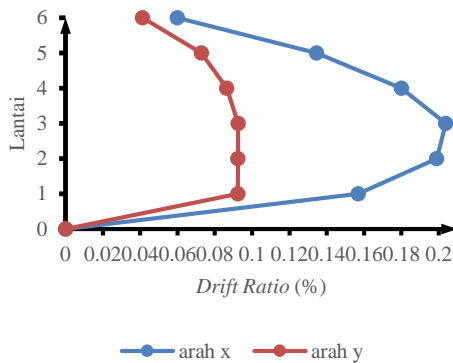
Lantai	H (m)	Displacement		DR (%)	
		X	Y	X	Y
Lantai atap	5,5	0,038	0,0197	0,0599	0,0413
Lantai 5	4	0,035	0,0174	0,1345	0,0728
Lantai 4	4	0,029	0,0145	0,1799	0,0864
Lantai 3	4	0,022	0,0111	0,2037	0,0925
Lantai 2	4	0,014	0,0073	0,1989	0,0924
Lantai 1	4	0,006	0,0037	0,1568	0,0923
Lantai dasar	0	0	0	0	0

Kurva simpangan dan kurva *storey-drift ratio* pada masing-masing lantai dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut ini.

Rasio simpangan tingkat maksimum pada arah X adalah sebesar 0,20375% pada lantai 3, dan pada arah Y sebesar 0,09250% pada lantai 3.



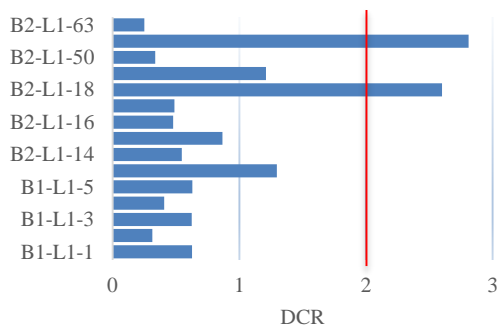
Gambar 4 Simpangan masing-masing tingkat



Gambar 5 Storey-drift ratio

2. Demand Capacity Ratio (DCR)

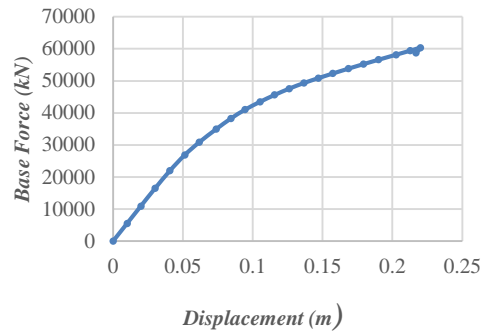
Dari perhitungan nilai DCR hasil analisis beban gempa statik ekuivalen, diperoleh beberapa elemen balok dengan nilai DCR yang lebih besar dari 2 yang menunjukkan bahwa diperlukannya evaluasi ke tahap selanjutnya, yaitu analisis nonlinier. Untuk lebih jelas dapat dilihat diagram DCR beberapa elemen balok lantai 1 pada Gambar 6 berikut ini.



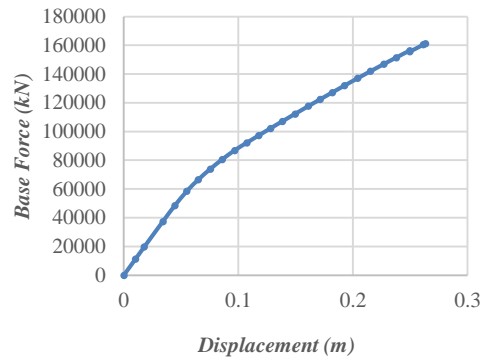
Gambar 6 DCR komponen struktur lantai 1

5.2. Analisis Pushover

Bentuk kurva kapasitas hasil analisis *pushover* arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 berikut ini.



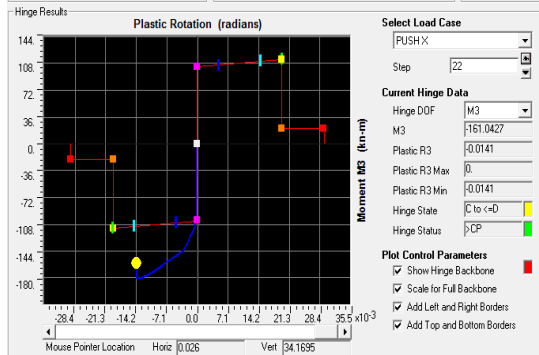
Gambar 7 Kurva kapasitas arah x



Gambar 8 Kurva kapasitas arah y

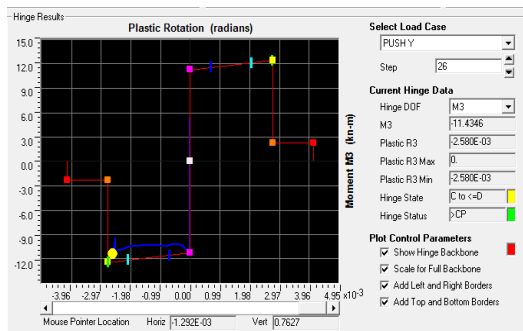
Hasil analisis *pushover* non-linier arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY menunjukkan nilai *displacement* dan nilai *base reaction* sebesar 0,220037 m dan 60320,78 kN, sedangkan pada arah y nilai *displacement* dan *base reaction* yang dicapai adalah sebesar 0,263347 m dan 161227,1 kN. Dari kurva kerapuhan arah x pada Gambar 7, terlihat adanya penurunan pada nilai *displacement* maupun nilai gaya geser dasar (*base force*). Penurunan ini terjadi karena adanya komponen struktur yang mengalami kehancuran. Setelah dilakukan identifikasi, komponen struktur yang mengalami kehancuran pada step ke-22 adalah kolom tangga lantai 3. Pada hasil *hinge properties* kolom terlihat bahwa kolom tangga lantai 3 telah mengalami kehancuran pada step ke-22 yang ditandai dengan *Hinge State* yang berstatus *C to D*. Hasil analisis

hinge properties Kolom tangga lantai 3 ditampilkan pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9 Hinge properties kolom tangga lantai 3

Untuk kurva kerapuhan arah y pada Gambar 8, terlihat proses analisis terhenti pada step ke 26. Hal ini terjadi karena adanya komponen struktur yang telah mengalami kehancuran. Setelah dilakukan identifikasi, komponen struktur yang mengalami kehancuran adalah kolom K7-DASAR-1. Pada hasil *hinge properties* kolom terlihat bahwa kolom K7-DASAR-1 Gedung Kuliah *Twin Building* UMY telah mengalami kehancuran pada step ke-26 yang ditandai dengan *Hinge State* yang berstatus C to D. Hasil analisis *hinge properties* Kolom K7-DASAR-1 ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Hinge properties kolom K7-DASAR-1

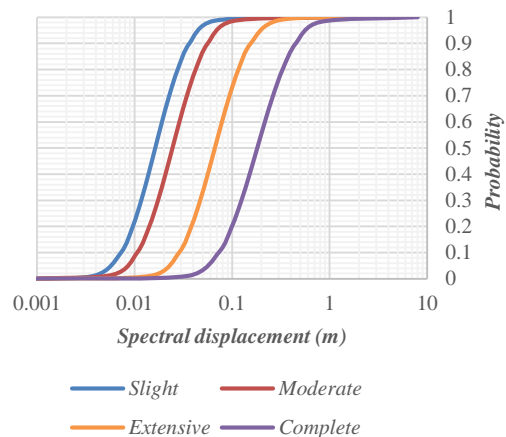
5.3. Analisis Kerapuhan Seismik

Dari metode pengembangan HAZUS menurut (Duan&Pappin, 2008) dan Tabel HAZUS didapatkan *nilai median spectral displacement* dan standar deviasi setiap kondisi kerusakan seperti dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

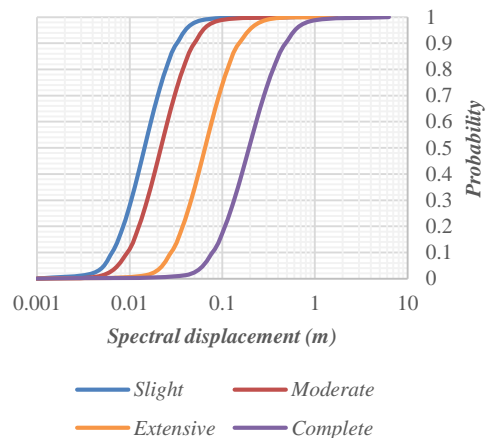
Tabel 2 Rangkuman nilai S_d dan β_{ds}

Damage state	S_d (m)		β_{ds}	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
<i>Slight</i>	0,016	0,0144	0,63	0,63
<i>Moderate</i>	0,024	0,0217	0,65	0,65
<i>Extensive</i>	0,066	0,0649	0,66	0,66
<i>Complete</i>	0,181	0,1945	0,71	0,71

Dengan menggunakan persamaan 1, nilai parameter *spectral displacement* (S_d) divariasikan secara acak hingga diperoleh nilai-nilai P yang mewakili probabilitas 0 sampai 1. Hasil perhitungan probabilitas kemudian diplot ke dalam skala log sampai didapat kurva kerapuhan pada arah x dan arah y. Bentuk kurva kerapuhan dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12 berikut ini.



Gambar 11 Kurva kerapuhan arah x



Gambar 12 Kurva kerapuhan arah y

Dengan mengacu pada kurva kerapuhan yang sudah dibentuk, dapat dilakukan perhitungan nilai probabilitas kegagalan struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY. Berdasarkan peta zonasi gempa SNI 1726-2012, kemungkinan terjadi percepatan tanah maksimum untuk daerah Yogyakarta adalah sebesar 0,7523 g. Berdasarkan data spektrum kapasitas yang diinterpolasi, didapatkan nilai S_d untuk arah x dan arah y masing-masing sebesar 0,12976 m dan 0,040435. Hasil perhitungan probabilitas pada berbagai kondisi kerusakan Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Nilai probabilitas berdasarkan percepatan tanah maksimum DI Yogyakarta

Damage state	Arah		Arah (%)	
	x	y	x	y
<i>Slight</i>	0,999	0,948	99,95	94,87
<i>Moderate</i>	0,994	0,831	99,48	83,12
<i>Extensive</i>	0,844	0,236	84,42	23,64
<i>Complete</i>	0,319	0,013	31,92	1,35

Apabila terjadi gempa maksimum daerah Yogyakarta ($S_a=0,7523g$), maka kondisi kerusakan yang dapat menjadi acuan dalam menanggulangi risiko akibat bencana adalah kondisi *extensive* untuk arah x, dan kondisi *moderate* untuk arah y. Acuan tersebut diambil berdasarkan tingkat kerusan yang lebih parah dan melebihi persentase 50%.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang menjawab rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Dari hasil analisis *pushover* non-linier arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY menunjukkan adanya penurunan pada nilai *displacement* maupun nilai gaya geser dasar (*base force*). Penurunan ini terjadi karena adanya komponen struktur yang mengalami kehancuran. Setelah dilakukan identifikasi, komponen struktur yang mengalami kehancuran

pada step ke-22 adalah kolom tangga lantai 3. Nilai *displacement* dan nilai *base reaction* yang dicapai pada arah x adalah sebesar 0,220037 m dan 60320,78 kN, sedangkan pada arah y sebesar 0,263347 m dan 161227,1 kN.

2. Nilai median *spectral displacement* (S_d) yang meliputi kondisi *slight*, *mederate*, *extensive*, dan *complete* untuk arah x secara berturut-turut adalah sebesar 0,0163 m, 0,02444 m, 0,06654 m, dan 0,18115 m. Untuk arah y sebesar 0,014455 m, 0,021682 m, 0,064934 m, dan 0,194463 m.
3. Dari hasil analisis kerapuhan seismik Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dapat dilihat bahwa bentuk kurva kerapuhan telah sesuai dengan bentuk kurva yang dicontohkan dalam HAZUS. Rentang nilai *spectral displacement* (S_d) pada kurva kerapuhan seismik arah x dimulai dari 0,001-0,8 m untuk kondisi *slight*, 0,001-0,9 m untuk kondisi *moderate*, 0,001-2,3 m untuk kondisi *extensive*, dan 0,001-8 m untuk kondisi *complete*. Sedangkan untuk arah y dimulai dari 0,001-0,7 m untuk kondisi *slight*, 0,001-0,6 m untuk kondisi *moderate*, 0,001-1,7 m untuk kondisi *extensive*, dan 0,001-6,3 m untuk kondisi *complete*.
4. Kemungkinan terjadinya keruntuhan pada struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY akibat gempa maksimum DI Yogyakarta ($S_a=0,7523g$) berdasarkan kurva kerapuhan seismik arah x kondisi *slight*, *moderate*, *extensive*, dan *complete* berturut-turut sebesar 99,95%, 99,4 %, 84,42%, dan 31,92%. Sedangkan untuk arah y berturut-turut sebesar 94,87%, 83,11%, 23,65%, dan 1,35%. Apabila terjadi gempa maksimum daerah Yogyakarta ($S_a=0,7523g$), maka kondisi kerusakan yang dapat menjadi acuan dalam menanggulangi risiko akibat bencana adalah kondisi *extensive* untuk arah x, dan kondisi *moderate* untuk arah y. Acuan tersebut diambil berdasarkan tingkat kerusan yang lebih parah dan melebihi persentase 50%.

6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian analisis kerapuhan seismik. Saran tersebut adalah sebagai berikut ini.

1. Kelengkapan data seperti draft gambar, hasil uji tekan beton, dan hasil uji tarik baja sangat dibutuhkan dalam membangun kurva kerapuhan seismik, mengingat gedung yang dianalisis adalah gedung yang sudah berdiri (*existing*).
2. Perbandingan hasil kurva kerapuhan dari berbagai metode sangat diperlukan sebagai acuan untuk memilih metode mana yang lebih cocok digunakan sebagai acuan pembangunan kurva kerapuhan. Beberapa metode tersebut antara lain HAZUS, ATC 40, dan Kim & Shinozuka (2004).

7. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2012, *Rancangan Standar Nasional Indonesia. Tata Cara Perancangan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung* (SNI-03-1726-2012). BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung* (SNI 03-2847-2013). BSN. Jakarta.
- California Seismic Safety Commission, 1996, *Applied Technology Council, Seismik Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC-40)*.
- Dewobroto, W, 2006, Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.3. No.1. Januari 2006. Jurusan Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan. Jakarta.
- Dewobroto, W, 2007, Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000. Lumina Press. Jakarta.
- Duan, X, and Pappin, JW, 2008, A Procedure for Establishing Fragility Functions for Seismic Loss Estimate of Existing Buildings Based on Nonlinier Pushover Analysis. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing. 12-17 October.
- International Code Council (ICC), 2006, *International Building Code*. International Council Code, Inc. USA
- Mayhendra, 2015, Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan "M.Natsir" UII Yogyakarta. Tesis. Tidak Dipublikasikan.
- Penerbit Yayasan PU, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Pinto, P.E, 2008, *Eurocode 8 Part 3 Assessment and Retrofit of Buildings*. 18-20 Februari. Brussels.
- Pranata, Y.A, 2006, Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan *Pushover Analysis*. *Jurnal*. Universitas Kristen Maranatha. Bandung.
- Topomera, E.N, 2016, Pembentukan Kurva Kerapuhan Berbasis Analisis *Pushover* Untuk Evaluasi Kinerja Seismik Jembatan Beton. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Wijayanti, E, 2015, Analisis Kerapuhan Seismik Struktur Beton Bertulang (Studi kasus : Gedung V Fakultas Teknik UNS). *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.