

Evaluasi Level Kinerja Gedung AR. Fachruddin UMY dengan Metode *Pushover Analysis*

Performance Level Evaluation of AR Fachruddin's UMY Building Using Pushover Analysis Method

Davicha Firly Pradana, M. Ibnu Syamsi, Taufiq Ilham Maulana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa merupakan hal yang penting di Indonesia, hal tersebut bertujuan agar dapat memberikan kinerja sesuai dengan peraturan yang berlaku. Bangunan di Indonesia disyaratkan untuk mengikuti peraturan-peraturan yang sudah ditetapkan. Penelitian ini mengacu pada SNI 1726:2012, FEMA 2000 dan ATC-40. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja bangunan dengan cara mencari nilai simpangan gedung terhadap beban gempa dan menentukan level kinerja bangunan. Metode analisis simpangan (*displacement*) yang digunakan terhadap beban gempa yaitu Metode *Pushover*. Tujuan analisis *pushover* ialah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur bangunan. Analisis program menggunakan *finite element* membantu dalam menghitung gaya-gaya lateral yang terjadi akibat beban gempa di gedung AR Fachruddin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Hasil nilai *displacement* dari analisis *pushover*, arah x sebesar 0,07208 m, arah y sebesar 0,06901 m dan arah diagonal sebesar 0,03882 m. Untuk nilai *drift ratio*, nilai arah x sebesar 0,32 %, y sebesar 0,30 % dan diagonal sebesar 0,16 %, menurut ATC-40 dan FEMA 2000 nilai *drift ratio* tercapai. Level kinerja struktur bangunan berdasarkan target perpindahan menurut metode FEMA 2000 dan ATC-40 gedung AR Fachruddin pada struktur bangunan belum mencapai IO (*Immediate Occupancy*) karena bangunan aman, dan tidak terlalu memakan korban jiwa serta kerusakan pada struktur bangunan.

Kata-kata kunci : level kinerja, *pushover*, evaluasi, analisis, simpangan, *drift ratio*

Abstract. The planning of earthquake resistant building structure is important thing in Indonesia, it aims to provide performance according to the prevail regulation. Buildings in Indonesia are required to follow the regulations that have been established. This study refers to SNI 1726:2012, FEMA 2000 and ATC-40. The purpose of this study is evaluate the performance of a building by looking for the value of the building's deviation to the earthquake load and to looking for level the performance of building. Displacement analysis method which is used to the earthquake load is the *Pushover* method. The purpose of *pushover* analysis is to estimate the maximum force and deformation that occurs and to determine the building structure collapse behaviour. Program analysis used of finite element is assisting in calculating the lateral forces that occur due to earthquake loads in the AR Fachruddin building, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. The result of displacement value from *pushover* analysis, x direction is 0,07208 m, y direction is 0,06901 m and diagonal direction is 0,03882 m. For drift ratio value, the x direction is 0.32%, y direction is 0.30% and diagonal direction is 0.16%, according to ATC-40 and FEMA 2000 the drift ratio value is reached. The performance level of the building structure based on displacement targets according to the methods of FEMA 2000 and ATC-40, the AR Fachruddin building on building structure has not reached the IO (*Immediate Occupancy*) because the building is safe, not too much of victims and not experiencing collapse on the structural of building.

Keyword : level of performance, *pushover*, evaluation, analysis, displacement, drift ratio

1. Pendahuluan

Indonesia mengalami kondisi tektonik yaitu berupa pertemuan antara lempeng besar dan beberapa lempeng kecil atau *microblocks*

(Bird, 2003), hal ini mengakibatkan banyaknya terjadi potensi gempa bumi. Zona yang diidentifikasi dari suatu data geologi, geofisika, geodesi, dan beberapa aspek kegunaan yang

menimbulkan dampak potensi gempa diwaktu yang akan mendatang adalah pengertian dari sumber gempa. (Asrurifak, 2010). Terjadinya gempa bumi menurut Tjokrodimuljo (1993) adalah peristiwa vulkanik yang merupakan getaran tanah yang terjadi di sekitar gunung api yang meletus. Sedangkan peristiwa tektonik, merupakan gerakan lempeng atau kerak bumi yang terjadi didalam maupun di permukaan bumi.

Algermisen dkk., (1982) Adams dan Basham (1991) Kertapati dkk., (2006) menjelaskan bahwa zona sumber gempa atau *algerismic source zone* merupakan zona subdiksi (penunjaman/ sesar/ patahan) berupa informasi yang didapatkan dari data geofisika, geodesi, dan kegempaan. Menurut Rahman (2018) dan Titiksh (2017), titik lemah pada bangunan merupakan hal yang terjadi pada saat berubahnya titik kekakuan secara mendadak yang mempengaruhi pembebanan dan kekuatan bangunan, dimana akibat dari struktur dan beban yang tidak teratur secara vertikal tersebut membahayakan pada saat zona seismik. Iskandarsyah (2009) mendefinisikan bahwa gempa bumi adalah gelombang dari suatu tempat yang menyebar kesegala arah yang menyebabkan gerakan tanah secara tiba-tiba. Dalam hubungan suatu wilayah yang terkait mengenai gerakan muka bumi dan pengaruhnya pada gempa bumi terhadap wilayah yang bersangkutan. Gempa dengan jenis kerusakan yang paling luas ialah gempa tektonik yang sering terjadi di Indonesia (Dewi & Sudrajat, 2007). Setiap wilayah memiliki bentuk dan daerah yang berbeda. Struktur bangunan dapat terjadi kerusakan akibat efek dari gempa bumi. Menurut Setiawan (2017) tingkat kerusakan yang berbeda-beda pada bangunan berdasarkan kemiringan bangunan dan arah kemiringannya dikarenakan fungsi bangunannya, fondasi yang dipakai, berat strukturnya, dan kondisi pada tanah itu sendiri. Kerusakan yang terjadi mengakibatkan berkurangnya level kinerja struktur secara keseluruhan terhadap degradasi kekuatan yang mengancam bagi pengguna bangunan (Triwiyono, 2006). Menurut Faizah (2015), dengan menggunakan bahan struktur ringan akan mengurangi kerusakan bangunan atau mengalami frekuensi yang kecil pada saat gempa terjadi.

Seiring dengan berjalannya waktu, peraturan-peraturan mengalami perubahan dari peraturan sebelumnya untuk melengkapinya. Menurut Powell (2007), peraturan yang ada saat ini tidak jelas dalam memastikan level kinerja dari suatu bangunan yang didesain, dengan menggunakan analisis *performance based design*, level kinerja suatu bangunan dapat dinilai berdasarkan gempa yang direncanakan, sehingga pemilik bangunan dapat memilih level kinerja dari bangunannya, yang berdampak dengan biaya pembangunan dan biaya perbaikan.

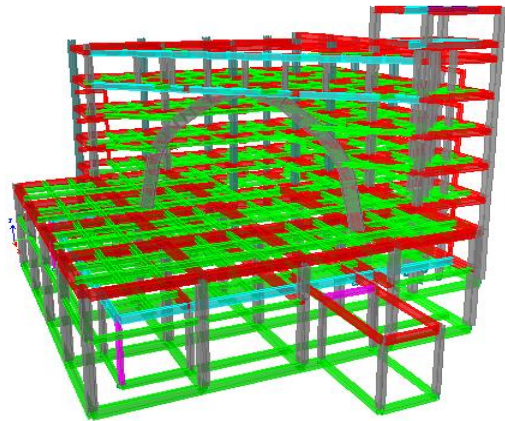
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi kinerja seismik dari struktur bangunan. Analisis yang digunakan menggunakan *pushover*. Menurut Pranata (2006), analisis *pushover* ialah analisis statik *non linear* dimana Gempa Rencana dipengaruhi oleh struktur bangunan gedung yang dikaitkan dengan massa statik dalam mencari suatu pusat massa pada tiap lantai, yang terjadi pelelehan sendi plastis pertama yang diakibatkan oleh peningkatan nilai secara berangsur-angsur yang melebihi pembebanan didalam bangunan berstruktur, dimana beban ditingkatkan dan akan terjadi perbedaan bentuk pasca-elastis yang lebih besar hingga kondisi plastis tercapai. Analisis *pushover* menurut Dewobroto (2006) dijadikan alat bantu yang digunakan dalam perencanaan tahan gempa dengan menyesuaikan keterbatasan yang ada, dimana perilaku gempa sebenarnya merupakan gempa yang memiliki karakteristik bolak-balik dengan melalui siklus tertentu. Analisis *pushover* yang dihasilkan masih berupa suatu pendekatan, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah statik monotonik. Beban lateral meningkat untuk mempertahankan pola distribusi yang telah ditentukan sebelumnya sepanjang ketinggian bangunan, sampai keadaan keruntuhan dihasilkan dalam analisis statis *non linear* (Stephen, 1988). Berdasarkan dengan yang dijelaskan Dewobroto (2005), simulasi kinerja terhadap berbagai kejadian gempa didahului dengan pembuatan model rencana struktur bangunan yang merupakan proses evaluasi tahan gempa berbasis kinerja. Informasi yang didapat dari setiap simulasi berupa tingkatan kerusakan, ketahanan struktur agar bisa digunakan untuk memperkirakan kecil besarnya kerugian harta benda (*economic*

loss), kesiapan pakai (*occupancy*) dan keselamatan (*life*) yang terjadi. Pengaruh gempa terhadap struktur bangunan gedung dapat diperoleh dari evaluasi kinerja. Perihal tersebut berguna sebagai evaluasi perilaku desain seismik pada gedung berstruktur pasca leleh (Pranata, 2006). Menurut Dewobroto (2006), keselamatan dan keamanan bangunan tidak tergantung pada tingkatan kekutan, namun tetapi juga pada tingkatan energi dan deformasi yang terukur.

2. Metode Penelitian

Penelitian dimulai dari menentukan permasalahan yang diteliti, kemudian dari permasalahan itu disajikan dengan pembahasan topik yang akan diteliti. Setelah menentukan topik, selanjutnya pengumpulan data sekunder berupa mutu beton bangunan yaitu f'_c 25 MPa dan gambar *soft drawing* serta literatur-literatur yang berkaitan pada penelitian. Kemudian menghitung pembebanan analisis beban gravitasi berupa beban mati (Landasan Pembebanan pada Perencanaan Rumah dan Gedung 1987), beban hidup (Peraturan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (BSN, 2013)), dan beban atap dimodelkan secara terpisah untuk diambil reaksi bebannya yang nantinya didistribusikan pada model portal. Setelah semua beban di analisis, selanjutnya menentukan standar rencana tahan gempa menggunakan perhitungan beban gempa pada gedung tinjauan yaitu gedung AR Fachruddin B Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang terletak di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta, dimana fungsi bangunan adalah gedung perkantoran dan perkuliahan. Parameter-parameter yang didapatkan pada Peta Gempa 2017 yaitu nilai S_S dan S_1 , untuk peraturan BSN (2012) didapatkan parameter F_a dan F_v , maka pada kedua peraturan tersebut nantinya akan dapat diketahui grafik respons spektrumnya, yang kemudian dibuat pemodelan serta dianalisis menggunakan BSN (2012) dengan program numerik yaitu ETABS v.2016. Hasil *output* dari analisis tersebut menggunakan analisis *Pushover* (ATC, 1996; BSN, 2012; FEMA, 2000) untuk dapat mengetahui kelayakan Gedung AR Fachruddin berdasar BSN (2012).

Modulus elastisitas beton (E_c) sebesar 23500 MPa. Untuk diameter baja dengan tulangan kurang dari 13 ($\varnothing < 13$ mm) digunakan mutu baja 240 MPa, sedangkan tulangan ≥ 13 menggunakan mutu baja 390 MPa.



Gambar 1. Pemodelan struktur bangunan

Terdapat 7 tipe balok yang digunakan, yaitu tipe dengan dimensi 300 x 400 mm (tipe B1), 250 x 400 mm (tipe B1A, B3, B5), 300 x 600 mm (tipe B2), 200 x 600 mm (tipe B4), serta 600 x 600 mm (tipe G). Sedangkan terdapat 10 tipe kolom yang digunakan, yaitu tipe dengan dimensi 600 x 600 mm (tipe K1A, K1B, K1C, K2, K3), 300 x 600 mm (tipe K4, K5, K7), 250 x 600 mm (tipe K6), serta 400 x 400 mm (tipe K8).

3. Level Kinerja Bangunan

Kombinasi antara level kinerja struktur dan non struktur merupakan kinerja dinamika struktur bangunan, dimana level kinerja struktur bangunan didasari oleh kejadian kejadian gempa rencana (*hazard*) dan kerusakan yang diijinkan dari struktur bangunan terhadap kejadian gempa. Hubungan antara level kinerja struktur dan non struktur dinotasikan dengan angka, sedangkan tingkatan kinerja bernonstruktur dilambangkan dengan huruf. Enam level kinerja diuraikan berdasarkan pada Gambar 2. *Performance Level* (FEMA 2000), dengan penjelasan sebagai berikut :

1.SP-1 Immediate Occupancy (IO)

Bangunan aman saat terjadi gempa, dan tidak terlalu memakan korban jiwa serta kerusakan pada struktur bangunan, sehingga bangunan tidak akan lama dapat digunakan kembali.

2. SP-2 Damage Control (DO)

Merupakan transisi antara *Immediate Occupancy (IO) SP-1* dan *Life Safety (LS) SP-3*. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

3. SP-3 Life Safety (LS)

Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (resiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non-struktural.

4. SP-4 Limited Safety

Merupakan transisi antara SP-3 dan SP-4 dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.

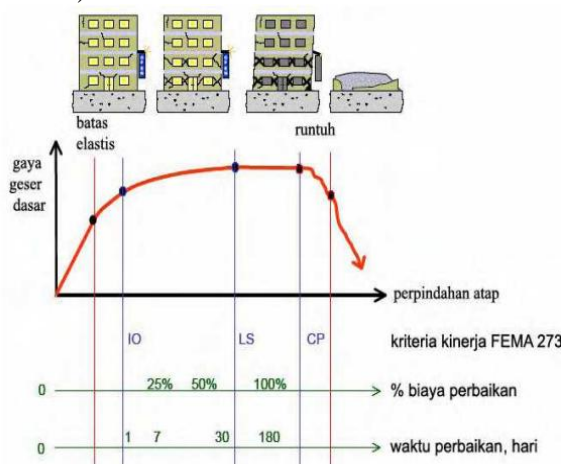
5. SP-5 Structural Stability (SS)

Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun persial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kesetabilan sudah diambang keseluruhan.

6. SP-6 Not Considered

Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi seismik non-struktural atau *retrofit*.

Tabel 1 dan Tabel 2 yang dijelaskan pada Gambar 2 mengenai hubungan antara level kinerja struktur dengan simpangan (*drift*) pada elemen vertikal dari sistem beban lateral yang berupa struktur beton bertulang (*concrete frames*).



Gambar 2. Performance Level (FEMA, 2000)

Berbagai level kinerja struktur yang sesuai dengan respon keseluruhan merupakan penjelasan dari nilai simpangan pada Tabel yang berdasarkan nilai-nilai yang diberikan.

Batasan deformasi yang dilihat pada Tabel 2. ATC (1996) difungsikan untuk berbagai level kinerja pada stuktur bangunan, dimana simpangan total maksimumnya diartikan juga simpangan antar tingkat pada perpindahan titik kinerja.

Tabel 1. Batasan Simpangan untuk Level Kinerja Struktur (FEMA, 2000)

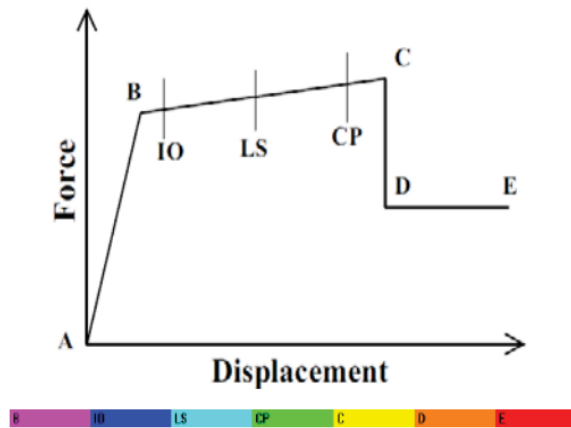
Level Kinerja Struktur	Drift (%)	Keterangan
<i>Immediate Occupancy</i>	1,0	<i>Transient</i>
<i>Live Safety</i>	2,0	<i>Transient</i>
<i>Collapse Prevention</i>	1,0	<i>Permanent</i>
	4,0	<i>Transient atau permanent</i>

Tabel 2. Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC, 1996)

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 Maksimum	0.01	0.01 – 0.02	0.02	$0.33V_i/P_i$
Simpangan Inelastis Maksimum	0.005	0.005-0.015	Tidak ada Batasan	Tidak ada Batasan

Level kinerja struktur secara kuantitatif dijelaskan pada Gambar 2. Titik kontrol (titik berat distribusi gaya lateral) yang terdapat pada kurva hubungan antar gaya geser dasar dengan perpindahan merupakan perwakilan dari level kinerja struktur. Selain itu, ditunjukkan perilaku keruntuhan struktur bangunan secara menyeluruh terhadap pembebanan lateral. Hasil dari yang didapatkan berupa kurva analisis statik *non linear/ pushover*. Menurut Pranata (2006), analisis *pushover* ialah analisis statik *non linear* dimana Gempa Rencana dipengaruhi oleh struktur bangunan gedung yang dikaitkan dengan massa statik dalam mencari suatu pusat massa pada tiap lantai, yang terjadi pelelehan sendi plastis pertama yang diakibatkan oleh peningkatan nilai secara berangsur-angsur yang melebihi pembebanan

didalam bangunan berstruktur, dimana beban ditingkatkan dan akan terjadi perbedaan bentuk pasca-elastis yang lebih besar hingga kondisi plastis tercapai. Standart FEMA (2000) mendefinisikan kriteria batas deformasi dan prosedur analisis *pushover*, kriteria tersebut menjelaskan deformasi mengenai gaya sendi (*plastic hinges*) yang diterapkan pada analisis *pushover* yang dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan perpindahan (*Displacement*) dan terhadap gaya (*Force*) serta karakteristik sendi plastis (FEMA, 2000)

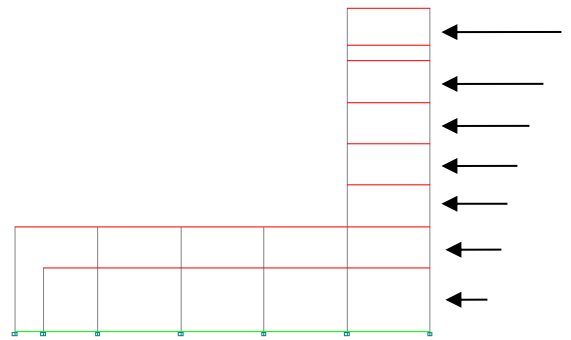
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis *Linear* dan *Non Linear*

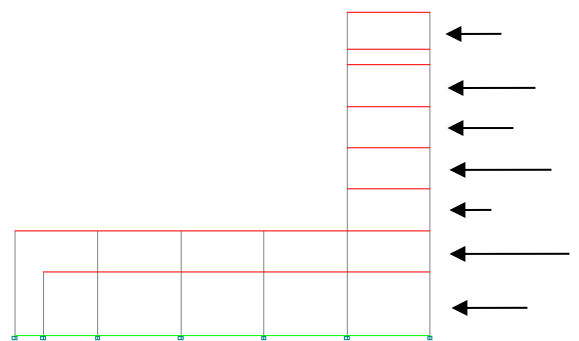
Analisis *Linear* merupakan total analisis keseluruhan yang diwujudkan dalam bentuk beban merata, dimana dalam menganalisisnya menggunakan satu arah saja. Kemudian guna menemukan kondisi kritis strukturnya yaitu dari pemodifikasian kenaikan (*increment*) beban lateralnya. Beban lateral pada analisis ini beraturan, hal tersebut diakibatkan dari data masukkan yang termodifikasi. Analisis *linear* dilihat dari perilaku gedungnya hingga mencapai batas limit. Berdasarkan pembebanannya analisis ini tegak lurus terhadap bangunan.

Sedangkan Analisis *Non Linear*, besar beban (*force*) berdasarkan fungsi tiap lantainya berbeda-beda. Dalam penganalisaanya juga lebih mendetail daripada analisis *linear*. Kenaikan beban lateralnya (*increment lateral force*) terkonsistensi, akibat dari beban sendiri tiap lantai. Beban lateral itu sendiri tidak beraturan dilihat dari kondisi aktualnya. Berdasarkan pembebanannya disesuaikan dengan keadaan aslinya, contohnya beban

dengan arah lurus/ vertikal tetapi kondisi gedung tersebut miring.



Gambar 4. Analisis linear beban lateral beraturan



Gambar 5. Analisis linear beban lateral tidak beraturan

3.2 Plastifikasi

Berdasarkan titik kinerja (*performance point*), hasil analisis *pushover* dari ETABS dapat dijelaskan bahwa titik kinerja tersebut akan mencapai titik kinerja pada langkah tertentu, sehingga dapat mengetahui jumlah elemen struktur bangunan yang mengalami kerusakan. Plastifikasi untuk pembebanan *pushover* arah x, arah y dan arah diagonal (Sudut datang gempa) pada pemodelan dilihat pada Tabel 3-5 dapat ditunjukkan bahwa analisis *pushover* untuk arah X terhenti pada step ke-6, sehingga kontrol perpindahan sebesar 0,07208 m sudah pada kondisi maksimum dan terdistribusi sendi plastis. Pada analisis *pushover* arah X menghasilkan titik kinerja struktur mencapai step ke-5 yang terdiri dari 17 elemen yang sudah melewati batas *Immediate Occupancy* (IO). Sedangkan untuk arah Y berhenti pada step ke-7, sehingga kontrol perpindahan sebesar 0,06901 m sudah pada kondisi maksimum dan terdistribusi sendi

plastis. Pada analisis *pushover* arah Y menghasilkan titik kinerja struktur mencapai step ke-3 yang terdiri dari 5 elemen yang sudah melewati batas *Immediate Occupancy* (IO). Serta untuk arah diagonal terhenti pada step ke-5, sehingga kontrol perpindahan sebesar 0,03882 m sudah pada kondisi maksimum dan terdistribusi sendi plastis. Pada analisis *pushover* arah diagonal menghasilkan titik

kinerja struktur mencapai step ke-3 yang terdiri dari 19 elemen yang sudah melewati batas *Immediate Occupancy* (IO). Pada kondisi-kondisi yang sudah jelaskan, dapat dikarenakan adanya ketidak-stabilan sendi plastis yang terbentuk. Hal ini berarti setiap kenaikan beban dorong akan meningkat secara bertahap hingga mengalami keruntuhan.

Tabel 3. Plastifikasi pada pembebanan arah-x

<i>Pushover Curve-Arah X</i>												
Step	Monitored Displ (m)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	2749	9	0	0	0	2758	0	0	0	2758
1	0,02124	3340,4422	2747	11	0	0	0	2758	0	0	0	2758
2	0,04577	6587,5661	2643	115	0	0	0	2757	0	0	1	2758
3	0,04834	6793,1346	2629	129	0	0	0	2757	0	0	1	2758
4	0,04842	6729,2891	2627	129	0	0	0	2755	0	0	3	2758
5	0,06844	7915,2772	2536	220	0	0	2	2738	17	0	3	2758
6	0,07208	8078,972	2523	233	0	0	2	2731	24	0	3	2758

Tabel 4. Plastifikasi pada pembebanan arah-y

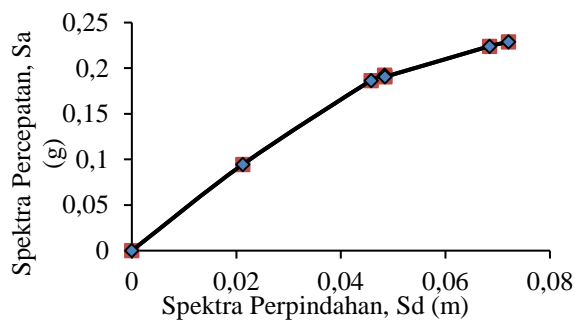
<i>Pushover Curve-Arah Y</i>												
Step	Monitored Displ (m)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	2749	9	0	0	0	2758	0	0	0	2758
1	0,00786	1544,3742	2749	9	0	0	0	2758	0	0	0	2758
2	0,03619	6752,1452	2663	95	0	0	0	2758	0	0	0	2758
3	0,05088	7979,5042	2549	209	0	0	0	2749	5	0	4	2758
4	0,06780	8749,0002	2475	282	1	0	0	2716	31	4	7	2758
5	0,06782	8586,5453	2471	286	0	0	1	2712	31	7	8	2758
6	0,06947	8671,6097	2463	292	2	0	1	2706	36	6	10	2758
7	0,06901	8568,7358	2462	293	2	0	1	2706	36	6	10	2758

Tabel 5. Plastifikasi pada pembebanan arah diagonal

<i>Pushover Curve-Arah Diagonal</i>												
Step	Monitored Displ (m)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	2749	9	0	0	0	2758	0	0	0	2758
1	0,01650	4009,3746	2747	11	0	0	0	2758	0	0	0	2758
2	0,02927	6535,025	2695	63	0	0	0	2758	0	0	0	2758
3	0,04661	8162,9046	2580	178	0	0	0	2732	19	2	5	2758
4	0,04672	81679,725	2579	178	1	0	0	2732	19	2	5	2758
5	0,03882	6186,4093	2578	179	0	1	0	2732	19	2	5	2758

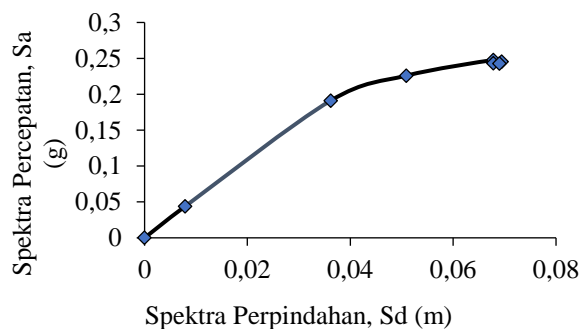
3.3 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (*capacity-curve*) 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. Hasil analisis *pushover* yang didapatkan yaitu berupa kurva kapasitas (*capacity curve*) yang diartikan sebagai hubungan antar perpindahan (*displacement*) titik acuan pada atap (D) dengan gaya geser dasar (V). Pada proses merubah kurva kapasitas ke format ADRS menghitung nilai faktor partisipasi massa, *PFI*, modal koefisien massa, dan α_1 . Kemudian setiap *point* pada kurva kapasitas, V dan Δ_{roof} dikonversi ke *point* S_a dan S_d , maka akan didapatkan sektrum kapasitas.



Gambar 6. Kurva kapasitas ADRS (S_a vs S_d) atau Kurva kapasitas arah x

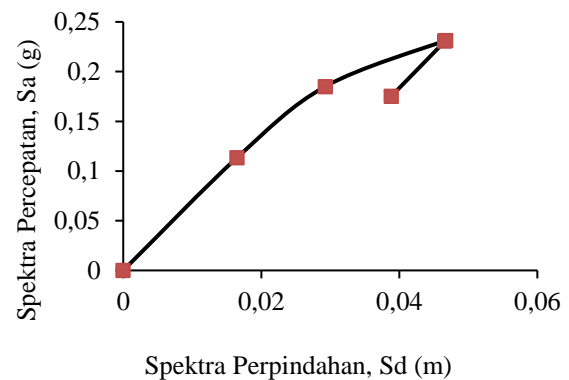
Gambar 6 menunjukkan pembebanan untuk arah-x dengan BSN (2012), yaitu perpindahan titik kontrol sebesar 0,07208 m dan gaya geser dasar 8078,972 kN.



Gambar 7. Kurva kapasitas ADRS (S_a vs S_d) atau Kurva kapasitas arah y

Gambar 7 untuk pembebanan arah-y dengan SNI 1726:2012, yaitu perpindahan titik kontrol

sebesar 0,06901 m dan gaya geser dasar 8568,7358 kN.



Gambar 8. Kurva kapasitas ADRS (S_a vs S_d) atau Kurva kapasitas arah diagonal

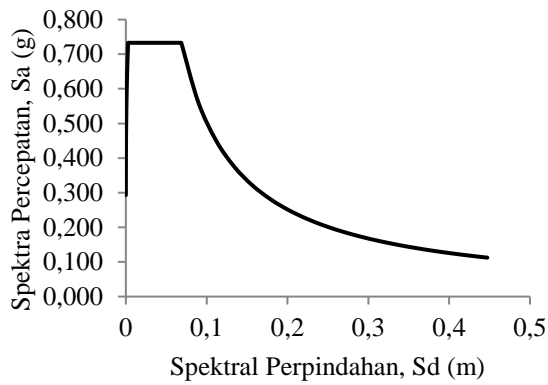
Pada Gambar 8 pembebanan arah-diagonal dengan SNI 1726:2012, yaitu perpindahan titik kontrol sebesar 0,03882 m dan gaya geser dasar 6186,4093 kN.

3.4 Kurva Demand

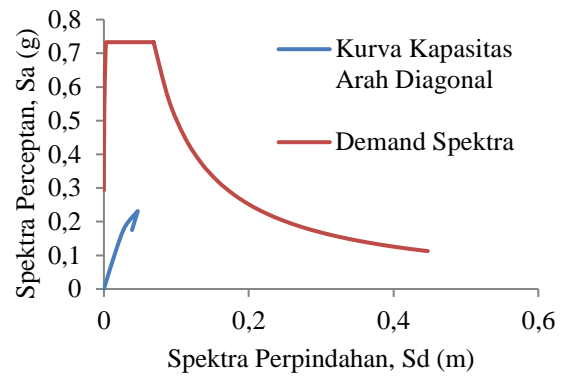
Pada *Demand* spektrum didapatkan dengan merubah respon spektrum yang dinyatakan dalam (spektra percepatan) " S_a " dan (Periode) " T " menjadi format ADRS (S_a , S_d). Untuk mengubah spektra percepatan ke spektra perpindahan menggunakan rumus $S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \cdot (g)$.

Tabel 6. Perhitungan S_d

T	S_a	S_d
0	0,293	0
0,02	0,365	3,63E-05
0,04	0,436	0,000173
0,06	0,508	0,000454
0,08	0,579	0,000921
0,1	0,651	0,001617
0,123	0,733	0,002756
0,123	0,733	0,002756
0,2	0,733	0,007286
0,3	0,733	0,016393
0,4	0,733	0,029143
0,5	0,733	0,045536
0,614	0,733	0,068667
0,614	0,733	0,068658
0,8	0,563	0,089456
1	0,450	0,111821



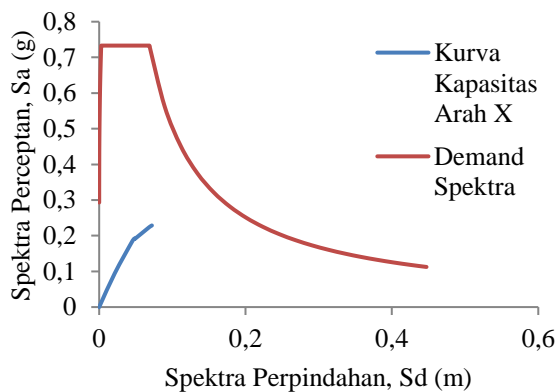
Gambar 9. Kurva respon spektrum ADRS (S_a vs S_d)



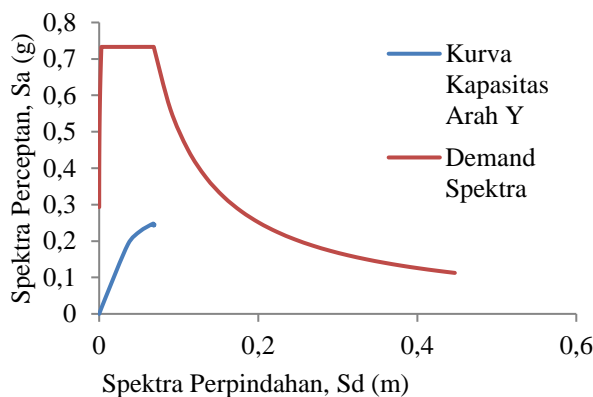
Gambar 12. Titik kinerja struktur sesuai ATC (1996) arah diagonal

3.5 Kurva ADRS Demand vs Kapasitas

Grafik spektrum kapasitas dan spektrum *demand* disajikan dalam satu grafik ADRS. Dalam grafik format ADRS akan ada titik perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum *demand* yang disebut sebagai *performance point* atau sebagai titik kinerja.



Gambar 10. Titik kinerja struktur sesuai ATC (1996) arah x



Gambar 11. Titik kinerja struktur sesuai ATC (1996) arah y

Grafik hubungan antara kurva kapasitas dan kurva *demand* ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10 yang menunjukkan kurva kapasitas tidak menyentuh kurva *demand* yang berarti *performance point* atau sebagai titik kinerja tidak terbentuk, artinya kurva kapasitas tidak memenuhi atau lebih kecil dari kurva *demand* yang dibutuhkan. Gempa dari sudut manapun atau arah x, y dan diagonal kapasitasnya tidak cukup menahan gaya beban gempa yang disyaratkan dari BSN (2012).

3.6 Metode Spektrum Kapasitas ATC (1996) & Metode Koefisien Perpindahan FEMA (2000)

Performance Point adalah perpotongan antar kurva kapasitas dengan respon spektrum (*demand*) dari format ADRS yang telah sudah disesuaikan nilai redamannya. Pada nilai *displacement capacity* didapatkan berdasarkan nilai simpangan yang tertinggi dari kurva kapasitas pada hasil analisis *pushover*. Hasil analisis *pushover* arah x, arah y dan arah diagonal dari program ETABS menggunakan metode ATC (1996) & FEMA (2000). Arah x, y dan diagonal menggunakan gedung tinjauan dengan ketinggian struktur bangunan (H) 22,48 m. Pada masing-masing *Monitored Displacement* (D_t) untuk arah x sebesar 0,072, arah y sebesar 0,069 dan arah diagonal sebesar 0,032. Untuk *drift ratio* setiap arah yaitu arah x sebesar 0,32 %, arah y sebesar 0,30 % dan arah diagonal sebesar 0,16 %. Menurut FEMA (2000) Tabel 3 dan ATC (1996) Tabel 4 dan nilai *drift ratio* tercapai, jika dilihat dari *monitored displacement* (*drift ratio*) dapat dilihat nilai arah x, y dan diagonal sebesar 0,32

%, 0,30 % dan 0,16 % kurang dari 0,50 %. Nilai *drift ratio* level kinerja struktur bangunan termasuk kategori IO (*Immediate Occupancy*) karena bangunan aman, dan tidak terlalu memakan korban jiwa serta kerusakan pada struktur bangunan.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang sudah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan bahwa nilai simpangan (*displacement*) berdasarkan BSN (2012), yaitu arah x sebesar 0,072 m, arah y sebesar 0,069 m dan arah-diagonal sebesar 0,038 m. Untuk nilai (*drift ratio*) dapat dilihat nilai arah x sebesar 0,32 %, y sebesar 0,30 % dan diagonal sebesar 0,16 %, menurut ATC (1996) dan FEMA (2000) nilai *drift ratio* tercapai. Dari hasil tersebut berarti struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun persial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kesetabilan sudah diambang keseluruhan. Level kinerja gedung AR Fachruddin pada struktur bangunan termasuk kategori IO (*Immediate Occupancy*) karena bangunan aman, dan tidak terlalu memakan korban jiwa serta kerusakan pada struktur bangunan.

Daftar Pustaka

- Adams, J., & Basham, P. (1991). *The Seismicity and Seismotectonics of Eastern Canada. Neotectonics of Nort America*, 1, 261-276.
- Algermissen, S. T., et. al. (1982). *Probabilistic Estimates of Maximum Acceleration and Velocity in Rock in the Contiguous United States. US Geological Survey Open-File Report*, 82 (1033), 99.
- Asrurifak, M. (2010). *Peta Gempa Respon Spektra Indonesia Untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi Dalam Analisis Probabilitas*. Disertasi, Institut Teknologi Bandung.
- Bird, P. (2003). *An Updated Digital Model of Plate Boundaries. Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(3).
- Dewi, R. Y., & Sudrajat A. V. (2007). *Analisis Kinerja Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Balok Kolom dan Flat Slab Terhadap Beban Gempa Kuat*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Civil Engineering National Conference: Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism*. Unika Soegijapranata: Semarang.
- Dewobroto, W. (2006). *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 7-24.
- Faizah, R. (2015). *Pengaruh Frekuensi Gempa terhadap Respon Bangunan Bertingkat*. Seminar Nasional Teknik Sipil V, Universitas Muhammadiyah Solo, S-59.
- Iskandasyah, H. (2009). *Analisis Respon Spektrum Pada Bangunan Yang Menggunakan Yielding Damper Akibat Gaya Gempa*. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Kertapati, E. (2006). *Aktivitas Gempa Bumi di Indonesia Perspektif Regional Pada Karakteristik Gempa Bumi Merusak*. Pusat Survei Geologi: Bandung, 109.
- Powell, G. H. (2007). *Performance Based Design Non Linier Analysis Perform 3D. Presentation CSI, University of California Berkeley*.
- 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*, 3(1), 41-52.
- Rahman, S. A., & Salik, A. U. 2018. Seismic response of vertically irregular rc frame with mass irregularity. *International Journal of Recent Scientific Research*, 9 (2). 24317-24321.
- Setiawan, H., dkk. (2017). *Structural Damage to Houses and Buildings Induced by Liquefaction in the 2016 Kumamoto Earthquake. Geoenvironmental Disasters*, 4(1), 13: Japan.
- Stephen Pyle, S.E, & Asraf Habibullah, S.E. (1988). *Pratical Three Dimensional*

Nonlinear Static Pushover Analysis.
Structure Magazine.

Titiksh, A. (2017). EFFECTS OF IRREGULARITIES ON THE SEISMIC RESPONSE OF A MEDIUM RISE STRUCTURE. *ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BHRC)*, 18(8), 1307-1314.

Tjokrodinuljo, K. (1993). *Teknik Gempa*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.

Triwiyono, A. (2006). *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton Pasca Gempa dengan FRP*. Makalah Seminar Perkembangan Standard dan Methodologi Konstruksi Tahan Gempa, Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia: Medan. (Vol. 18, No.1, pp.725-738).