

PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT ANTARA SISTEM GANDA DENGAN DINDING GESER DAN SISTEM GANDA DENGAN BRESING (STUDI KASUS : BANGUNAN APARTEMEN DI YOGYAKARTA)

Faishal Shiddiq Prasetyo¹⁾, Edy Purwanto²⁾, Agus Supriyadi³⁾

¹⁾Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

²⁾ ³⁾Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir.Sutami No.36A Surakarta 57126.Telp. 0271647069. Email : PrasetyoShiddiq94@gmail.com

Abstract

The earthquake is one of the several force that is be calculated in designing a multi-story building. Multi-Story building structure system that usually use to resistance the horizontal force from earthquake is dual system with shear wall, however dual system with bracing is one of the solution to resistance horizontal force from earthquake .Therefore, it takes knowledge of which system is more effective between dual system with shear walls and dual system with bracing. This study aimed to compare the performance of Multi-Story Building Structure between Dual System with Shear Wall and Dual System with Bracing when receiving seismic horizontal force. The performance of building had by analyzing the spectral curve of capacity gained from static analysis nonlinear pushover with SAP2000 program. In this study the multi-story building that have dual system with shear wall represented by the existing apartment buildings in Yogyakarta. Multi-Story building that have dual system with Bracing made by replacing the shear wall elements in existing buildings with 2 alternate Braced. Alternative Building A-1 have a dual system with diagonal Braced. Alternative Building A-2 have a dual system with an X Braced. The conclusion from this study showed that the seismic base shear force on alternative building A-1 is 1.9% bigger than the seismic shear force base in existing buildings. The basic seismic shear force on alternative building A-2 is 4.41% smaller than the seismic shear force base in existing buildings. With reference to SNI 1726:2012, the interstory displacement of both building, existing buildings and alternative building, is adequate. With reference to ATC-40, based on Total drift, the performance level of both building, existing buildings and alternative building, shows Immediate Occupancy performance level.

Keywords: *ATC-40, Braced Frames, Level Performance , Pushover analysis, Shear walls*

Abstrak

Gempa bumi merupakan salah satu gaya yang diperhitungkan dalam merancang suatu gedung bertingkat. Sistem struktur gedung bertingkat yang biasa digunakan untuk menahan gaya horizontal dari gempa bumi yaitu sistem ganda dengan dinding geser, tetapi sistem ganda dengan bresing juga merupakan salah satu solusi untuk menahan gaya gempa horizontal. Dibutuhkan pengetahuan sistem mana yang lebih efektif antara sistem ganda dengan dinding geser dan sistem ganda dengan bresing dalam menahan gaya horizontal dari gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja gedung bertingkat yang memiliki sistem ganda dengan dinding geser dan sistem ganda dengan bresing ketika menerima gaya horizontal gempa. Kinerja gedung diperoleh dengan menganalisis kurva spektra kapasitas yang didapat dari analisis statik nonlinier pushover dengan program SAP2000. Pada penelitian ini, gedung bertingkat yang memiliki sistem ganda dengan dinding geser diwakili oleh gedung *existing* apartemen di Yogyakarta. Gedung bertingkat yang memiliki sistem struktur ganda dengan bresing dibuat dengan menggantikan elemen dinding geser pada gedung existing dengan 2 alternatif bresing. Gedung Alternatif A-1 memiliki sistem struktur ganda dengan bresing diagonal. Gedung Alternatif A-2 memiliki sistem struktur ganda dengan bresing X. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa gaya geser dasar seismik pada gedung Alternatif A-1 lebih besar 1.9 % daripada gaya geser dasar seismik pada gedung existing. Gaya geser dasar seismik pada gedung Alternatif A-2 lebih kecil 4.41 % daripada gaya geser dasar seismik pada gedung existing. Dengan acuan dari SNI 1726:2012, nilai simpangan antar lantai baik gedung existing maupun gedung Alternatif memiliki nilai simpangan antar lantai yang memenuhi batas syarat simpangan. Dengan acuan dari ATC-40, berdasarkan nilai Total Drift, maka nilai level kinerja gedung existing maupun gedung Alternatif termasuk dalam Immediate Occupancy

Kata Kunci : ATC-40, Bresing, Dinding Geser, Level Kinerja, Pushover

PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia berada pada wilayah pertemuan tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya. Keberadaan pertemuan antar lempeng ini menyebabkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi tektonik. BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) mencatat

terdapat beberapa gempa besar dalam sepuluh tahun terakhir di Indonesia, yaitu Gempa dan Tsunami Aceh (9,2 SR) tahun 2004, Gempa Nias (8,6 SR) tahun 2005, Gempa Yogyakarta (6,3 SR) tahun 2006, Gempa Padang (7,6 SR), Gempa Jambi (6,6 SR) dan Gempa Tasik (7,4 SR) tahun 2009, Gempa Mentawai (7,2 SR) tahun 2010, dan terakhir Gempa Simeuleu (8,5 SR) tahun 2012. Gempa-gempa tersebut telah menyebabkan banyak kerusakan infrastruktur dan banyak korban jiwa meninggal, serta dana untuk rehabilitasi dan rekonstruksi yang tidak sedikit. Oleh karena itu, gedung – gedung tinggi di Indonesia haruslah memiliki sistem struktur yang mampu menahan bencana alam gempa bumi tersebut. Elemen struktur yang biasa digunakan pada gedung – gedung tinggi untuk menahan gaya horizontal dari gempa bumi yaitu dinding geser (*Shear Wall*) dan bresing (*Bracing*). Dalam penelitian tugas akhir ini peneliti ingin membandingkan kinerja (*Performance Point*) struktur antara gedung bertingkat yang memiliki sistem ganda dengan dinding geser (*Shear Wall*) dan gedung bertingkat yang memiliki sistem ganda dengan bresing (*Bracing*) ketika menerima gaya gempa.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis dinamik *pushover* dengan menggunakan software SAP2000. Langkah-langkah dalam metode analisis ini yaitu pengumpulan data dan studi literatur. Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini adalah *shop drawing* bangunan dan data tanah untuk perancangan apartemen di Yogyakarta. *Shop drawing* dipergunakan untuk pemodelan struktur 3D di dalam program SAP2000. Pada penelitian ini, gedung bertingkat yang memiliki sistem ganda dengan dinding geser diwakili oleh gedung existing apartemen di Yogyakarta. Gedung bertingkat yang memiliki sistem struktur ganda dengan bresing dibuat dengan menggantikan elemen dinding geser pada gedung existing dengan 2 alternatif bresing. Gedung Alternatif A-1 memiliki sistem struktur ganda dengan bresing diagonal. Gedung Alternatif A-2 memiliki sistem struktur ganda dengan bresing X. Menghitung dan menginput beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Melakukan *preliminary design* bresing yang digunakan pada gedung alternatif. Biaya yang digunakan pada elemen struktur alternatif (bracing) harus setara dengan biaya yang digunakan pada elemen struktur *existing* (Shear Wall). Menghitung dan menggambar respon spektrum bangunan dari peraturan SNI 03-1726-2012. Melakukan analisis untuk mendapatkan nilai displacement, drift dan base shear. Pada tahap terakhir peneliti melakukan perbandingan gaya geser dasar dan level kinerja antara gedung bertingkat yang memiliki sistem ganda dengan dinding geser dan gedung bertingkat yang memiliki sistem ganda dengan bresing.

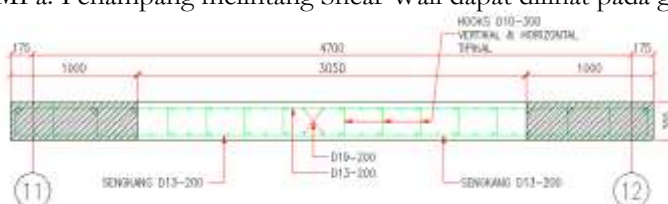
Tabel 1. Deskripsi Gedung

Deskripsi Gedung	Keterangan
Sistem Struktur (Existing)	Dual System SRPMK Shear Wall beton bertulang
Sistem Struktur (Alternatif)	Dual System SRPMK Braced Frame
Fungsi gedung	Apartemen
Jumlah Lantai	12
Luas lantai 1	3.271,90 m ²
Luas lantai tipikal (lantai 2-11)	1809,58 m ²
Tinggi lantai tipikal	3,0 m
Tinggi maksimum gedung	34,0 m

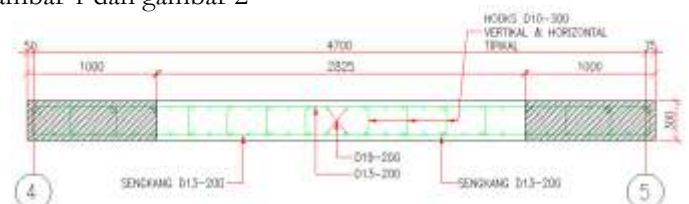
HASIL DAN PEMBAHASAN

Biaya *Shear Wall*

Shear Wall memiliki panjang bersih 3050 mm (*Shear Wall* 1) dan 2825 mm (*Shear Wall* 2) dengan tebal 300 mm. Tinggi 3750 mm untuk Lantai 1 dan 2500 mm untuk Lantai 2 sampai Atap. Mutu Beton (f_c) yang digunakan 30 MPa. Penampang melintang *Shear Wall* dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2



Gambar 1 Penampang melintang *Shear Wall*



Gambar 2 Penampang melintang *Shear Wall* 2

Tabel 2. Harga Satuan Pekerjaan *Shear Wall*

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOL	SAT	Harga Satuan (Rp.)	Harga (Rp.)
1	Membuat 1m ³ beton mutu f'c = 31,2 MPa (K350)	50.67	m ³	1,006,362.94	50,994,297.29
2	Pembesian 10 kg dengan besi polos atau besi ulir	577.48	kg	115,868.00	66,911,666.56
3	Pemasangan Bekisting untuk dinding	337.81	m ²	372,946.00	125,985,820.63
4	Alat Berat Tower Crane	15	bulan	46,500,000.00	697,500,000
Harga Shear Wall					941,391,784.47

Biaya Bracing

Data Bracing gedung A-1 disajikan dalam Tabel 3 berikut

Tabel 3. Data Profil *Bracing* Gedung A-1

No	Lantai	Profil <i>Bracing</i>	Luas Penampang (m ²)	Panjang <i>Bracing</i> (m)	Berat <i>Bracing</i> (kg)
1	Dasar-5	IWF 350.350.12.19	0.017044	32.6768	4372.0047
2	5-9	IWF 300.300.10.15	0.0117	30.8641	2834.7099
2	5-Atap	IWF 250.250.14.9	0.008998	23.1481	1635.0461
Berat <i>Bracing</i>					8841.7608

Tabel 4. Harga Satuan Pekerjaan *Bracing* Gedung A-1

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOL	SAT	Harga Satuan (Rp.)	Harga (Rp.)
1	Pengerjaan 100 kg pekerjaan perakitan Besi struktur	88.4176	kg	70,488.00	6,232,380.32
2	Pemasangan 1 kg Besi	8841.761	kg	24,669.00	218,117,396.13
3	Alat Berat Tower Crane	15	bulan	46,500,000	697,500,000
Harga <i>Bracing</i>					921,849,776.45
Selisih Harga dengan <i>Shear Wall</i>					19,542,008.02
Persen Selisih					2.08 %

Data Bracing gedung A-2 disajikan dalam Tabel 5 berikut

Tabel 5. Data Profil *Bracing* Gedung A-2

No	Lantai	Profil <i>Bracing</i>	Luas Penampang (m ²)	Panjang <i>Bracing</i> (m)	Berat <i>Bracing</i> (kg)
1	Dasar-4	IWF 250.250.14.9	0.008998	49.9215	3458.1742
2	4-8	IWF 200.200.12.8	0.006208	61.7281	3008.1844
2	8-Atap	IWF 175.175.11.7,5	0.0049975	61.7281	2421.6176
Berat <i>Bracing</i>					8955.9762

Tabel 6. Harga Satuan Pekerjaan *Bracing* Gedung A-2

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOL	SAT	Harga Satuan (Rp.)	Harga (Rp.)
1	Pengerjaan 100 kg pekerjaan perakitan Besi struktur	89.5598	kg	70,488.00	6,312,888.50
2	Pemasangan 1 kg Besi	8955.976	kg	24,669.00	220,934,976.84
3	Alat Berat Tower Crane	15	bulan	46,500,000.00	697,500,000
Harga <i>Bracing</i>					924,747,865.34
Selisih Harga dengan <i>Shear Wall</i>					16,750,495.25

Gaya Lateral Ekuivalen

Pembebanan gempa pada gedung dihitung dengan menggunakan SNI 03-1726-2012. Gedung termasuk dalam wilayah gempa yogyakarta dengan tanah sedang. Distribusi beban gempa tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9

Tabel 7. Distribusi Beban Lateral arah X dan arah Y tiap Lantai pada Gedung *existing*

No	Lantai	Fx (kg)	Fy (kg)	Fx 30% (kg)	Fy 40% (kg)	Fy 60% (kg)
1	Dasar	0	0	0	0	0
2	2	12234.4699	17169.9914	3670.3410	6867.9966	10301.9949
3	3	26943.7321	31995.6884	8083.1196	12798.2753	19197.4130
4	4	46492.1877	49633.2459	13947.6563	19853.2984	29779.9476
5	5	69447.4186	68554.2952	20834.2256	27421.7181	41132.5771
6	6	95407.1844	88519.7751	28622.1553	35407.9100	53111.8650
7	7	122391.1098	107877.1893	36717.3330	43150.8757	64726.3136
8	8	151030.5645	127420.1858	45309.1694	50968.0743	76452.1115
9	9	181405.8111	147316.5928	54421.7433	58926.6371	88389.9557
10	10	213077.0179	167280.2307	63923.1054	66912.0923	100368.1384
11	11	248969.4280	189608.7804	74690.8284	75843.5122	113765.2683
12	Atap	232193.2955	172022.9490	69657.9886	68809.1796	103213.7694

Tabel 8. Distribusi Beban Lateral arah X dan arah Y tiap Lantai pada Gedung Alternatif A-1

No	Lantai	Fx (kg)	Fy (kg)	Fx 30% (kg)	Fy 40% (kg)	Fy 60% (kg)
1	Dasar	0	0	0	0	0
2	2	12124.3405	17007.3160	3637.3022	6802.9264	10204.3896
3	3	26721.4960	31716.6427	8016.4488	12686.6571	19029.9856
4	4	46108.7130	49200.3770	13832.6139	19680.1508	29520.2262
5	5	68869.8603	67951.7271	20660.9581	27180.6908	40771.0363
6	6	94607.2130	87735.6719	28382.1639	35094.2688	52641.4031
7	7	121351.0696	106909.4495	36405.3209	42763.7798	64145.6697
8	8	149729.6298	126262.3517	44918.8889	50504.9407	75757.4110
9	9	179817.9808	145957.4685	53945.3942	58382.9874	87574.4811
10	10	211181.5704	165713.0683	63354.4711	66285.2273	99427.8410
11	11	246754.6960	187832.4333	74026.4088	75132.9733	112699.4600
12	Atap	230895.7959	170980.0633	69268.7388	68392.0253	102588.0380

Tabel 8. Distribusi Beban Lateral arah X dan arah Y tiap Lantai pada Gedung Alternatif A-2

No	Lantai	Fx (kg)	Fy (kg)	Fx 30% (kg)	Fy 40% (kg)	Fy 60% (kg)
1	Dasar	0	0	0	0	0.0000
2	2	12124.6365	17007.7252	3637.3909	6803.0901	10204.6351
3	3	26722.1178	31717.3698	8016.6354	12686.9479	19030.4219
4	4	46106.4689	49197.9654	13831.9407	19679.1861	29518.7792
5	5	68866.2987	67948.1894	20659.8896	27179.2757	40768.9136
6	6	94608.8392	87737.1494	28382.6518	35094.8598	52642.2896
7	7	121353.1868	106911.2775	36405.9560	42764.5110	64146.7665
8	8	149727.4752	126260.4908	44918.2425	50504.1963	75756.2945
9	9	179816.0421	145955.8440	53944.8126	58382.3376	87573.5064
10	10	211187.0258	165717.2915	63356.1078	66286.9166	99430.3749

11	11	246761.0705	187837.2203	74028.3211	75134.8881	112702.3322
12	Atap	230899.3535	170982.6382	69269.8061	68393.0553	102589.5829

Batas Simpangan

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 12.6.4.4, batasan nilai displacement antar lantai maksimum yang diijinkan akibat pengaruh beban gempa rencana adalah $\frac{h}{B}$, dimana h_{sx} adalah tinggi lantai dan B adalah faktor redundansi yang diperoleh berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.3.4.2 adalah sebesar 1,3. Kontrol displacement antar lantai maksimum struktur gedung akibat pengaruh beban gempa rencana dapat dilihat pada tabel 10, tabel 11, dan tabel 12

Tabel 10. Nilai *Performance Point* Perpindahan (δ), Perpindahan Elastik (δ_e), Simpangan Antar Tingkat (Δ), dan Simpangan Antar Tingkat Ijin (Δ_a) Gedung *existing*

Lantai	Tinggi Tingkat	Perpindahan	Perpindahan	Simpangan	Simpangan	Keterangan
	(h_i)	(δ_i)	Elastik (δ_{ei})	Antar Tingkat (Δ_i)	Tingkat Ijin (Δ_a)	
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
Dasar	0	0	0	0	0	Memenuhi
2	4	0.0028	0.0151	0.0151	0.0308	Memenuhi
3	7	0.0066	0.0362	0.0211	0.0538	Memenuhi
4	10	0.0112	0.0616	0.0254	0.0769	Memenuhi
5	13	0.0162	0.0890	0.0274	0.1000	Memenuhi
6	16	0.0213	0.1170	0.0280	0.1231	Memenuhi
7	19	0.0263	0.1445	0.0275	0.1462	Memenuhi
8	22	0.0312	0.1716	0.0271	0.1692	Memenuhi
9	25	0.0358	0.1968	0.0252	0.1923	Memenuhi
10	28	0.0401	0.2203	0.0235	0.2154	Memenuhi
11	31	0.0439	0.2414	0.0211	0.2385	Memenuhi
Atap	34	0.0473	0.2600	0.0186	0.2615	Memenuhi

Tabel 11. Nilai *Performance Point* Perpindahan (δ), Perpindahan Elastik (δ_e), Simpangan Antar Tingkat (Δ), dan Simpangan Antar Tingkat Ijin (Δ_a) Gedung *Alternatif A-1*

Lantai	Tinggi Tingkat	Perpindahan	Perpindahan	Simpangan	Simpangan	Keterangan
	(h_{si})	(δ_i)	Elastik (δ_{ei})	Antar Tingkat (Δ_i)	Tingkat Ijin (Δ_a)	
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
Dasar	0	0	0	0	0	Memenuhi
2	4	0.0044	0.0240	0.0240	0.0308	Memenuhi
3	7	0.0088	0.0485	0.0244	0.0538	Memenuhi
4	10	0.0135	0.0740	0.0255	0.0769	Memenuhi
5	13	0.0182	0.1000	0.0261	0.1000	Memenuhi
6	16	0.0228	0.1255	0.0255	0.1231	Memenuhi
7	19	0.0272	0.1498	0.0243	0.1462	Memenuhi
8	22	0.0316	0.1736	0.0238	0.1692	Memenuhi
9	25	0.0355	0.1954	0.0218	0.1923	Memenuhi
10	28	0.0392	0.2158	0.0205	0.2154	Memenuhi
11	31	0.0423	0.2325	0.0167	0.2385	Memenuhi
Atap	34	0.0445	0.2449	0.0124	0.2615	Memenuhi

Tabel 12. Nilai *Performance Point* Perpindahan (δ), Perpindahan Elastik (δ_e), Simpangan Antar Tingkat (Δ), dan Simpangan Antar Tingkat Ijin (Δ_a) Gedung *Alternatif A-2*

Lantai	Tinggi Tingkat (h _{si}) (m)	Perpindahan (δ_i) (m)	Perpindahan Elastik (δ_{ei}) (m)	Simpangan Antar Tingkat (Δ_i) (m)	Simpangan Antar Tingkat Ijin (Δ_a) (m)	Keterangan
Dasar	0	0	0	0	0	Memenuhi
2	4	0.0043	0.0235	0.0235	0.0308	Memenuhi
3	7	0.0088	0.0484	0.0249	0.0538	Memenuhi
4	10	0.0136	0.0749	0.0265	0.0769	Memenuhi
5	13	0.0186	0.1024	0.0274	0.1000	Memenuhi
6	16	0.0237	0.1301	0.0278	0.1231	Memenuhi
7	19	0.0286	0.1572	0.0271	0.1462	Memenuhi
8	22	0.0335	0.1842	0.0270	0.1692	Memenuhi
9	25	0.0380	0.2090	0.0248	0.1923	Memenuhi
10	28	0.0423	0.2326	0.0236	0.2154	Memenuhi
11	31	0.0458	0.2520	0.0194	0.2385	Memenuhi
Atap	34	0.0484	0.2663	0.0143	0.2615	Memenuhi

Hasil analisis menyatakan bahwa baik gedung *existing* maupun alternatif yang diteliti memenuhi syarat (Aman) terhadap batas simpangansesuai SNI 03-1726-2012.

Nilai *Performance Point*

Dari Hasil perhitungan program SAP2000 diperoleh *Performance Point* gedung yang disajikan tabel 9 berikut

Tabel 9. Nilai *Performance Point*

Jenis Gedung	V (ton)	D (m)	Sa (g)	Sd (m)	T _{eff}	B _{eff}
Gedung <i>existing</i>	861.587	0.061	0.022	0.027	2.101	0.05
Gedung <i>Alternatif A-1</i>	878.641	0.050	0.024	0.025	1.987	0.053
Gedung <i>Alternatif A-2</i>	823.588	0.052	0.023	0.025	1.972	0.05

Dari tabel diatas terlihat bahwa Nilai gaya geser dasar V pada Gedung Alternatif A-1 (V=985.799 ton) lebih kecil dari gaya geser dasar pada gedung existing (V=1164.52 ton). Nilai gaya geser dasar V pada Gedung Alternatif A-2 (V=1123.736 ton) lebih kecil dari gaya geser dasar pada gedung existing (V=1164.52 ton).

Tabel 10. Level Kinerja menurut ATC-40

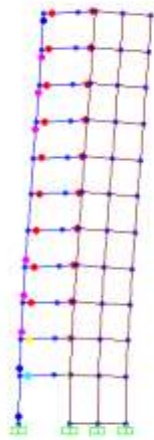
Gedung	Total Drift	Level	In-elastic Drift	Level
Gedung <i>existing</i>	0.0018	<i>Immediate Occupancy</i>	0.0013	Damage Control
Gedung <i>Alternatif A-1</i>	0.0014	<i>Immediate Occupancy</i>	0.0007	Damage Control
Gedung <i>Alternatif A-2</i>	0.0015	<i>Immediate Occupancy</i>	0.0008	Damage Control

Hasil analisis dinamik *pushover* berdasarkan *Applied Technology Council-40* (ATC-40), berdasarkan nilai *Total Drift* yang didapatkan maka nilai level kinerja gedung existing maupun gedung Alternatif termasuk dalam *Immediate Occupancy*. Dengan acuan dari ATC-40, berdasarkan nilai *In-elastic Drift* yang didapatkan maka nilai level kinerja gedung existing maupun gedung Alternatif termasuk dalam *Immediate Occupancy*.

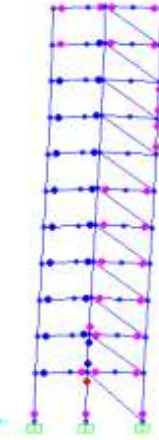
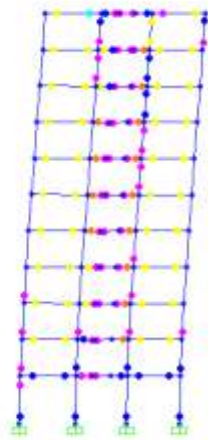
SKEMA DISTRIBUSI SENDI PLASTIS

Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan struktur khususnya balok menahan gaya dalam. Pemodelan sendi adalah rigid dengan diinput rigid zone factornya = 1 sehingga sendi dianggap kaku dan tidak memiliki efek pada perilaku linier pada elemen struktur. Pada studi ini elemen balok menggunakan default-V2 dan default-M3 dan elemen kolom menggunakan default-PMM. Analisis *pushover* menunjukkan terjadinya sendi plastis pada

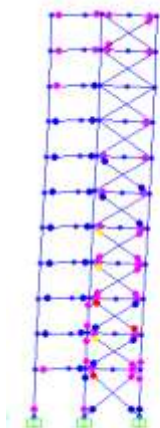
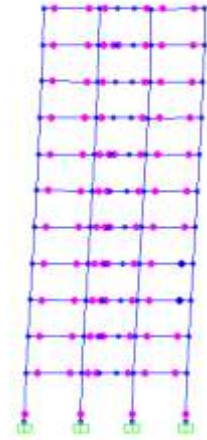
setiap peningkatan beban. Struktur diberikan gaya gempa statik ekuivalen secara bertahap (incremental) pada proses pushover maka akan terbentuk sendi plastis pada elemen struktur. Gambar 3 sampai Gambar 5 menunjukkan simulasi mekanisme keruntuhan. Sendi plastis yang terjadi merupakan hasil dari proses pushover menggunakan program SAP2000.



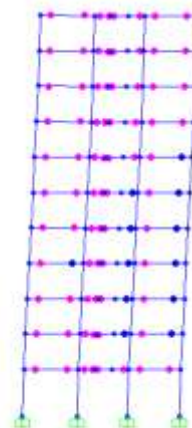
Gambar 3 Distribusi Sendi plastis pada gedung *existing*



Gambar 4 Distribusi Sendi plastis pada gedung *Alternatif A-1*



Gambar 5 Distribusi Sendi plastis pada gedung *Alternatif A-2*



Dari Gambar 3 terlihat bahwa konsep desain *strong column weak beam* pada gedung *existing* terpenuhi. Hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen balok. Dari Gambar 4 terlihat bahwa konsep desain *strong column weak brace* pada gedung Alternatif A-1 tidak terpenuhi. Hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen kolom. Dari Gambar 5 terlihat bahwa konsep desain *strong column weak brace* pada gedung Alternatif A-2 terpenuhi. Hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen bresing.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis *pushover* dengan SAP2000, diperoleh gaya geser dasar seismik yang dapat ditahan oleh gedung *Alternatif A-1*, gedung yang memiliki sistem struktur ganda dengan bresing diagonal, sebesar 878.641 ton lebih besar 1.9% dari gaya geser dasar seismik yang dapat ditahan oleh gedung *existing*, 861.587 ton. Gaya geser dasar seismik yang dapat ditahan oleh gedung *Alternatif A-2*, gedung yang memiliki sistem struktur ganda dengan bresing X, sebesar 823.588 ton lebih kecil 4.41% dari gaya geser dasar seismik yang dapat ditahan oleh gedung *existing*, 861.587 ton

Dengan acuan dari ATC-40, diperoleh *total drift* gedung *Alternatif A-1*, gedung yang memiliki sistem struktur ganda dengan bresing diagonal, sebesar 0.0014 lebih kecil dari *total drift* gedung *existing*, 0.0018. *Total drift* gedung *Alternatif A-2*, gedung yang memiliki sistem struktur ganda dengan bresing X, sebesar 0.0015, dimana nilai tersebut lebih kecil dari *total drift* gedung *existing*, 0.0018. Berdasarkan nilai *Total Drift* yang didapatkan maka nilai Level kinerja gedung *existing* maupun gedung *Alternatif* termasuk dalam *Immediate Occupancy*

Dengan acuan SNI 1726:2012, diperoleh simpangan antar lantai maksimum gedung *Alternatif A-1*, gedung yang memiliki sistem struktur ganda dengan bresing diagonal, sebesar 0.0261 m, dimana nilai tersebut lebih kecil dari

simpangan antar lantai maksimum gedung *existing*, 0.0280 m. Simpangan antar lantai maksimum gedung *Alternatif A-2*, gedung yang memiliki sistem struktur ganda dengan bresing X, sebesar 0.0278 m, dimana nilai tersebut lebih kecil dari simpangan antar lantai maksimum gedung *existing*, 0.0280 m. Berdasarkan nilai simpangan antar lantai yang didapatkan, baik gedung *existing* maupun gedung *Alternatif* memiliki nilai simpangan antar lantai yang memenuhi batas syarat simpangan yang diatur dalam SNI 1726:2012

Konsep desain *strong column weak beam* pada gedung *existing* terpenuhi, hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen balok. Konsep desain *strong column weak brace* pada gedung *Alternatif A-1* tidak terpenuhi, hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen kolom. Konsep desain *strong column weak brace* pada gedung *Alternatif A-2* terpenuhi, hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis bukan diawali dari elemen kolom, tetapi dari elemen bresing.

REFERENSI

- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. California. Seismic Safety Commission State of California.
- Applied Technology Council. 2006. *ATC/SEAOC Training Curriculum: The Path to Quality Seismic Design and Construction (ATC-48)*. California. Seismic Safety Commission State of California.
- Budi, Anindityo P. 2011. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Prosedur A Menggunakan Program Etabs V 9.50*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Dewobroto, Wiryanto. *Evaluasi bangunan baja tahan gempa dengan SAP2000*
- FEMA-356. 2000. *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*. Virginia. American Society of Civil Engineers .
- FEMA-440. 2005. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Virginia. American Society of Civil Engineers .
- Maheri MR, Sahebi A. Use of steel bracing in reinforced concrete frames. *Engineering Structure* 1997;19(12):1018-24
- Maheri MR, Akbari R. Seismic behaviour factor, R, for steel X-braced and knee-braced RC buildings. *Engineering Structure* 2003;25:1505-1513
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai SNI 03-1729-2002)*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Setiawan, Bagus H. 2013. *Evaluasi Perilaku Seismik Gedung Solo Center Point Dengan Metode Analisis Pushover Menggunakan Program Etabs V 9.50*, Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Safarizki, Hendramawat A. 2011. *Evaluasi Penggunaan Bresing Baja dalam Meningkatkan Kinerja Struktur Beton Tahan Gempa*. Thesis Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Standar Nasional Indonesia. 2012. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. RSNI 1726-2012. Jakarta : Badan Standar Nasional Indonesia.
- UBC.1997. *Uniform Building Code, volume 2*. California. Internasional Conference of Building Officials.