

PERBANDINGAN PENGARUH METODE PENEMPATAN VSL GENSUI DAMPER TERHADAP KINERJA SEISMIK STRUKTUR BETON BERTULANG (GEMPA WILAYAH SURABAYA)

Giovanni Bunardi¹, Richard Jordan Citra², Pamuda Pudjisuryadi³ dan Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK : Permasalahan efisiensi penggunaan *damper* muncul karena penempatan *damper* pada umumnya dipakai adalah dipasang dari lantai bawah sampai lantai atas dengan jumlah yang sama (dalam paper ini disebut metode *uniform*). Pada penelitian ini dikaji dan membandingkan antara metode SSSA, metode *uniform*, metode yang telah diusulkan oleh penelitian terdahulu (SSSAmod) serta metode yang diusulkan pada penelitian ini (*Proposed Method*). Metode-metode ini akan diterapkan pada 4 bangunan 10 lantai yang memiliki desain yang berbeda sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2002. Performa dari masing-masing metode akan dievaluasi melalui *interstory drift* dan *damage index*. Analisa menggunakan *non-linear direct integration time history* dengan program SAP2000 v.18.2. Jenis *damper* yang digunakan adalah *damper viscoelastic* dari VSL Gensui *Damper*. Beban gempa 2500 tahun disesuaikan dari SNI 1726:2012, diterapkan pada kota Surabaya pada keempat bangunan dan Kupang pada bangunan ke-3. Hasil dari penelitian ini menunjukkan metode SSSAmod lebih efektif dibandingkan metode lainnya, namun dalam kasus bangunan *soft story*, metode SSSA lebih unggul dari metode lainnya. Sedangkan untuk *Proposed Method* pada bangunan pertama menunjukkan indikator penempatan *damper* yang buruk dibanding ketiga metode lainnya, sehingga metode ini tidak dilanjutkan dalam penelitian bangunan lainnya. Ditemukan juga bahwa penambahan *damper* berakibat pada penambahan *base shear* bangunan sehingga memberi tanda bahaya pada pondasi *existing* bangunan.

KATA KUNCI: *damper nonlinear*, metode penempatan *damper*, riwayat waktu nonlinier, *simplified sequential search algorithm*, VSL gensui *damper*

1. PENDAHULUAN

Damper adalah salah satu cara perkuatan bangunan yang sudah terbukti efektifitasnya (Whittle, 2011). Pertanyaan mengenai efisiensi penempatan *damper* muncul pada saat mendesain bangunan menggunakan *damper*. Secara umum *damper* diletakan diseluruh lantai bangunan, perletakan *damper* secara merata menimbulkan pertanyaan mengenai efisiensi dari *damper* tersebut, sehingga metode secara general mengenai strategi perletakan *damper* dibutuhkan. Ada berbagai macam metode optimasi meletakkan posisi *damper* yang sudah diusulkan, salah satunya ialah metode *Simplified Sequential Search Algorithm* (SSSA) yang memiliki tujuan memaksimalkan kinerja dari *damper*. Metode SSSA ini terbilang aplikatif dibanding metode-metode yang sudah ditemukan sebelumnya karena metode ini mampu menggunakan *damper* yang ditentukan oleh pengguna. Penelitian akan membandingkan empat metode perletakan *damper*, meletakkan pada seluruh lantai (Metode *Uniform*), SSSA, metode yang telah diusulkan penelitian sebelumnya (SSSAmod) (Angkasaputra & Sebastiano, 2018), serta metode yang diusulkan oleh penulis (*Proposed Method*). Metode tersebut akan diaplikasikan kepada 4 bangunan 10 lantai, yang memiliki struktur yang berbeda, dengan beban gempa yang telah disesuaikan dengan SNI 1726:2012

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415087@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415127@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, pamuda@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, bluman@petra.ac.id

2. METODE SIMPLIFIED SEQUENTIAL SEARCH ALGORITHM

Metode *Simplified Sequential Search Algorithm* atau SSSA (Garcia, D.L., 2001) adalah suatu metode untuk menentukan letak *dampers* paling optimal pada suatu gedung dengan cara menganalisa lokasi bangunan yang menerima gaya yang paling besar. Gaya yang terbesar dapat ditentukan dengan mencari indeks lokasi optimal (γ_i) yang paling besar pada gedung yang ditinjau, persamaan 1. Indeks lokasi optimal tersebut terdiri dari penjumlahan *interstory drift* (δ_i) dan *interstory velocity* ($\dot{\delta}_i$) yang dikalikan dengan koefisien tertentu, tergantung dari jenis *dampers*.

$$\gamma_i = \alpha_1 \delta_i + \alpha_2 \dot{\delta}_i \quad (1)$$

Penelitian menggunakan *dampers viscoelastic*, yaitu VSL Gensui *Dampers*, karena material *viscoelastic* memiliki karakteristik *viscous* dan *elastic* pada saat mengalami deformasi, maka perlu diperhitungkan nilai α_1 dan α_2 . Nilai dari α_1 dan α_2 diperhitungkan menggunakan persamaan 2 dan 3. Dimana μ adalah *loss factor* dari *viscoelastic material* dan ω adalah frekuensi struktur sesudah diberikan *dampers*. *Gensui rubber* memiliki *loss factor* yang berkisar dari 0.5 sampai 0.63, tergantung dari kualitas karet yang digunakan.

$$\alpha_1 = \frac{1}{1+\mu} \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \frac{\mu}{\omega(1+\mu)} \quad (3)$$

3. METODE SIMPLIFIED SEQUENTIAL SEARCH ALGORITHM – MODIFIED

Metode *Simplified Sequential Search Algorithm-Modified* atau SSSA-Mod (Angkasaputra & Sebastiano, 2018) adalah suatu metode dari modifikasi metode *Simplified Sequential Search Algorithm* atau SSSA (Garcia, D.L., 2001). Metode ini bertujuan untuk memodifikasi metode SSSA dengan hanya memperhatikan *interstory drift* tertinggi sebagai indikator penempatan *dampers*, mengingat bahwa VSL Gensui *Dampers* adalah *viscoelastic dampers* yang bergantung kepada deformasi (Susanto, 2011), maka meletakkan *dampers* pada *interstory drift* tertinggi sangatlah logis.

4. METODE USULAN (PROPOSED METHOD)

Walaupun metode SSSA dan SSSAmod dapat digunakan dalam memilih koefisien *dampers*, namun kedua metode ini masih mempunyai kekurangan dalam hal indikator pemilihan penempatan *dampers* tanpa memperhatikan efek kekuatan (tulangan terpasang) serta dimensi (kekakuan) dari kolom. Dengan asumsi *story shear* setiap lantai dapat mewakili perbandingan kekuatan kolom (tulangan terpasang) antar lantai, sedangkan rasio inersia kolom dapat mewakili perbandingan kekakuan dari dimensi kolom antar lantai. Indikator *proposed method* yang dipakai adalah *interstory drift* antar lantai dikalikan dengan rasio *story shear* antar lantai serta dikalikan dengan rasio inersia kolom antar lantai, sesuai dengan persamaan 4. Metode ini diharapkan lebih efektif dari metode lainnya.

$$\gamma_i = \delta_i \times \frac{V_1}{V_i} \times \frac{I_i}{I_1} \quad (4)$$

γ_i = indeks lokasi optimal lantai ke - i

δ_i = *interstory drift* lantai ke - i

V_i = *Story shear* dari *bare model* desain lantai ke - i

V_1 = *Story shear* dari *bare model* desain lantai ke - 1

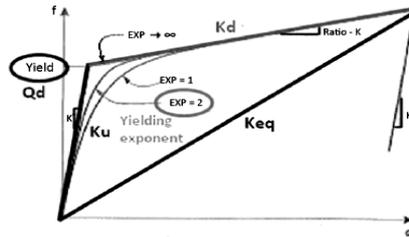
I_i = Inersia kolom lantai ke - i

I_1 = Inersia kolom lantai ke - 1

5. VSL GENSUI DAMPER

VSL Gensui *Dampers* dapat dimodelkan menggunakan program komputer, dalam hal ini digunakan SAP 2000 v18.2. Pemodelan VSL Gensui *Dampers* pada SAP 2000 v18.2 menggunakan *non-linear link* dengan tipe *Plastic (Wen)*. Terdapat beberapa properti *non-linear link* yang harus ditentukan

terlebih dahulu. Beberapa properti yang harus ditentukan dapat dilihat pada **Tabel 1** dan dapat digambarkan grafik hubungan beban dengan perpindahan yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Adapun penentuan properti-properiti tersebut mengikuti petunjuk yang diberikan dalam panduan produk (Susanto, 2011).



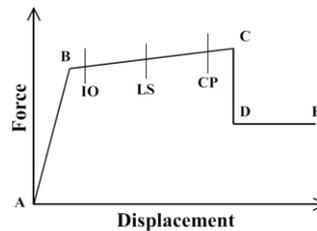
Gambar 1. Hubungan Beban dan Perpindahan VSL Gensui Damper

Tabel 1. Properti Non-Linear VSL Gensui Damper

SAP2000	VSL	Satuan	Catatan
Effective Stiffness	K_{eq}	kN/mm	-
Effective Damping	C_{eq}	kN.s/mm	-
Distance from End-J	-	mm	Tinggi antar lantai/2
Stiffness	K_u	kN/mm	-
Yield Strength	Q_d	kN	-
Post Yield Stiffness Ratio	K_d/K_u	-	-
Yielding Exponent	-	-	Bernilai 2 (bilinear damper property)

6. DAMAGE INDEX (ACMC, 2001)

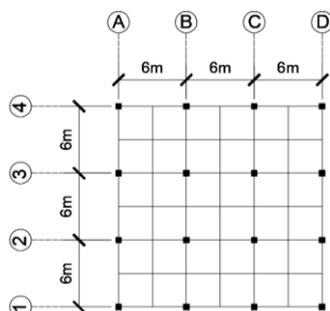
Performa suatu bangunan dapat dilihat dari kerusakan sendi plastis pada bangunan tersebut. Pada penelitian ini *acceptances criteria* yang dapat dilihat pada **Gambar 2**, yaitu *immediate occupancy* (IO), *life safety* (LS) dan *collapse prevention* (CP), digunakan *damage index* dari Asia Concrete Model Code (ACMC, 2001) dengan batas-batas deformasi berturut-turut adalah 10%, 25%, 40% dari deformasi *ultimate*.



Gambar 2. Damage Index pada Sendi Plastis

7. PEMODELAN STRUKTUR

Keempat bangunan struktur 10 lantai dengan sistem rangka pemikul momen. Denah dari keempat bangunan dapat dilihat pada **Gambar 3**. Program yang digunakan untuk menganalisa struktur adalah SAP 2000 v18.2. Analisa yang digunakan adalah *non-linear direct integration time history*, dengan menggunakan gempa *El Centro* 1940 yang telah disesuaikan dengan respon spektrum kota Surabaya untuk bangunan 1-4 dan kota Kupang untuk bangunan 3 menurut SNI 1726:2012, gempa 2500 tahun (MCE). Pembebanan dilakukan pada satu arah karena bangunan simetris.



Gambar 3. Denah Struktur Bangunan 1-4

Tinggi kolom yang dipakai untuk semua lantai adalah 4 meter. Perbedaan struktur bangunan 1-4 ada pada balok dan kolom. Perbedaan struktur tersebut dikarenakan bangunan 1 memiliki kekurangan sebagai berikut; banyaknya penggunaan tulangan dan dimensi yang sama pada pengelompokan kolom secara vertikal (lt.1-4 seragam, lt. 5-7 seragam, lt.8-10 seragam) sehingga kondisi *overstrength* banyak terjadi pada kolom. Sedangkan bangunan 2 memiliki kondisi perubahan dimensi kolom secara ekstrim (>130% dimensi kolom dibawahnya) antara kolom lt. 4 ke 5, serta kondisi *overstrength* masih banyak terjadi pada kolom. Pada bangunan 3 didesain dari kekurangan pada bangunan 1 dan 2 yaitu untuk menghindari kondisi *overstrength* pada semua kolom dengan cara dimensi kolom dibuat berubah secara gradual. Pada bangunan 4 memiliki kondisi *soft story* yang terjadi pada kolom lt. 1, dengan tinggi kolom lt.1 lebih tinggi dari lantai lainnya yaitu 6 meter. Perbedaan struktural bangunan 1 dan 2 dapat dilihat pada **Tabel 2**. Desain balok untuk keempat bangunan didesain sama dan sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2002.

Untuk mendapatkan *non-linear behavior* dari struktur, perlu dipasang *non-linear hinge* yang sesuai. Pada elemen balok, digunakan M3 *hinge* serta V2 *hinge*. Sedangkan untuk kolom, digunakan P-M-M *hinge*, V2 serta V3 *hinge*.. Adapun *moment-curvature* serta *force-displacement* geser untuk balok dan kolom didapatkan dengan bantuan program CUMBIA (Montejo, 2007).

Tabel 2. Perbedaan Dimensi Struktur Kolom pada Bangunan 1 - 4

Tipe	Dimensi Kolom								
	Bangunan 1			Bangunan 2			Bangunan 3 & 4		
	Interior	Exterior	Corner	Interior	Exterior	Corner	Interior	Exterior	Corner
Lantai 1	600 x 600	500 x 500	400 x 400	600 x 600	550 x 550	500 x 500	600 x 600	500 x 500	400 x 400
Lantai 2	600 x 600	500 x 500	400 x 400	600 x 600	550 x 550	500 x 500	600 x 600	500 x 500	400 x 400
Lantai 3	600 x 600	500 x 500	400 x 400	600 x 600	550 x 550	500 x 500	520 x 520	450 x 450	360 x 360
Lantai 4	600 x 600	500 x 500	400 x 400	600 x 600	550 x 550	500 x 500	520 x 520	450 x 450	360 x 360
Lantai 5	500 x 500	400 x 400	350 x 350	450 x 450	400 x 400	350 x 350	460 x 460	400 x 400	350 x 350
Lantai 6	500 x 500	400 x 400	350 x 350	450 x 450	400 x 400	350 x 350	460 x 460	400 x 400	350 x 350
Lantai 7	500 x 500	400 x 400	350 x 350	450 x 450	400 x 400	350 x 350	360 x 360	360 x 360	340 x 340
Lantai 8	450 x 450	400 x 400	350 x 350	450 x 450	400 x 400	350 x 350	355 x 355	360 x 360	340 x 340
Lantai 9	450 x 450	400 x 400	350 x 350	450 x 450	400 x 400	350 x 350	350 x 350	325 x 325	320 x 320
Lantai 10	450 x 450	400 x 400	350 x 350	450 x 450	400 x 400	350 x 350	350 x 350	325 x 325	320 x 320

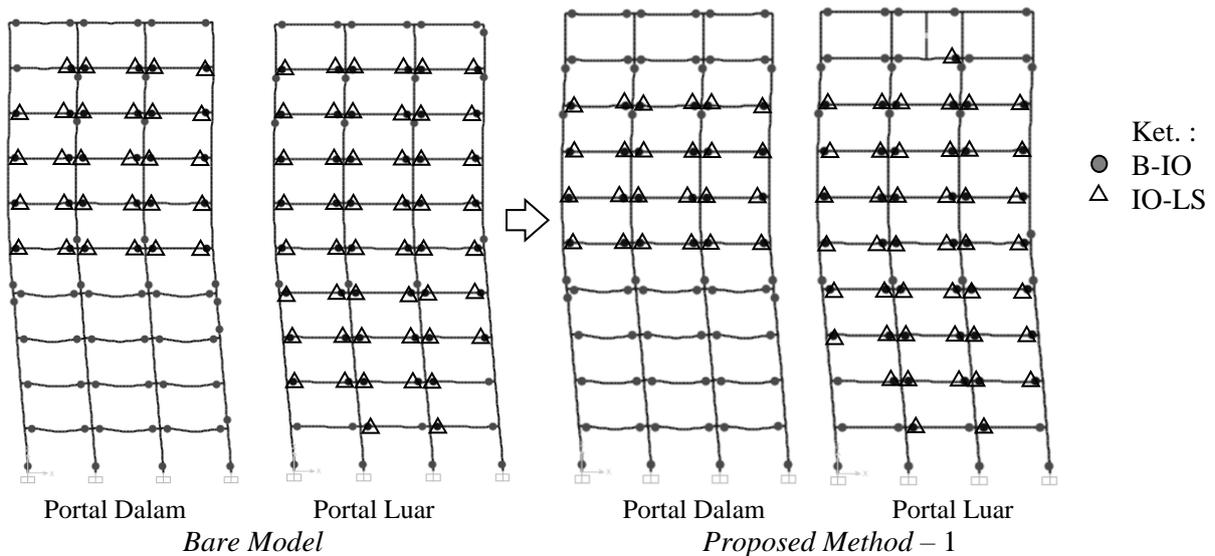
8. ANALISA DAN HASIL

Penempatan *dampers* diletakkan pada 2 sisi portal luar secara bersamaan di semua bangunan pada penelitian ini, karena pada penelitian sebelumnya (Angkasaputra & Sebastiano, 2018), sudah memberikan kesimpulan bahwa penempatan *dampers* pada portal luar dengan kekuatan aksial lentur yang lebih rendah lebih efektif, karena *dampers* akan menyerap gaya lebih banyak pada portal luar tersebut. Pada **Tabel 3** disajikan perkembangan penempatan *dampers* pada lantai ke berapa dari setiap metode yang dicoba pada setiap bangunan.

Pada *Proposed Method*, ditemukan bahwa indikator ini tidak dapat mendeteksi letak kerusakan paling parah antar lantai. Dapat dilihat pada **Gambar 4** bahwa, pada langkah pertama metode ini mengusulkan penempatan *damper* pada lantai 10 dimana hanya terjadi 2 titik kerusakan sendi plastis pada portal luar pada kolom. Karena hal ini, penelitian metode ini tidak dilanjutkan pada bangunan lainnya.

Tabel 3. Langkah Penempatan Damper Metode SSSA, PM dan SSSAmod Semua Bangunan

Typ	Perkembangan Fase										
Bangunan 1	SSSA	7	6	9	8	7	5	6	7	3	8
	PM	10	9	7	4	6	3	4	8	2	7
	SSSAmod	7	6	5	9	8	6	2	8	3	5
Bangunan 2	SSSA	7	6	9	7	5	8	6	10	7	4
	SSSAmod	6	7	5	9	8	6	8	3	5	6
Bangunan 3 Surabaya	SSSA	7	9	6	8	5	7	10	6	8	3
	SSSAmod	7	6	9	5	8	7	4	3	6	1
Bangunan 4	SSSA	7	6	9	1	8	5	7	4	5	3
	SSSAmod	1	7	6	9	5	8	4	7	6	3
Bangunan 3 Kupang	SSSA	7	9	6	8	5	4	6	1	3	8
	SSSAmod	7	9	6	5	8	3	4	1	2	6



Gambar 4. Letak Sendi Plastis Bare Model dan Proposed Method Bangunan 1

Dapat dilihat pada **Tabel 4**, dengan batas-batas *damage index* berdasarkan *Asian Concrete Model Code* (ACMC, 2001); bahwa metode penempatan *damper* terbaik pada semua bangunan kecuali bangunan *soft story* dikenakan beban gempa wilayah Surabaya dan bangunan 3 yang dikenakan beban gempa wilayah Kupang, metode SSSAmod lebih *superior* daripada metode lainnya karena mampu mengurangi dan menurunkan level kerusakan maksimum kolom pada bangunan. Penggunaan jumlah *damper* pada metode ini lebih sedikit dan efektif dari metode *Uniform*. Pada bangunan 3 gempa wilayah Surabaya, level kerusakan maksimum kolom berhasil turun dari level IO-LS pada *bare model* menjadi B-I0, sedangkan pada bangunan 3 gempa wilayah Kupang, dari level LS-CP pada *bare model* menjadi IO-LS. Namun untuk kasus bangunan *soft story*, metode terbaik didapatkan pada metode SSSA di langkah terbaik yaitu langkah ke-17 dalam peforma menurunkan level kerusakan maksimum kolom. Hal ini dapat ditarik kesimpulan bahwa metode SSSAmod tidak mampu bekerja secara efektif pada kondisi bangunan *soft story*. Pada metode SSSA, SSSAmod dan *Proposed Method* setiap bangunan akan berhenti pada langkah terbaik dimana level kerusakan kolom minimum dan *stage* sendi

plastis kolom maksimum dapat turun. Dicoba juga metode *Uniform* sesuai dengan jumlah *dampers* langkah terbaik sebagai pembandingan, dan didapatkan hasil yang lebih buruk dibanding metode lainnya. Pada **Tabel 4** hanya ditampilkan data kerusakan kolom, dikarenakan pada konsep *strong column weak beam* kerusakan pada balok tidak diperhatikan.

Tabel 4. Sendi Plastis Kolom Langkah Terbaik dari Semua Metode dan Semua Bangunan

T I P E	KOLOM									
	STEP	A-B	B-IO (pink)	IO-LS (blue)	LS-CP (tosca)	CP-C (green)	>C	Total	% Total Rusak Sendi Plastis (SP)	Avg. Damage Index (%)
B a n g u n a n	Bare	252	68	0	0	0	0	320	21.25	5.00
	SSSA 4	276	44	0	0	0	0	320	13.75	5.00
	Uniform 5	246	74	0	0	0	0	320	23.13	5.00
	Uniform 10	266	54	0	0	0	0	320	16.88	5.00
	PM 9	282	38	0	0	0	0	320	11.88	5.00
	SM5	283	37	0	0	0	0	320	11.56	5.00
B a n g u n a	Bare	254	66	0	0	0	0	320	20.63	5.00
	SSSA 7	278	42	0	0	0	0	320	13.13	5.00
	Uniform 5	228	92	0	0	0	0	320	28.75	5.00
	Uniform 10	264	56	0	0	0	0	320	17.50	5.00
	SM5	280	40	0	0	0	0	320	12.50	5.00
B a n g u n a n	Bare	152	152	16	0	0	0	320	52.50	6.19
	SSSA 17	204	116	0	0	0	0	320	36.25	5.00
	Uniform 10	166	154	0	0	0	0	320	48.13	5.00
	Uniform 16	172	128	20	0	0	0	320	46.25	6.69
	Uniform 20	154	166	0	0	0	0	320	51.88	5.00
	SM16	202	118	0	0	0	0	320	36.88	5.00
B a n g u n a n	Bare	174	144	2	0	0	0	320	45.63	5.17
	SSSA 17	186	134	0	0	0	0	320	41.88	5.00
	Uniform 10	184	136	0	0	0	0	320	42.50	5.00
	Uniform 17	184	114	22	0	0	0	320	42.50	7.02
	Uniform 20	162	158	0	0	0	0	320	49.38	5.00
	SM 20	184	136	0	0	0	0	320	42.50	5.00
B 3 a n g u n a n	Bare	100	152	64	4	0	0	320	68.75	9.14
	SSSA 11	138	140	42	0	0	0	320	56.88	7.88
	Uniform 7	130	110	32	42	6	0	320	59.38	15.24
	Uniform 10	110	178	28	4	0	0	320	65.63	7.19
	Uniform 20	86	184	44	6	0	0	320	73.13	8.06
	SM 7	108	174	38	0	0	0	320	66.25	7.24

Pada **Tabel 5** dapat dilihat perbandingan nilai maksimum dan rata-rata *interstory drift* yang dihasilkan oleh langkah terbaik dari semua metode dan dari semua bangunan. Ditemukan bahwa metode SSSAmod juga mempunyai nilai maksimum *interstory drift* paling kecil dibanding metode lainnya pada bangunan 1, 2, 3 yang dikenakan beban gempa wilayah Surabaya dan bangunan 3 yang dikenakan beban gempa wilayah Kupang. Sedangkan pada bangunan 4, metode SSSA mempunyai nilai maksimum *interstory drift* paling kecil dibanding metode lainnya.

Tabel 5. Nilai Max dan Rata-rata Interstory Drift Langkah Terbaik Semua Metode pada Semua Bangunan

TIPE	STEP	MAX Int Drift (mm)	AVG Int Drift (mm)	TIPE	STEP	MAX Int Drift (mm)	AVG Int Drift (mm)
Bangunan 1	BARE	75.41	52.57	Bangunan 2	BARE	81.95	53.74
	SSSA4	63.09	45.98		SSSA7	62.08	50.61
	Uniform 5	85.55	56.20		Uniform 5	77.72	52.76
	Uniform 10	67.77	47.57		Uniform 10	70.75	48.69
	PM9	68.77	48.12		SM5	59.63	45.81
	SM5	56.61	45.36		SM10	55.48	46.08
TIPE	STEP	MAX Int Drift (mm)	AVG Int Drift (mm)	TIPE	STEP	MAX Int Drift (mm)	AVG Int Drift (mm)
Bangunan 3 Surabaya	BARE	92.12	54.94	Bangunan 4	BARE	73.84	53.56
	SSSA17	56.18	43.72		SSSA17	56.61	47.11
	Uniform 10	64.40	48.39		Uniform 10	69.52	45.25
	Uniform 16	84.05	50.28		Uniform 17	83.92	52.25
	SM16	51.71	43.74		SM20	60.17	47.75
	TIPE	STEP	MAX Int Drift (mm)		AVG Int Drift (mm)		
Bangunan 3 Kupang	BARE	152.01	83.58				
	SSSA11	108.94	66.55				
	Uniform 7	198.09	92.46				
	Uniform 10	98.95	74.90				
	SM7	103.97	74.10				
	SM10	89.40	72.94				

Penambahan *damper* menyebabkan penambahan *story shear* yang terjadi pada bangunan 1, yang dapat dilihat pada **Tabel 6**. Hasil hanya ditunjukkan pada bangunan 1 dikarenakan pada bangunan lainnya mempunyai pola hasil yang sama. Penambahan *story shear* ini pun berdampak pada bertambahnya *base shear* yang terjadi pada dasar bangunan. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa penambahan *damper* akan menimbulkan peningkatan *base shear* pada pondasi *existing* akibat gempa sehingga pondasi *existing* memang perlu perhatian khusus untuk menjadi bahan pertimbangan opsi *retrofit* bangunan dengan *wall type damper*.

Tabel 6. Nilai Story Shear Langkah Terbaik Semua Metode pada Bangunan 1

BARE		SSSA4			SM5			PM9			Uniform 5			Uniform 10		
Lt	Story Shear (kN)	Lt	Story Shear (kN)		Lt	Story Shear (kN)		Lt	Story Shear (kN)		Lt	Story Shear (kN)		Lt	Story Shear (kN)	
			Batang VSL	Kolom		Batang VSL	Kolom		Batang VSL	Kolom		Batang VSL	Kolom		Batang VSL	Kolom
1	2855.79	1	0	3040.86	1	0	3107.98	1	0	3721.69	1	888.31	2675.18	1	852.89	2804.02
2	2632.33	2	0	2714.41	2	0	2729.94	2	910.06	2438.54	2	580.97	2554.92	2	613.50	2746.57
3	2320.43	3	0	2468.33	3	0	2573.61	3	749.21	2350.04	3	648.56	2320.59	3	680.69	2281.97
4	2332.94	4	0	2581.11	4	0	2742.61	4	1872.38	1276.35	4	535.99	2278.20	4	663.81	2423.37
5	1828.32	5	0	2333.83	5	966.45	1481.54	5	0	2469.17	5	1059.44	1292.74	5	817.42	1813.33
6	1834.87	6	1019.76	1122.83	6	792.18	1531.42	6	1092.48	1224.37	6	0	2158.63	6	872.17	1585.01
7	1613.28	7	751.22	1331.17	7	919.20	1330.74	7	863.84	1441.52	7	0	1816.66	7	918.32	1511.41
8	1536.90	8	708.19	1242.36	8	705.77	1395.32	8	848.96	1535.26	8	0	1826.73	8	887.74	1606.13
9	1460.17	9	748.12	995.82	9	787.32	1073.63	9	703.05	1099.46	9	0	1498.97	9	783.34	1291.87
10	1185.93	10	0	1117.13	10	0	1203.99	10	342.71	698.35	10	0	1341.62	10	503.05	800.15

9. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada 5 kasus bangunan, didapatkan beberapa kesimpulan:

1. Metode SSSA memiliki performa yang bagus dalam hal perbaikan sendi plastis kolom serta *interstory drift* pada semua tipe bangunan. Namun jika dibandingkan dengan metode SSSAmoD, masih kalah dalam kedua performa yang disebutkan sebelumnya, kecuali pada tipe bangunan *soft story*.
2. Metode *uniform* menunjukkan performa perbaikan sendi plastis kolom yang cukup baik namun perbaikan *interstory drift* masih kurang efektif. Metode ini jika dibandingkan masih kurang efektif dari metode SSSA maupun SSSAmoD mengacu pada kedua performa tersebut.
3. Metode SSSAmoD menunjukkan hasil yang mirip dengan metode SSSA dalam hal perbaikan kerusakan kolom dan *interstory drift*.
4. *Proposed method* memberikan hasil penempatan *damper* yang buruk dibanding metode lainnya, karena indikator masih kurang sempurna untuk mendeteksi kerusakan lantai yang paling parah.
5. Penambahan *damper* pada bangunan penambahan *story shear* bangunan. Peningkatan ini pun terjadi pada *base shear* sehingga perlu memberikan perhatian khusus pada pondasi bangunan *existing*.

10. DAFTAR REFERENSI

- ACMC. (2001). *Asian Concrete Model Code Level 1&2 Documents*. Author, Tokyo.
- Angkasaputra, K., Sebastiano, F. Et al. (2018). *Perbandingan Pengaruh Metode Penempatan Damper Terhadap Kinerja Seismik Struktur* [skripsi]. Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 03-1726-2002. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Non Gedung*, SNI 1726-2012. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Garcia, D.L. "A Simple Method for the Design of Optimal *Damper* Configuration in MDOF Structures." *Winning Paper EERI Student paper award 2001*.
- Montejo, L.A. (2007). *CUMBIA*. North California: Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, North California State University.
- Susanto, A. (2011). *Non Linear Time History Seismic Analysis with Gensui Dampers in ETABS*. VSL Hongkong Limited, Chai Wan, Hongkong.
- Whittle, J.K. (2011). *Strategic Placement of Viscous Dampers For Seismic Structural Design*. University of Oxford, Oxford, United Kingdom.