

PERBANDINGAN PENGARUH METODE PENEMPATAN DAMPER TERHADAP KINERJA SEISMIK STRUKTUR

Ivan Widjaja¹, Daniel Mulyono Kresnadi², Pamuda Pudjisuryadi³ and Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK : Salah satu metode perkuatan struktur adalah dengan pengaplikasian *damper*. Pertanyaan yang timbul saat mengaplikasikan *damper* adalah dimana *damper* diletakkan. Cara yang umum digunakan adalah meletakkan *damper* di seluruh lantai dengan jumlah yang sama (dalam paper ini disebut metode *Uniform*). Salah satu metode lain yang aplikatif adalah metode SSSA. Pada penelitian Angkasaputra dan Sebastiano (2018), metode SSSA dibandingkan dengan modifikasi metode SSSA (*SSSA Modified*). Dari penelitian itu, ditemukan bahwa kedua metode memiliki kekurangan yaitu tidak diperhatikannya kekuatan kolom. Selain itu, kesimpulan mengenai metode yang paling efektif dalam mengurangi kerusakan bangunan juga belum jelas. Hal ini diakibatkan oleh terlalu parahnya kerusakan bangunan akibat tidak didesain terhadap gempa. Penelitian ini akan mengkaji dan membandingkan metode SSSA, metode *SSSA Modified*, dan metode *Uniform* pada 2 bangunan yang berbeda. Selain itu, akan dicoba indikator baru yang diharapkan dapat mengatasi kekurangan metode SSSA. Analisa menggunakan *non-linear direct integration time history* dengan program SAP2000 v.18.2. *Damper viscoelastic* menggunakan VSL Gensui *Damper*. Beban gempa 2500 tahun yang diterapkan diperhitungkan pada kota Kendari. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah metode *Modified SSSA* adalah metode yang memiliki performa terbaik dalam mengurangi kerusakan dan *interstory drift* bangunan. Selain itu, *Proposed Method* memiliki performa yang buruk dalam mengatasi kerusakan bangunan.

KATA KUNCI: *damper non-linear*, metode penempatan *damper*, riwayat waktu *non-linear*, *simplified sequential search algorithm*, VSL gensui *damper*.

1. PENDAHULUAN

Salah satu metode untuk memperkuat suatu struktur adalah dengan menggunakan *damper*. Pengaplikasian *damper* untuk perkuatan suatu bangunan adalah salah satu cara yang sudah terbukti efektifitasnya (Whittle, 2011). Salah satu pertanyaan yang timbul saat mendesain bangunan dengan *damper* adalah dimana *damper* tersebut akan diletakkan, Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah metode *Uniform*. Dengan metode ini, *damper* diletakkan pada seluruh lantai bangunan dengan jumlah yang sama. Penempatan *damper* dengan metode ini menimbulkan pertanyaan mengenai efisiensi dari *damper* tersebut, sehingga metode lain untuk menentukan lokasi penempatan *damper* dibutuhkan.

Salah satu metode yang paling aplikatif adalah metode SSSA. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Angkasaputra dan Sebastiano (2018) efektifitas metode SSSA dalam mengurangi kerusakan bangunan dan *interstory* telah dibandingkan dengan metode *Uniform* dan metode modifikasi dari metode SSSA itu sendiri (*Modified SSSA*). Namun, melalui penelitian tersebut jawaban mengenai metode manakah yang memiliki performa paling baik masih belum jelas. Hal ini disebabkan oleh

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415009@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415061@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

terlalu parahnya kerusakan bangunan akibat tidak didesain terhadap gempa. Selain itu, metode SSSA maupun *Modified SSSA* masih memiliki kekurangan yaitu tidak memperhatikan efek kekuatan dari kolom.

Pada penelitian ini akan diusulkan suatu indikator baru yang diharapkan dapat mengatasi kelemahan dari metode SSSA. Selain itu akan dibandingkan juga performa metode SSSA, *Modified SSSA*, metode yang diusulkan penulis (*Proposed Method*), dan metode *Uniform* dalam mengurangi kerusakan dan *interstory drift* bangunan. Metode tersebut akan diaplikasikan pada 2 bangunan 10 lantai yang memiliki struktur yang berbeda-beda.

2. METODE SIMPLIFIED SEQUENTIAL SEARCH ALGORITHM

Metode Simplified Sequential Search Algorithm atau SSSA (Garcia, D.L. 2001) adalah suatu metode untuk menentukan letak *damper* paling optimal pada suatu gedung. Letak paling optimal suatu *damper* adalah dimana *damper* tersebut 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, yang tergantung dari jenis *damper*.

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

Penelitian menggunakan *damper viscoelastic*, yaitu VSL Gensui *Damper*, 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 *damper*. *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 MODIFIED SSSA

Metode *Modified SSSA* (Angkasaputra dan Sebastiano. 2018) adalah metode modifikasi dari metode SSSA. Pada metode ini, *damper* akan diletakan pada lantai dengan *interstory drift* tertinggi, mengingat bahwa VSL Gensui *Damper* adalah *viscoelastic damper* yang bergantung kepada deformasi (Susanto, 2011), maka meletakan *damper* pada *interstory drift* tertinggi sangatlah logis.

4. PROPOSED METHOD

Diusulkan suatu indikator baru untuk menenmpatkan *damper* dengan memasukkan pengaruh rasio *base shear* dan rasio inersia kolom. Rasio base shear diharapkan dapat mewakili perbandingan kekuatan kolom antar lantai, sedangkan inersia kolom diharapkan dapat mewakili perbandingan kekakuan kolom antar lantai. Indikator *proposed method* yang dipakai adalah *interstory drift* antar lantai dikalikan dengan rasio *base shear* antar lantai dan rasio inersia kolom antar lantai sehingga diharapkan penempatan *damper* lebih efektif dari penelitian sebelumnya. berikut rumus *proposed method* yang diusulkan:

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

γ_i = indeks lokasi optimal lantai ke-i

I_i = Inersia kolom lantai ke-i

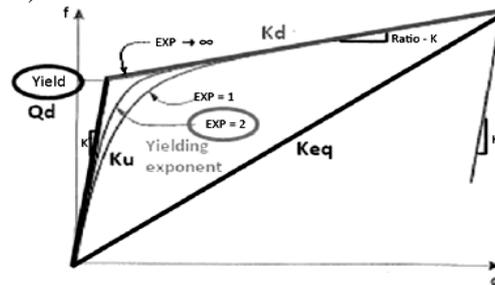
δ_i = *interstory drift* lantai ke-i

n = jumlah tingkat bangunan

V_i = *Story shear* lantai ke-i

5. VSL GENSUI DAMPER

VSL Gensui Damper dapat dimodelkan menggunakan program komputer, dalam hal ini digunakan SAP 2000 v18.2. Pemodelan VSL Gensui Damper 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 menjadi suatu 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).



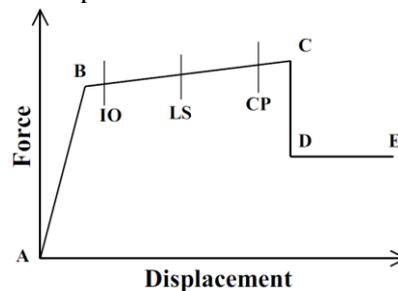
Gambar 1. Hubungan Beban dan Perpindahan VSL Gensui Damper

Tabel 1. Properti *Non-Linear* VSL Gensui Damper

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

6. PLASTIC HINGE PERFORMANCES LEVEL (ACMC, 2001)

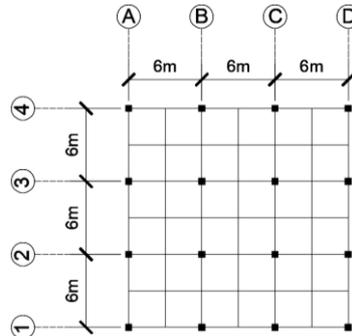
Performa suatu bangunan dapat dilihat dari kerusakan sendi plastis pada bangunan tersebut. Pada penelitian ini *acceptances criteria* untuk sendi plastis kategori *immediate occupancy* (IO), *life safety* (LS) dan *collapse prevention* (CP), digunakan *damage index* dari *Asia Concrete Model Code* (ACMC). Nilai *damage index* untuk IO adalah 10-25%, LS adalah 25-40%, dan CP adalah 40-100%, dari *ultimate deformation*, dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. *Damage Index* pada Sendi Plastis

7. PEMODELAN STRUKTUR

Kedua bangunan struktur 10 lantai dengan sistem rangka pemikul momen. Denah dari kedua 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 Kendari menurut SNI 1726-2012, gempa 2500 tahun (MCE). Pembebanan dilakukan pada satu arah karena bangunan simetris.



Gambar 3. Denah Struktur Bangunan 1 dan 2

Perbedaan struktur bangunan 1 dan 2 ada pada dimensi dan tulangan kolom yang didesain sesuai dengan SNI 03-1726-2002. Perbedaan struktur tersebut dikarenakan bangunan 1 masih memiliki *capacity ratio* yang tidak seragam. Kekuatan dari kolom pun masih ada yang jauh lebih besar dari kebutuhan sebenarnya. Bangunan 2 didesain agar kekuatan kolom di setiap lantai tidak jauh lebih besar dari kebutuhan sesungguhnya. Nilai *capacity ratio* dari semua kolom bangunan 2 pun dibuat seragam, yaitu lebih besar dari 0,7. Dengan desain ini diharapkan bangunan 2 akan mengalami kerusakan yang lebih parah daripada bangunan 1 untuk menguji efektifitas metode penempatan *damper*. Perbedaan struktural bangunan 1 dan 2 dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

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. Dimensi dan Tulangan Longitudinal Transversal Balok Bangunan 1 dan 2

Tipe	Ukuran	Tumpuan		Sengkang
		Atas	Bawah	
Balok Induk Interior	250 x 500	4 D 17	2 D 17	Φ10 - 75
Balok Induk Eksterior	250 x 500	4 D 14	2 D 16	Φ10 - 75

Tabel 3. Dimensi Kolom Interior, Eksterior, dan Corner Bangunan 1 dan 2

Lantai	Kolom Bangunan 1			Kolom Bangunan 2			Sengkang
	Interior	Eksterior	Corner	Interior	Eksterior	Corner	
1	600 x 600	500 x 500	400 x 400	600 x 600	500 x 500	400 x 400	3D10-75
2	600 x 600	500 x 500	400 x 400	600 x 600	500 x 500	400 x 400	3D10-75
3	600 x 600	500 x 500	400 x 400	520 x 520	450 x 450	360 x 360	3D10-75
4	600 x 600	500 x 500	400 x 400	520 x 520	450 x 450	360 x 360	3D10-75
5	500 x 500	400 x 400	350 x 350	460 x 460	400 x 400	350 x 350	3D10-75
6	500 x 500	400 x 400	350 x 350	460 x 460	400 x 400	350 x 350	3D10-75
7	500 x 500	400 x 400	350 x 350	360 x 360	360 x 360	340 x 340	3D10-75
8	450 x 450	400 x 400	350 x 350	355 x 355	360 x 360	340 x 340	3D10-75
9	450 x 450	400 x 400	350 x 350	350 x 350	325 x 325	320 x 320	3D10-75
10	450 x 450	400 x 400	350 x 350	350 x 350	325 x 325	320 x 320	3D10-75

8. ANALISA DAN HASIL

Pada bangunan 1, Metode SSSA dan *Modified SSSA* memiliki performa yang mirip. Dapat dilihat dari **Tabel 4**, kedua metode ini memberikan hasil terbaik dalam mengurangi kerusakan bangunan pada langkah ke 9. Kedua metode juga memiliki jumlah kolom yang belum rusak yang sama, yaitu sebanyak 264 titik kolom. Oleh karena itu, digunakan 9 buah *damper* dengan pemasangan secara *Uniform* sebagai pembanding efektivitas ketiga metode tersebut dalam mengurangi jumlah sendi plastis. Di samping itu, *Proposed Method* memiliki performa yang sangat buruk dalam memperbaiki sendi plastis dan *interstory drift*. Pada *Proposed Method* langkah ke 10, jumlah sendi plastis kolom masih mirip dengan kondisi bangunan tanpa *damper* (*Bare*).

Tabel 4. Sendi Plastis Kolom dari Penerapan Metode SSSA, *Modified SSSA Proposed Method, Bare Frame dan Uniform* pada Bangunan 1

KOLOM										
Model 1 Portal Luar	A-B	B-IO (pink)	IO-LS (blue)	LS-CP (tosca)	CP-C (green)	>C	Total	Plastic Hinges %	Average Damage Index %	
Bare	224	96	0	0	0	0	320	30.00	5.00	B-IO
SSSA 1	232	88	0	0	0	0	320	27.50	5.00	B-IO
SSSA 2	244	76	0	0	0	0	320	23.75	5.00	B-IO
SSSA 3	238	82	0	0	0	0	320	25.63	5.00	B-IO
SSSA 4	232	88	0	0	0	0	320	27.50	5.00	B-IO
SSSA 5	226	94	0	0	0	0	320	29.38	5.00	B-IO
SSSA 6	244	76	0	0	0	0	320	23.75	5.00	B-IO
SSSA 7	256	64	0	0	0	0	320	20.00	5.00	B-IO
SSSA 8	262	58	0	0	0	0	320	18.13	5.00	B-IO
SSSA 9	264	56	0	0	0	0	320	17.50	5.00	B-IO
SSSA 10	260	60	0	0	0	0	320	18.75	5.00	B-IO
SM 1	230	90	0	0	0	0	320	28.13	5.00	B-IO
SM 2	246	74	0	0	0	0	320	23.13	5.00	B-IO
SM 3	246	74	0	0	0	0	320	23.13	5.00	B-IO
SM 4	244	76	0	0	0	0	320	23.75	5.00	B-IO
SM 5	246	74	0	0	0	0	320	23.13	5.00	B-IO
SM 6	236	84	0	0	0	0	320	26.25	5.00	B-IO
SM 7	266	54	0	0	0	0	320	16.88	5.00	B-IO
SM 8	266	54	0	0	0	0	320	16.88	5.00	B-IO
SM 9	264	56	0	0	0	0	320	17.50	5.00	B-IO
SM 10	276	44	0	0	0	0	320	13.75	5.00	B-IO
Uniform 9	254	66	0	0	0	0	320	20.63	5.00	B-IO
PM 1	226	94	0	0	0	0	320	29.38	5.00	B-IO
PM 2	246	74	0	0	0	0	320	23.13	5.00	B-IO
PM 3	244	76	0	0	0	0	320	23.75	5.00	B-IO
PM 4	236	84	0	0	0	0	320	26.25	5.00	B-IO
PM 5	238	82	0	0	0	0	320	25.63	5.00	B-IO
PM 6	234	86	0	0	0	0	320	26.88	5.00	B-IO
PM 7	234	82	4	0	0	0	320	26.88	5.58	B-IO
PM 8	236	80	4	0	0	0	320	26.25	5.60	B-IO
PM 9	222	94	4	0	0	0	320	30.63	5.51	B-IO
PM 10	218	102	0	0	0	0	320	31.88	5.00	B-IO

Karena struktur telah didesain dengan konsep *strong column weak beam* maka sendi plastis pada balok tidak diperhatikan. Oleh karena itu, tabel kerusakan balok tidak perlu ditampilkan. Pada **Tabel 5**, dapat dilihat besar *interstory drift* rata-rata dan maksimal dari setiap langkah metode penempatan *dampers*. Akibat performa *Proposed Method* yang buruk dalam mengurangi sendi plastis, maka *interstory drift* pada langkah ke 10 pun masih besar dan belum memenuhi persyaratan yang ada pada SNI (lebih dari 80 mm). Metode SSSA dan *Modified SSSA* memiliki besar *interstory drift* yang mirip. Namun, pada bangunan 1, metode *Modified SSSA* memiliki nilai *interstory drift* yang lebih kecil. Oleh karena itu, metode *Modified SSSA* merupakan metode yang paling efektif untuk mengurangi kerusakan dan *interstory drift* bangunan 1.

Tabel 5. Perbandingan Maximum dan Average Interstory Drift dari Penerapan Metode SSSA, Modified SSSA Proposed Method, Bare Frame dan Uniform pada Bangunan 1

STEP	MAX Int Drift	Average Int Drift	STEP	MAX Int Drift	Average Int Drift	STEP	MAX Int Drift	AVERAGE Int Drift (mm)
Bare	86.36	61.76	Uniform 9	75.43	57.63			
SSSA 1	87.11	59.91	SM 1	80.85	61.10	PM 1	86.00	60.17
SSSA 2	77.93	58.01	SM 2	77.62	58.32	PM 2	86.45	59.41
SSSA 3	78.19	57.48	SM 3	67.84	58.64	PM 3	91.56	60.80
SSSA 4	77.56	55.61	SM 4	62.60	55.93	PM 4	88.45	58.66
SSSA 5	73.36	53.44	SM 5	64.26	55.21	PM 5	76.48	56.01
SSSA 6	73.08	51.53	SM 6	73.81	58.36	PM 6	80.26	56.77
SSSA 7	64.91	51.18	SM 7	62.76	55.72	PM 7	81.00	57.50
SSSA 8	64.46	50.21	SM 8	59.57	53.14	PM 8	89.02	59.38
SSSA 9	64.99	50.14	SM 9	61.79	54.42	PM 9	96.09	59.53
SSSA 10	67.68	51.28	SM 10	66.12	55.64	PM 10	90.07	59.14

Pada bangunan 2, *Proposed Method* tidak dijalankan karena hasilnya tidak menjawab permasalahan pada bangunan sebelumnya. Pada **Tabel 6**, Metode SSSA dan *Modified SSSA* memiliki performa yang mirip. Kedua metode ini memberikan hasil terbaik pada langkah ke 7. Oleh karena itu, digunakan 7 buah *dampers* dengan pemasangan secara *Uniform* sebagai pembanding efektivitas kedua metode tersebut dalam mengurangi jumlah sendi plastis. Metode SSSA memiliki jumlah titik kolom yang belum rusak yaitu 162 titik kolom atau 2 lebih sedikit dari metode *Modified SSSA*.

Pada **Tabel 7** dapat dilihat besar *interstory drift* rata-rata dan maksimal dari setiap langkah metode penempatan *dampers*. Metode SSSA dan *Modified SSSA* memiliki besar *interstory drift* yang mirip. Namun, pada bangunan 2, metode *Modified SSSA* memiliki nilai *average interstory drift* yang lebih kecil. Pada metode *uniform*, lantai 8, lantai 9, dan lantai 10 memiliki nilai *interstory drift* yang sangat besar. Hal ini diakibatkan oleh pemasangan *dampers* lantai 1 sampai lantai 7 saja sehingga lantai-lantai tersebut menjadi kaku. Akibatnya lantai 8, lantai 9, dan lantai 10 yang tidak diberi *dampers* mengalami kerusakan yang parah. Oleh karena itu, untuk bangunan 2, metode *Modified SSSA* lebih efektif untuk memperbaiki kerusakan dan *interstory drift* bangunan. Dapat dilihat dari jumlah sendi plastis yang tidak mengalami kerusakan yaitu 164 titik dan nilai maksimum *interstory drift* yang paling kecil dibandingkan metode-metode lainnya yaitu 70,55 mm.

Tabel 6. Sendi Plastik Kolom dari Penerapan Metode SSSA, Modified SSSA Proposed Method, Bare Frame dan Uniform pada Bangunan 2

KOLOM										
Model 1 Portal Luar	A-B	B-IO (pink)	IO-LS (blue)	LS-CP (tosca)	CP-C (green)	>C	Total	Plastic Hinges %	Average Damage Index %	
Bare	134	156	30	0	0	0	320	58.13	7.02	B-IO
SSSA 1	138	148	34	0	0	0	320	56.88	7.34	B-IO
SSSA 2	150	130	40	0	0	0	320	53.13	7.94	B-IO
SSSA 3	168	114	38	0	0	0	320	47.50	8.13	B-IO
SSSA 4	154	152	14	0	0	0	320	51.88	6.05	B-IO
SSSA 5	146	156	18	0	0	0	320	54.38	6.29	B-IO
SSSA 6	134	176	10	0	0	0	320	58.13	5.67	B-IO
SSSA 7	162	148	10	0	0	0	320	49.38	5.79	B-IO
SSSA 8	148	152	20	0	0	0	320	53.75	6.45	B-IO
SSSA 9	172	130	18	0	0	0	320	46.25	6.52	B-IO
SSSA 10	176	128	16	0	0	0	320	45.00	6.39	B-IO
SM 1	142	144	34	0	0	0	320	55.63	7.39	B-IO
SM 2	148	132	40	0	0	0	320	53.75	7.91	B-IO
SM 3	170	112	38	0	0	0	320	46.88	8.17	B-IO
SM 4	158	148	14	0	0	0	320	50.63	6.08	B-IO
SM 5	148	154	18	0	0	0	320	53.75	6.31	B-IO
SM 6	136	174	10	0	0	0	320	57.50	5.68	B-IO
SM 7	164	146	10	0	0	0	320	48.75	5.80	B-IO
SM 8	164	136	20	0	0	0	320	48.75	6.60	B-IO
SM 9	174	128	18	0	0	0	320	45.63	6.54	B-IO
SM 10	176	128	16	0	0	0	320	45.00	6.39	B-IO
Uniform 7	146	104	42	26	2	0	320	54.38	12.87	IO-LS

Tabel 7. Perbandingan Maximum dan Average Interstory Drift dari Penerapan Metode SSSA, Modified SSSA Proposed Method, Bare Frame dan Uniform pada Bangunan 2

STEP	MAX Int Drift (mm)	Average Int Drift (mm)	STEP	MAX Int Drift (mm)	Average Int Drift (mm)
Bare	111.13	63.51	Uniform 7	170.73	74.84
SSSA 1	99.93	62.61	SM 1	99.44	62.54
SSSA 2	99.31	59.52	SM 2	81.44	59.30
SSSA 3	97.33	57.32	SM 3	93.84	59.71
SSSA 4	78.56	55.07	SM 4	79.09	55.70
SSSA 5	83.99	54.66	SM 5	71.51	54.62
SSSA 6	71.55	54.65	SM 6	68.33	55.38
SSSA 7	74.99	53.67	SM 7	70.56	54.94
SSSA 8	75.30	53.29	SM 8	67.59	57.12
SSSA 9	78.09	51.30	SM 9	65.34	54.67
SSSA 10	77.10	52.00	SM 10	66.36	55.22

Perlu diperhatikan juga bahwa pemberian *dampers* akan menambah kekakuan bangunan. Pada **Tabel 8** terlihat bahwa *story shear* dari bangunan 2 akan menjadi lebih besar setelah diberi *dampers* akibat bertambahnya kekakuan bangunan. Oleh karena itu, perlu diperiksa juga kapasitas *base shear* dari

bangunan eksisting, apakah masih mampu menahan tambahan gaya yang terjadi akibat pemberian *damper*.

Tabel 8. Perbandingan Batang *Virtual Shear* dan *Column Shear* dari Penerapan Metode Optimal SSSA, *Modified SSSA*, *Proposed Method*, *Bare Frame* dan *Uniform* pada Bangunan 2

Bare		SSSA - Step 7			SM - Step 7			Uniform 7		
Lt	Column Shear (kN)	Lt	BV Shear (kN)	Column Shear (kN)	Lt	BV Shear (kN)	Column Shear (kN)	Lt	BV Shear (kN)	Column Shear (kN)
1	2592.46	1	0	3019.55	1	0	2981.80	1	1527.12	2105.81
2	2570.94	2	0	2705.44	2	0	2797.33	2	707.16	2778.95
3	2423.24	3	0	2576.71	3	0	2751.21	3	838.06	2507.32
4	2072.81	4	0	2698.02	4	850.58	2148.89	4	752.72	2173.25
5	1919.10	5	878.20	1562.78	5	784.43	1685.79	5	994.17	1969.51
6	1746.39	6	903.23	1728.03	6	869.91	1642.95	6	965.82	1388.28
7	1502.71	7	1525.96	735.86	7	1506.27	886.23	7	986.23	1144.34
8	1267.42	8	724.65	1168.51	8	755.65	1143.52	8	0	1380.42
9	889.01	9	786.62	847.16	9	831.53	849.08	9	0	919.78
10	1009.61	10	318.53	798.36	10	0	992.12	10	0	982.47

9. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada bangunan 1 dan 2, didapatkan beberapa kesimpulan:

1. Metode SSSA dan *Modified SSSA* memiliki performa yang hampir sama, namun metode *Modified SSSA* memberikan hasil yang sedikit lebih baik dalam memperbaiki sendi plastis dan *interstory drift*
2. Metode SSSA dan *Modified SSSA* memiliki performa yang lebih baik dalam memperbaiki sendi plastis dan *interstory drift* dibandingkan metode Uniform.
3. *Proposed Method* memiliki performa yang buruk dalam memperbaiki sendi plastis dan *interstory drift*. Hal ini dapat dilihat dari belum terpenuhinya syarat *interstory drift* SNI dan masih banyaknya jumlah sendi plastis yang terjadi pada langkah *Proposed Method* ke 10.
4. Pemberian *damper* mengakibatkan bertambahnya kekakuan pada bangunan. Hal ini mengakibatkan nilai *story shear* dari bangunan juga bertambah.

10. DAFTAR REFERENSI

- ACMC. (2001). *Asian Concrete Model Code Level 1&2 Documents*. Tokyo: Author.
- 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 Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Non Gedung*, SNI 1726-2012. Badan Standarisasi 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*. Chai Wan, Hongkong: VSL Hongkong Limited.
- Whittle, J.K. (2011). *Strategic Placement of Viscous Dampers for Seismic Structural Design*. University of Oxford, Oxford, United Kingdom.