

PERFORMA DAN EFISIENSI BEBERAPA METODE PENEMPATAN VSL GENSUI DAMPER DALAM MENGURANGI *INTERSTORY DRIFT* DAN MEMPERBAIKI KERUSAKAN SENDI PLASTIS

Jessica Chandra Sutanto¹, Natasha Angelia², Pamuda Pudjisuryadi³ and Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK : Perkuatan struktur perlu dilakukan pada bangunan yang masih defisien desainnya. Salah satu jenis perkuatan yang dapat diberikan adalah dengan menggunakan *dampers*. Penempatan *dampers* secara seragam tidak selalu optimal. Oleh karena itu, diperlukan metode penempatan untuk efisiensi pengurangan *interstory drift* dan jumlah *dampers*. Pada penelitian ini, dibandingkan performa dan efisiensi beberapa metode penempatan *dampers* antara lain: *Uniform*, *Simplified Sequential Search Algorithm-Modified* (SSSAmod), *Optimum Damper Allocation Method* (ODAM), *Fully Stressed Analysis/Redesign Procedure* (Lavan A/R), dan *Proposed Method* (PM) pada bangunan uji. Dalam penelitian ini, digunakan salah satu *wall-type damper*, yaitu VSL Gensui *Damper*. Perbandingan akan dilihat dari dua indikator penelitian, yaitu *interstory drift* dan kerusakan sendi plastis. Selain itu, indikator penempatan *dampers* menggunakan *interstory drift* maupun *normalized interstory drift*, tergantung pada metode yang digunakan. Dalam menganalisis bangunan uji, digunakan analisis riwayat waktu integrasi langsung nonlinear dengan beban gempa periode ulang 2500 tahun yang disesuaikan dengan respons spektrum Kota Surabaya. Dapat disimpulkan dari penelitian ini bahwa metode yang menggunakan indikator penempatan *interstory drift* mayoritas memperbaiki simpangan pada lantai dengan tingkat lunak, sedangkan metode dengan indikator penempatan yang ternormalisasi lebih dapat memperbaiki *interstory drift* secara menyeluruh. Dari kelima metode penempatan *dampers*, tidak ada satupun yang unggul dalam memperbaiki kerusakan sendi plastis.

KATA KUNCI: metode penempatan *dampers*, *simplified sequential search algorithm-modified*, *optimum damper allocation method*, *fully stressed analysis/redesign procedure*, riwayat waktu integrasi langsung nonlinier, VSL Gensui *dampers*

1. PENDAHULUAN

Dalam perencanaan bangunan tinggi di Indonesia, beban dinamis utama yang harus dipertimbangkan adalah beban gempa. Hal ini dikarenakan letak Indonesia yang berada di atas batas pertemuan tiga lempeng tektonik besar yang aktif yaitu, Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia (Pasau & Tanauma, 2011). Perkuatan perlu dilakukan pada perencanaan bangunan yang desainnya masih defisien terhadap gempa. Pada penelitian ini digunakan salah satu jenis *wall/brace type damper* yaitu VSL Gensui *Damper* yang menggunakan material berupa *viscoelastic high damping rubber* untuk menyerap energi. Konfigurasi penempatan *dampers* penting untuk efisiensi jumlah *dampers* yang dibutuhkan. Pemasangan *dampers* yang optimal dapat mengurangi total *damping* yang perlu ditambahkan dan menghemat biaya (Garcia, 2001). Oleh karena itu, metode perletakan *dampers* dibutuhkan. Beberapa metode tersebut antara lain metode *Uniform*, *Simplified Sequential Search Algorithm* (SSSA) yang dikembangkan oleh Garcia (2001), *Fully-Stressed Analysis / Redesign Procedure* (Lavan A/R method) oleh Lavan & Levy (2006), *Optimum Damper Allocation Method* (ODAM) oleh Leu & Chang (2011), dan *Simplified Sequential Search Algorithm modification* (SSSAmod) dari penelitian sebelumnya oleh Angkasaputra & Sebastiano (2018).

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21416155@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21416121@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

Pada penelitian sebelumnya, ketika ketidakberaturan vertikal tingkat lunak diteliti, ditemukan permasalahan baru yaitu adanya ketidakcocokan antara pola perbaikan *interstory drift* dan kerusakan sendi plastis. Karena penelitian sebelumnya menggunakan indikator *interstory drift* saja, maka pada penelitian ini digunakan indikator *interstory drift* yang dinormalisasi dengan simpangan ijinnya. Dengan menormalisasi indikator, perbedaan tinggi tingkat ikut menjadi pertimbangan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Metode *Uniform*

Metode *Uniform* adalah metode yang menempatkan *dampers* dengan jumlah yang seragam disetiap lantai. Metode ini digunakan untuk mengawali metode ODAM dan Lavan A/R.

2.2. Metode *Simplified Sequential Search Algorithm- Modified (SSSAmod)*

SSSAmod (Angkasaputra & Sebastiano, 2018) adalah salah satu metode untuk optimasi konfigurasi *dampers*, yang merupakan modifikasi dari SSSA (Garcia, 2001). Berbeda dengan SSSA, indeks lokasi optimal (γ_i) pada SSSAmod hanya menggunakan *interstory drift* tertinggi (δ_i) sebagai parameter tanpa melihat parameter *interstory velocity* ($\dot{\delta}_i$). Sebagai metode yang *displacement dependent*, SSSAmod menggunakan koefisien *interstory drift* (α_1) satu dan *interstory velocity* (α_2) nol. Persamaan 1 merupakan rumus dari γ_i yang digunakan dalam metode SSSA, sedangkan Persamaan 2. merupakan rumus γ_i untuk metode SSSAmod.

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

$$\gamma_i = \delta_i \quad (2)$$

2.3. Metode *Optimum Damper Allocation Method (ODAM)*

Sama halnya dengan metode SSSAmod, pada metode relokasi *dampers* ODAM (Leu & Chang, 2011) menggunakan satu parameter saja, yaitu *interstory drift*. Perbedaannya ada pada langkah penempatan *dampers*, dimana langkah awal metode ODAM sama seperti metode *Uniform*, dimana semua *dampers* dipasang terlebih dahulu secara seragam, yaitu satu *dampers* pada tiap lantai. Kemudian dilanjutkan dengan perpindahan *dampers* dari lantai dengan *interstory drift* terkecil ke lantai dengan *interstory drift* terbesar.

2.4. Metode *Fully Stressed Analysis / Redesign Procedure (Lavan A/R)*

Metode Lavan A/R merupakan suatu metode penempatan *dampers* dimana indeks performa lokal pada lantai ke-i (pi_i) dari bangunan dinormalisasi dengan *allowable value* atau nilai yang diijinkan sehingga indeks performa lokal menjadi *fully-stressed* (Lavan & Levy, 2006). Dalam penelitian Lavan & Levy (2006), indeks performa lokal yang dipilih menjadi indikator adalah *interstory drift* yang juga akan dipakai pada penelitian ini. Nilai yang dinormalisasi dapat dihitung dengan Persamaan 3 dengan menggunakan simpangan ijin yang dapat dilihat pada Persamaan 4. Langkah-langkah penempatan *dampers* pada metode Lavan A/R serupa dengan pada metode ODAM.

$$pi_i = \max \left(\frac{|d_i(t)|}{d_{all,i}} \right) \quad (3)$$

$$d_{all} = 0.02h_{sx} \quad (4)$$

Dimana $d_i(t)$ adalah *interstory drift* pada lantai ke-i pada *time step* t, $d_{all,i}$ adalah *allowable interstory drift* pada lantai ke-i, sedangkan h_{sx} adalah tinggi tingkat.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Bangunan Uji

Bangunan Uji (BU) didesain masing-masing 10 lantai dengan persyaratan SNI 1726:2012. BU dibuat dengan satu lantai dengan ketidakberaturan vertikal tingkat lunak pada lantai pertama. Dalam

analisisnya, digunakan *non-linear direct integration time history analysis* dengan beban gempa *El Centro* yang disesuaikan dengan respons spektrum kota Surabaya. Analisis dilakukan menggunakan SAP2000 v18.2.

3.2. Metode – Metode Penempatan

Pada setiap bangunan diterapkan lima metode penempatan, yaitu *Uniform*, SSSAmod, ODAM, Lavan A/R, dan *Proposed Method* (PM). PM adalah metode yang diusulkan pada penelitian ini sebagai pembandingan bagi metode SSSAmod, karena satu-satunya pembeda adalah indikator yang digunakan yaitu *interstory drift* ternormalisasi. Dalam **Tabel 1** diberikan komparasi indikator dan skema penempatan untuk setiap metode.

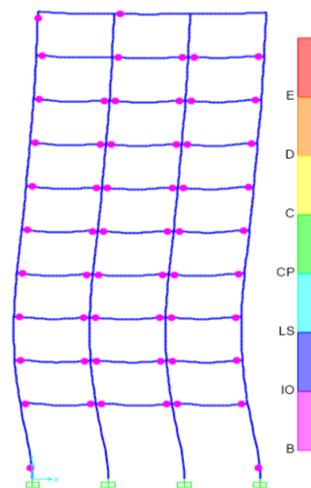
Tabel 1. Komparasi Indikator dan Skema Penempatan Kelima Metode

Metode	Indikator	Skema Penempatan
SSSAmod	<i>Interstory drift</i> saja	Menambahkan <i>damper</i> satu per satu
PM	<i>Interstory drift ternormalisasi</i>	Menambahkan <i>damper</i> satu per satu
ODAM	<i>Interstory drift</i> saja	Memasangkan n <i>damper</i> , Memindahkan <i>damper</i> satu per satu
Lavan A/R	<i>Interstory drift ternormalisasi</i>	Memasangkan n <i>damper</i> , Memindahkan <i>damper</i> satu per satu
<i>Uniform</i>	n/a	Memasangkan n <i>damper</i>

Untuk jumlah *damper* yang digunakan adalah 10, sama dengan jumlah lantai. Iterasi untuk setiap metode (kecuali *Uniform*) diterminasi setelah 10 *damper* dipasang atau dipindah. Terminasi juga dilakukan apabila pemindahan *damper* telah konvergen atau kembali seperti langkah sebelumnya untuk ODAM dan Lavan A/R.

3.3. Damage Index

Damage index pada penelitian ini dihitung berdasarkan *performance level* dari *Asian Concrete Model Code* (ACMC). Angka *damage index* merupakan persentase diantara *first yield* (titik B) sampai *ultimate yield* (titik C), dimana titik B merupakan 0 dan titik C sebagai 100%. *Immediate Occupancy* (IO) adalah sebesar 10%, LS sebesar 25%, dan *Collapse Prevention* sebesar 40%. Sehingga *range* B-IO adalah 0-10%, IO-LS adalah 10-25%, LS to CP adalah 25-40%, dan CP-C adalah 40-100%. Jumlah sendi plastis yang termasuk dalam setiap *range performance level* ditampilkan oleh SAP2000 dengan warna yang berbeda, seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Kerusakan Sendi Plastis pada SAP2000

Nilai yang diambil sebagai nilai dalam perhitungan adalah nilai tengah dari masing-masing *range*, contohnya B-IO sebesar 5%, IO-LS sebesar 17.5%, dan seterusnya. Perhitungan *damage index* ditunjukkan pada Persamaan 5.

$$Damage\ Index = \frac{(A-B) \times 0 + (B-IO) \times 5 + (IO-LS) \times 17.5 + (LS-CP) \times 32.5 + (CP-C) \times 70}{(A-B) + (B-IO) + (IO-LS) + (LS-CP) + (CP-C)} \quad (5)$$

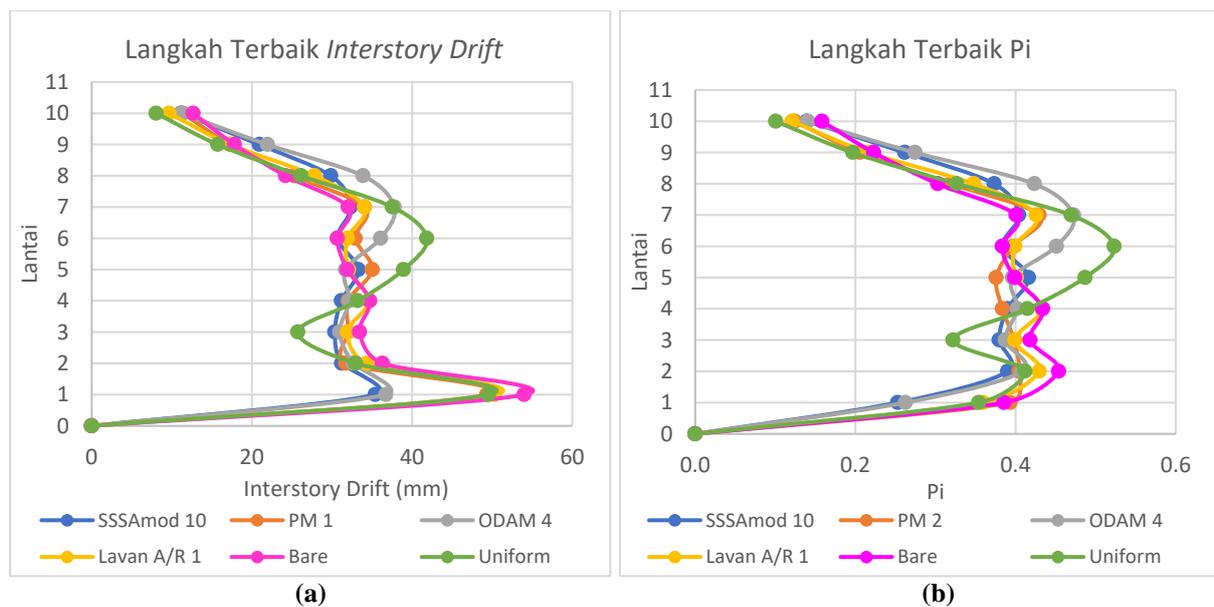
4. HASIL DAN ANALISIS

Penempatan dan pemindahan *damper* masing-masing metode dapat dilihat pada **Tabel 2**. Pada BU, SSSAmod dan PM mencapai langkah ke-10, sedangkan ODAM dan Lavan A/R hanya sampai langkah keenam.

Tabel 2. Urutan Penempatan Damper

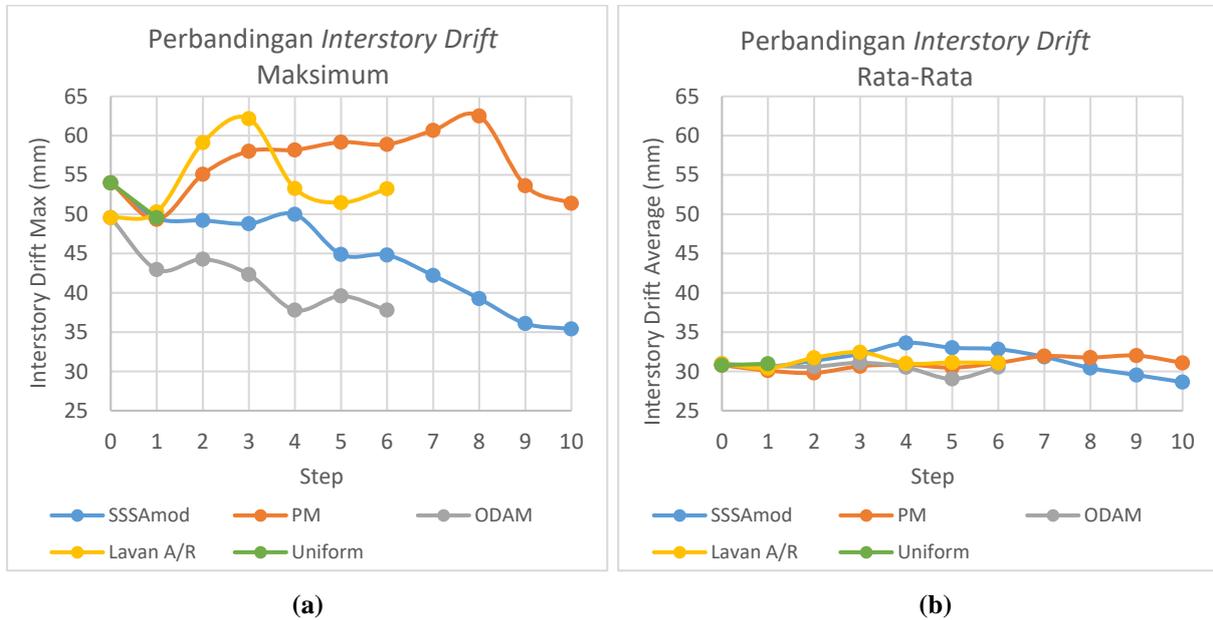
	SSSAmod	PM	ODAM	Lavan A/R
<i>Bare/Uniform</i>	Lt 1	Lt 2	Lt 10 ke Lt 1	Lt 10 ke Lt 6
Step 1	Lt 1	Lt 5	Lt 9 ke Lt 1	Lt 9 ke Lt 4
Step 2	Lt 1	Lt 7	Lt 8 ke Lt 1	Lt 8 ke Lt 2
Step 3	Lt 1	Lt 6	Lt 2 ke Lt 1	Lt 4 ke Lt 7
Step 4	Lt 6	Lt 4	Lt 3 ke Lt 7	Lt 3 ke Lt 5
Step 5	Lt 1	Lt 6	Lt 7 ke Lt 3	Lt 5 ke Lt 3
Step 6	Lt 6	Lt 2	-	-
Step 7	Lt 7	Lt 5	-	-
Step 8	Lt 4	Lt 1	-	-
Step 9	Lt 3	Lt 7	-	-
Step 10	-	-	-	-

Untuk setiap metode, diambil langkah terbaik berdasarkan *interstory drift*, π_i (*interstory drift* ternormalisasi), dan *damage index* maksimum terkecil. Artinya dari masing-masing langkah, diambil nilai terbesar dari semua lantai, kemudian dari nilai-nilai tersebut diambil satu nilai yang paling kecil sebagai langkah terbaik. Dalam **Gambar 2a** diberikan perbandingan *interstory drift* langkah terbaik, sedangkan untuk π_i diberikan pada **Gambar 2b**.

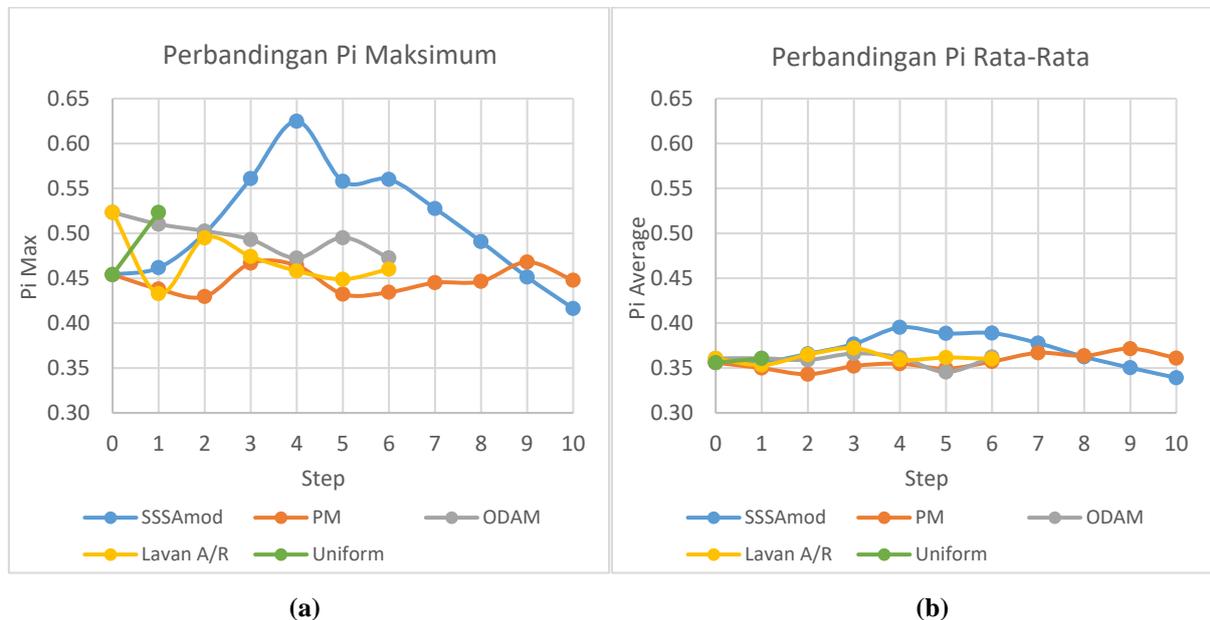


Gambar 2. Perbandingan Langkah Terbaik Berdasarkan (a) *Interstory Drift* dan (b) π_i

Meskipun *interstory drift* tingkat lunak pada *bare model*, *Uniform*, dan *Lavan A/R* terlihat ekstrem, namun bila dilihat dari pi tidak terlalu ekstrem, karena tinggi tingkat lantai satu yang lebih tinggi dari yang lain. Pada tingkat lunak, SSSAmod terlihat menghasilkan *interstory drift* dan pi yang terkecil. Selain langkah terbaik, perkembangan nilai terbesar dan rata-rata, baik untuk *interstory drift* maupun pi tiap langkah dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 3. Perbandingan Pengurangan Interstory Drift (a) Maksimum dan (b) Rata-rata



Gambar 4. Perbandingan Pengurangan Pi (a) Maksimum dan (b) Rata-rata Semua Metode

SSSAmod memiliki kecenderungan pengurangan terbaik meskipun ada pengecualian pada langkah empat yang selalu buruk. ODAM juga memiliki pengurangan yang cukup baik, meskipun tidak sebaik SSSAmod. PM dan Lavan A/R tidak mampu mengurangi terlalu banyak bahkan Lavan A/R menghasilkan *interstory drift* maksimum yang memburuk.

Pada **Tabel 3** ditampilkan persentase *damage index* langkah terbaik setiap metode. Berdasarkan tabel tersebut, hanya metode PM yang tidak mampu mengurangi *damage index* maksimum dari *bare frame*. Semua metode mampu mengurangi rata-rata *damage index* bila dibandingkan dengan *bare frame*. Namun bila dilihat dari nilai maksimum, hanya metode SSSAmod dan ODAM yang efisien dalam mengurangi *damage index*.

Tabel 3. Perbandingan Damage Index Langkah Terbaik

Damage Index (%)						
Lantai	<i>Bare</i>	<i>Uniform</i>	SSSAmod 2	PM 3	ODAM 4	Lavan A/R 1
1	0.835	0.78	0.675	0.835	0.625	0.78
2	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
3	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
4	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
5	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
6	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
7	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
8	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
9	0.52	0.47	0.47	0.415	0.575	0.415
10	0.34	0.21	0.26	0.21	0.315	0.21
Max	0.835	0.78	0.675	0.835	0.625	0.78
Avg	0.607	0.584	0.578	0.584	0.589	0.578

Setelah dianalisis berdasarkan *interstory drift*, π_i , dan *damage index*, maka dibuatlah perbandingan *rank* untuk masing-masing indikator pada **Tabel 4**. *Rank* dibedakan menjadi dua yaitu maksimum dan rata-rata. Metode *bare model* selalu menghasilkan yang menghasilkan *rank* yang buruk untuk setiap indikator meskipun tidak selalu yang paling buruk. Sebaliknya penerapan metode SSSAmod pada BU cenderung menghasilkan *rank* terbaik dengan pengecualian pada *rank damage index* maksimum yang masih cukup baik. Angka yang sama menunjukkan bahwa ada dua metode yang menghasilkan nilai yang sama.

Tabel 4. Perbandingan Rank Interstory Drift, π_i , Damage Index pada BU

Rank						
Metode	<i>Interstory Drift</i>		π_i		<i>Damage Index</i>	
	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg
<i>Bare</i>	6	5	4	4	5	6
<i>Uniform</i>	4	6	6	5	3	3
SSSAmod	1	1	1	1	2	1
PM	3	2	2	2	5	3
ODAM	2	4	5	6	1	5
Lavan A/R	5	3	3	3	3	2

Note: = metode yang menggunakan indikator *interstory drift*

= metode yang menggunakan indikator π_i

5. KESIMPULAN

1. Metode SSSAmoD yang paling baik dan konsisten dalam mengurangi interstory drift dan π , baik pada lantai yang memiliki soft story maupun secara keseluruhan atau rata-rata, meskipun π bukan indikator yang digunakan dalam metode ini. Performanya dalam memperbaiki kerusakan sendi plastis juga cukup baik meskipun *damage index* maksimumnya bukan yang paling baik.
2. Metode lainnya yang cukup baik dalam mengurangi indikatornya dan kerusakan sendi plastis adalah Lavan A/R. Namun *interstory drift* maksimumnya menjadi kedua terburuk.
3. Metode ODAM dan Lavan A/R yang diawali dengan meletakkan damper secara seragam memiliki jumlah langkah yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode SSSAmoD dan PM yang selalu mencapai 10 langkah.

6. DAFTAR REFERENSI

- ACMC. (2001). *Asian Concrete Model Code Level 1&2 Documents*. Tokyo: Author.
- Angkasaputra, K., & Sebastiano, F. (2018). *Perbandingan Pengaruh Metode Penempatan Damper Terhadap Kinerja Seismik Struktur*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2002*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Garcia, D. L. (2001). "A Simple Method for the Design of Optimal Damper Configurations in MDOF Structures."
- Lavan, R., & Levy, O. (2006). "Fully Stressed Design of Passive Controllers in Framed Structures for Seismic Loadings." 485–486, <<https://doi.org/10.1007/s00158-005-0558-5>> (Juli 17,2019)
- Leu, L. J., & Chang, J. T. (2011). "Optimal Allocation of Non-Linear Viscous Dampers for Three-Dimensional Building Structures." *Procedia Engineering*, 14, 2489–2497, <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.313>> (Juli 17,2019)
- Pasau, G., & Tanauma, A. (2011). "Pemodelan Sumber Gempa di Wilayah Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi." *Jurnal Ilmiah Sains*, 202–209.