

# PERBANDINGAN METODE PENEMPATAN VSL GENSUI DAMPER TERHADAP KINERJA SEISMIK STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN KETIDAKBERATURAN VERTIKAL TINGKAT LUNAK

Edwin Andini<sup>1</sup>, Reynaldi Arvin Goenawan<sup>2</sup>, Pamuda Pudjisuryadi<sup>3</sup> dan Benjamin Lumantarna<sup>4</sup>

**ABSTRAK:** Dalam perkuatan sktruktur, penggunaan *damper* adalah satu metode yang terbukti efektif. Pada umumnya, *damper* dipasang pada setiap lantai bangunan, namun timbul pertanyaan tentang efisiensi metode penempatan *damper* tersebut sehingga perlu dilakukan strategi penempatan *damper* yang lebih efisien. Penelitian ini meninjau seberapa efektif metode optimasi penempatan damper yaitu metode *Uniform*, *Simplified Sequential Search Algorithm (SSSA)*, *Simplified Sequential Search Algorithm Modified (SSSAMod)*, dan *Optimum Damper Allocation Method (ODAM)* pada bangunan yang memiliki ketidakberaturan vertikal tingkat lunak. *Damper* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *damper nonlinear*, yaitu VSL Gensui *Damper*. Keempat metode tersebut diterapkan pada 2 jenis bangunan yang tidak beraturan secara vertikal dengan tinggi 10 lantai. Dilakukan analisis riwayat waktu nonlinier dengan beban percepatan gempa yang telah disesuaikan dengan respons spektrum Kota Surabaya dengan periode ulang 2500 tahun. Setelah dilakukan analisis, didapatkan bahwa keempat metode tersebut tidak dapat memperbaiki dua indikator yang diuji secara bersamaan. Metode SSSA kurang konsisten dalam memperbaiki indikator *interstory drift* dan kerusakan sendi plastis. Sedangkan Metode SSSAMod dan ODAAM menunjukkan hasil yang mirip, kedua metode tersebut lebih efektif dalam mengurangi *interstory drift*, namun tidak konsisten dalam perbaikan kerusakan sendi plastis. Metode *uniform*, menunjukkan hasil yang baik dalam perbaikan kerusakan sendi plastis namun kurang efektif dalam mengurangi *interstory drift*.

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

## 1. PENDAHULUAN

Dalam meningkatkan performa struktur, penggunaan *damper* merupakan salah satu metode yang sudah terbukti efektif untuk diterapkan. Pada umumnya, *damper* dipasang pada setiap lantai bangunan atau sering disebut dengan sebagai penempatan dengan metode *uniform*. Namun timbul pertanyaan mengenai efisiensi tiap *damper* yang terpasang di semua lantai secara merata, terlebih jika metode ini diterapkan pada bangunan yang memiliki ketidakberaturan. Maka dari itu, perlu dilakukan tinjauan lebih lanjut mengenai strategi penempatan *damper* agar dapat digunakan seefektif mungkin dan menghasilkan performa yang maksimal. Penelitian ini meninjau seberapa efektif beberapa metode optimasi penempatan *damper*, diantaranya metode *Uniform*, *Simplified Sequential Search Algorithm (SSSA)*, *Simplified Sequential Search Algorithm Modified (SSSAMod)*, dan *Optimum Damper Allocation Method (ODAM)* pada bangunan yang memiliki ketidakberaturan vertikal tingkat lunak. Metode tersebut akan diuji performanya pada dua bangunan 10 lantai yang memiliki ketidakberaturan vertikal tingkat lunak dengan jumlah dan lokasi yang berbeda. Desain kedua bangunan ini berdasarkan SNI 1726:2002 (Badan Standarisasi Nasional, 2002). Pengujian tersebut dilakukan dengan beban

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415210@john.petra.ac.id

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415236@john.petra.ac.id

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

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

percepatan gempa respons spektrum Kota Surabaya yang telah disesuaikan dengan SNI 1726:2012 (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

## 2. METODE SIMPLIFIED SEQUENTIAL SEARCH ALGORITHM

*Simplified Sequential Search Algorithm* atau dapat disingkat menjadi SSSA (Garcia, 2001) adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk menentukan letak *dampers* paling optimal pada suatu gedung. Letak optimal yang dimaksud adalah lokasi dimana *dampers* tersebut menerima gaya paling besar. Gaya terbesar dapat ditentukan dengan mencari indeks lokasi optimal ( $\gamma_i$ ) yang paling besar pada gedung yang ditinjau, persamaan 1. Indeks lokasi optimal ( $\gamma_i$ ) adalah fungsi yang terdiri dari penjumlahan *interstory drift* ( $\delta_i$ ) dan *interstory velocity* ( $\dot{\delta}_i$ ) yang kemudian dikalikan dengan koefisiennya masing – masing, yaitu koefisien  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  yang besarnya tergantung dari jenis *dampers*.

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

Dalam penelitian ini digunakan *dampers viscoelastic*, yaitu VSL *Gensui Damper*. Material *viscoelastic* ini sendiri memiliki karakteristik *viscous* dan *elastic* pada saat mengalami deformasi. Oleh sebab itu, perlu diperhitungkan nilai  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  untuk penerapan metode SSSA. Nilai dari  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  diperoleh dengan menggunakan persamaan 2 dan 3. Dimana,  $\mu$  adalah *loss factor* dari *viscoelastic material* dan  $\omega$  adalah frekuensi struktur setelah diberikan *dampers*. Nilai dari *loss factor* pada *dampers* ini tergantung pada kualitas karet yang digunakan. *Dampers* yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari *gensui rubber* yang memiliki *loss factor* dengan nilai berkisar dari 0.5 sampai 0.63.

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

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

## 3. METODE SIMPLIFIED SEQUENTIAL SEARCH ALGORITHM – MODIFIED

*Simplified Sequential Search Algorithm-Modified* atau dapat disingkat menjadi SSSAmod (Angkasaputra, K. & Sebastiano, F., 2018) adalah metode yang merupakan modifikasi dari *Simplified Sequential Search Algorithm* atau SSSA (Garcia, 2001). Kedua metode ini memiliki tujuan yang sama yaitu untuk menentukan letak *dampers* paling optimal pada suatu gedung. Namun metode SSSAmod meletakkan *dampers* hanya pada *interstory drift* tertinggi ( $\delta_i$ ) tanpa melihat parameter *interstory velocity* ( $\dot{\delta}_i$ ) agar *dampers* mampu menerima gaya terbesar, mengingat bahwa VSL *Gensui Damper* adalah *dampers* dengan jenis *viscoelastic* yang bergantung kepada deformasi (Susanto, 2011). Dengan alasan yang telah disebutkan, meletakkan *dampers* pada *interstory drift* tertinggi sangatlah logis untuk dilakukan.

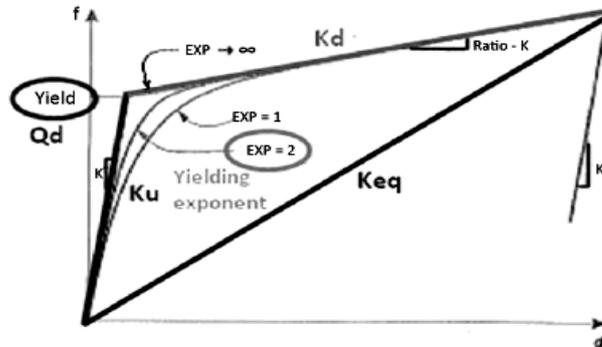
## 4. METODE OPTIMUM DAMPER ALLOCATION METHOD (ODAM)

*Optimum Damper Allocation Method* atau dapat disingkat menjadi ODAM (Leu & Chang, 2011) adalah salah satu metode optimasi dalam penempatan *dampers* pada struktur bangunan. Pada metode ini, *dampers* yang digunakan sebanyak dua kali jumlah lantai. Langkah awal metode ini adalah dengan menempatkan *dampers* sebanyak dua buah di tiap lantai secara *uniform*. Setelah itu, dilakukan relokasi *dampers* dari lantai dengan *interstory drift* terkecil ke lantai dengan *interstory drift* terbesar. Dalam tiap langkah proses relokasi *dampers*, hanya satu pasang *dampers* saja yang diperbolehkan untuk dipindah. Proses relokasi berakhir apabila nilai *interstory drift* stabil setelah beberapa langkah relokasi *dampers*.

## 5. VSL GENSUI DAMPER

Untuk menganalisis bangunan yang diperkuat dengan VSL *Gensui Damper*, dalam penelitian ini digunakan bantuan program komputer SAP2000. VSL *Gensui Damper* dimodelkan sebagai *Non-Linear Link* dengan tipe *Plastic (Wen)*. Program SAP2000 akan meminta beberapa data *input* berupa

properti untuk *Non-Linear Link* dengan nilai yang ditentukan dengan mengikuti petunjuk dalam panduan produk VSL *Gensui Damper* (Susanto, 2011). Properti *damper* dari VSL dan *input* yang diperlukan dalam program SAP 2000 dapat dilihat pada **Tabel 1**, adapun grafik hubungan beban dengan perpindahan (*force-displacement relation*) dari VSL *Gensui Damper* dapat dilihat pada **Gambar 1**.



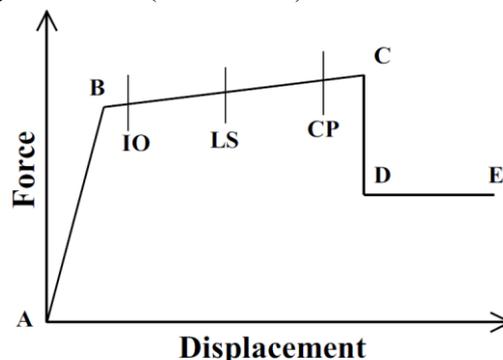
**Gambar 1.** Hubungan Beban dan Perpindahan VSL *Gensui Damper*

**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 Ratio</i>	$K_d/K_u$	-	-
<i>Yielding Exponent</i>	-	-	Bernilai 2 ( <i>bilinear damper property</i> )

## 6. PLASTIC HINGE PERFORMANCES LEVEL

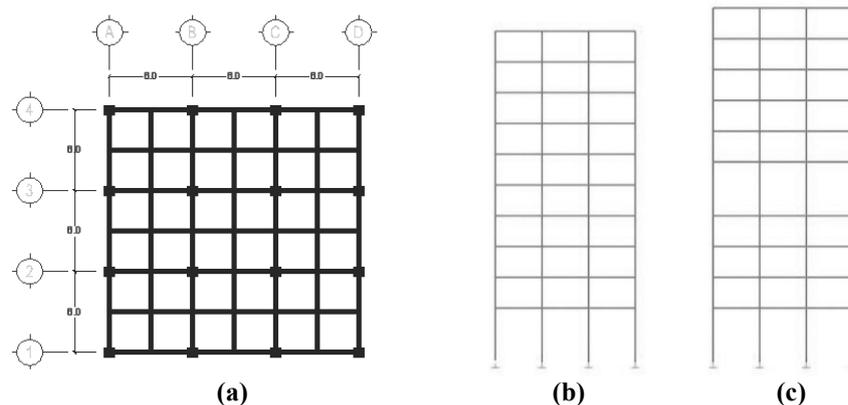
Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk menilai performa suatu bangunan adalah dengan melihat kerusakan sendi plastis yang terjadi pada bangunan tersebut. Pada penelitian ini, *force-displacement relation* maupun *acceptances criteria* yang dimodelkan pada elemen struktur disesuaikan dengan *modeling parameter* FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency, 2000), dengan skema yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. *Acceptance criteria* dari sendi plastis tersebut terdiri dari kategori *immediate occupancy* (IO), *life safety* (LS) dan *collapse prevention* (CP), disesuaikan dengan tabel yang terdapat pada FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency, 2000). Adapun titik median dari *acceptances criteria* tersebut berturut-turut adalah 11.25%, 50%, dan 100% yang semuanya dihitung dari titik C (*ductile limit*).



**Gambar 2.** *Force-Displacement* dan *Acceptance Criteria* Sesuai FEMA 356

## 7. PEMODELAN STRUKTUR

Dalam penelitian ini, diuji dua struktur bangunan 10 lantai dengan sistem rangka pemikul momen. Pada kedua struktur ini terdapat ketidakberaturan vertikal tingkat lunak dengan jumlah dan letak di lantai yang berbeda. Denah dan potongan struktur dari kedua bangunan ini dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dilakukan analisis riwayat waktu nonlinier dengan beban percepatan gempa *El Centro* arah N-S yang telah disesuaikan dengan respons spektrum Kota Surabaya dengan periode ulang 2500 tahun (MCE). Karena kedua bangunan yang diuji berbentuk simetris dalam arah X maupun Y, maka pembebanan dilakukan hanya pada satu arah.



**Gambar 3. (a) Denah Struktur Bangunan 1 – 2, (b) Potongan Struktur Bangunan 1, dan (c) Potongan Struktur Bangunan 2**

Pada kedua struktur tersebut, tinggi tipikal lantai adalah 4 meter kecuali lantai yang mengalami *soft story* yang memiliki tinggi lantai 7 meter. Kekakuan lantai *soft story* pada bangunan uji adalah 50% dari kekakuan lantai atasnya. Perbedaan bangunan 1 dan bangunan 2 adalah letak dan jumlah lantai yang mengalami *soft story*. Dimana, lantai *soft story* pada bangunan 1 hanya terdapat satu buah pada lantai pertama, sedangkan untuk bangunan 2 terdapat dua buah masing-masing pada lantai pertama dan kelima. Dalam desain kedua bangunan ini sendiri, digunakan konsep *strong column weak beam* dengan nilai dari *column/beam capacity ratio* di semua lantai pada kedua struktur ini bernilai lebih dari 1.2. *Capacity ratio* dari komponen kolom sendiri bernilai 0.5 – 0.7 untuk bangunan 1, dan 0.5 – 0.8 untuk bangunan 2.

Dalam proses menganalisis *non-linear behavior* dari struktur, diperlukan pemodelan *non-linear hinge* pada elemen-elemen struktur yang ditinjau. Penelitian ini dibatasi dengan hanya meninjau kerusakan sendi plastis lentur (M3 *hinge*) untuk elemen balok induk, dan lentur aksial (PMM *hinge*) untuk elemen kolom. Kapasitas geser dianggap cukup kuat sehingga sendi plastis geser tidak ditinjau. Adapun *force-displacement relation* serta *acceptance criteria* yang digunakan dalam analisis disesuaikan dengan tabel *modeling parameters and numerical acceptance criteria* yang terdapat dalam FEMA 356.

## 8. HASIL DAN ANALISIS

Pada kedua bangunan uji, *dampers* ditempatkan pada sisi luar portal secara berpasangan. Hal ini didasarkan pada penelitian sebelumnya (Angkasaputra & Sebastiano, 2018) yang menyimpulkan bahwa penempatan *dampers* pada portal luar memberikan hasil yang lebih baik dan efektif dibandingkan dengan menempatkan *dampers* di portal dalam. Kemudian, berdasarkan variabel tiap metode yang diuji, dilakukan penambahan *dampers* pada kedua bangunan. Penambahan *dampers* ini dilakukan hingga terpasang sebanyak 10 pasang *dampers* untuk metode SSSA dan SSSAmod. Sedangkan untuk metode ODAM, analisis dihentikan saat sudah mencapai langkah ke-10 dari metode

ini. Pada **Tabel 2** ditampilkan perkembangan langkah penempatan *damper* pada semua metode optimasi yang diuji.

**Tabel 2. Langkah Penempatan Damper Metode SSSA, SSSAmod, dan ODAM Semua Bangunan**

	Metode	Langkah Penempatan <i>Damper</i>
Bangunan 1	SSSA	9-6-6-1-6-1-10-1-1-5
	SSSAmod	1-1-5-1-4-1-7-4-1-1
	ODAM	10→1 - 9→1 - 8→1 - 2→4 - 7→1 - 6→7 - 3→1 - 7→4 - 4→6
Bangunan 2	SSSA	5-5-8-3-3-1-6-9-5-10
	SSSAmod	5-5-1-5-7-3-2-5-3-8
	ODAM	10→5 - 9→5 - 8→5 - 6→1 - 4→3 - 5→3 - 1→5 - 5→1 - 5→3

Dalam **Tabel 3** ditampilkan nilai dari dapat dilihat nilai *interstory drift* maksimum lantai yang mengalami *soft story*, *interstory drift* maksimum dari semua lantai, dan rata-rata *interstory drift* yang dihasilkan langkah terbaik semua metode optimasi. Ditemukan bahwa dalam memperbaiki *interstory drift*, terutama pada lantai yang mengalami *soft story*, metode SSSAmod dan ODAM menghasilkan nilai yang seragam. Kedua metode tersebut juga merupakan yang terbaik jika dibandingkan dengan SSSA maupun metode *Uniform*. Perlu diperhatikan juga bahwa pada bangunan 1 metode SSSA, SSSAmod dan ODAM, serta pada bangunan 2 metode SSSAmod dan ODAM, *interstory drift* terbesar bukan lagi ada pada lantai yang mengalami *soft story*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *damper* serta metode optimasinya sudah cukup efektif dalam memperbaiki nilai *interstory drift* yang besar pada lantai yang mengalami *soft story*, dengan catatan bahwa metode SSSA mempunyai hasil yang kurang konsisten jika membandingkan kedua bangunan yang diuji.

**Tabel 3. Interstory Drift Langkah Terbaik Semua Metode pada Semua Bangunan**

Tipe	Metode	Int. Drift Max Lantai <i>Soft Story</i> (mm)	Max Int. Drift (mm)	Avg. Int. Drift (mm)
Bangunan 1	Bare	95.58	95.58	58.68
	Uniform	99.79	99.79	51.53
	SSSA 8	75.45	76.96	54.44
	SSSAmod 10	56.72	61.56	55.43
	ODAM 8	58.91	62.21	55.82
Bangunan 2	Bare	187.63	187.63	87.11
	Uniform	130.46	130.46	60.36
	SSSA 10	75.55	75.55	54.62
	SSSAmod 10	55.74	64.45	54.6
	ODAM 9	52.88	68.32	55.69

Dapat dilihat pada **Tabel 4**, dengan *acceptance criteria* berdasarkan FEMA 356. Metode *uniform* menunjukkan perbaikan yang cukup baik dalam mengurangi sendi plastis jika dibandingkan dengan *bare model*. Jika melihat pada kedua bangunan, performa metode SSSA tergolong kurang konsisten. Untuk bangunan 1, metode ini memiliki performa yang lebih baik daripada metode *uniform*, sedangkan untuk bangunan 2 performanya lebih buruk. Selanjutnya, metode SSSAmod pada bangunan 1 maupun 2 memiliki performa yang lebih buruk jika dibandingkan dengan metode *uniform*. Metode terakhir yang diuji yaitu ODAM merupakan yang terbaik dalam mengurangi kerusakan sendi plastis yang terjadi pada kedua bangunan. Tetapi perlu diperhatikan bahwa langkah dengan pengurangan kerusakan sendi plastis terbanyak pada metode ini adalah hasil analisis langkah ke-2. Dimana, baru dilakukan satu kali relokasi *damper* sehingga penempatan *damper* sendiri masih tergolong merata di tiap lantai. Pada **Tabel 4** hanya ditampilkan data kerusakan kolom, hal ini didasari pada konsep *strong coloumn weak beam* yang tidak memperhitungkan kerusakan sendi plastis pada balok, highlight abu-



## 9. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan pada 2 kasus bangunan, didapatkan beberapa kesimpulan bahwa:

1. Semua metode yang diuji tidak dapat memperbaiki kedua indikator baik *interstory drift* dan kerusakan sendi plastis secara bersamaan.
2. Metode *uniform* menunjukkan performa perbaikan sendi plastis kolom yang cukup baik namun perbaikan *interstory drift* masih kurang efektif terutama pada lantai *soft story*
3. Metode SSSA memiliki performa yang kurang konsisten dalam hal perbaikan sendi plastis kolom serta *interstory drift* pada kedua tipe bangunan.
4. Metode SSSAmod menunjukkan hasil yang mirip dengan metode ODAM dalam hal perbaikan *interstory drift*. Dalam penempatan *dampers*, kedua metode ini sangat unggul dalam mendeteksi adanya lantai *soft story* pada bangunan..
5. Pada indikator kerusakan sendi plastis, performa metode SSSAmod tidak seefektif metode *Uniform*. Untuk metode ODAM, terdapat inkonsistensi terhadap kerusakan sendi plastis berhubungan dengan langkah iterasi yang diambil.
6. Dalam pengaplikasiannya, jika jumlah *dampers* telah ditetapkan di awal, metode ODAM jauh lebih efisien dibandingkan metode SSSAmod dari segi jumlah iterasi yang harus dilakukan.

## 10. DAFTAR REFERENSI

- Angkasaputra, K., Sebastiano, F. Et al. (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 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.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C: Author.
- Garcia, D.L. (2001). A Simple Method for the Design of Optimal Damper Configuration in MDOF Structures. *Earthquake Spectra*, 17(3), 387-398.
- Leu, L. J. & Chang, J.T. (2011). Optimal Allocation of Non-Linear Viscous Dampers for Three-Dimensional Building Structures. *Procedia Engineering*, 14, 2489-2497.
- Susanto, A. (2011). *Nonlinear Time History Seismic Analysis with Gensui Dampers in ETABS*. VSL Hongkong Limited, Chai Wan, Hongkong.