

PENGUNAAN METODE METAHEURISTIK DALAM OPTIMASI TOPOLOGI, BENTUK, DAN UKURAN PENAMPANG DESAIN STRUKTUR RANGKA BATANG

Kelvin Eko Prasetyo¹, Kenneth Harsono², Doddy Prayogo³ dan Wong Foek Tjong⁴

ABSTRAK : Struktur rangka batang merupakan salah satu tipe struktur yang sering kita jumpai. Diperlukan desain struktur bangunan yang paling efisien untuk meminimalkan *cost* dari struktur bangunan. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah optimasi struktur. Penelitian sebelumnya banyak meneliti tentang optimasi topologi dan penampang dengan koordinat titik buhul tetap. Sedangkan dengan mengoptimasi topologi, bentuk, dan ukuran penampang secara bersamaan dapat memberikan hasil yang paling efisien. Namun, dengan mengoptimasi ketiga hal tersebut, permasalahan menjadi lebih kompleks dan sukar. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya variabel. Metode metaheuristik dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan rangka batang yang kompleks karena metaheuristik yang memiliki kemampuan untuk menyelesaikan permasalahan yang rumit dan kompleks secara efektif dan efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi topologi, bentuk dan ukuran penampang struktur rangka batang dengan tiga algoritma metaheuristik yaitu, *particle swarm optimization* (PSO), *differential evolution* (DE) and *symbiotic organisms search* (SOS). Setiap algoritma digunakan untuk kasus *twenty-five-bar three-dimensional truss structure*. Kasus dijalankan dengan batasan menggunakan persyaratan bangunan gedung di Indonesia, SNI 1729:2015. Hasil menunjukkan bahwa SOS memiliki performa yang paling optimum dari semua kategori mengungguli DE dan PSO.

KATA KUNCI: optimasi, topologi, bentuk, ukuran penampang, metaheuristik, SNI 1729:2015

1. PENDAHULUAN

Optimasi struktur rangka batang semakin berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Optimasi struktur rangka batang dapat dikategorikan menjadi tiga bagian, yaitu topologi, bentuk, dan ukuran penampang (Tejani, Savsani, Patel, & Savsani, 2018). Optimasi topologi digunakan untuk mengoptimasi jumlah batang tetapi tetap memperhatikan stabilitas struktur. Optimasi bentuk digunakan untuk mengoptimasi koordinat tiap titik buhul dari struktur rangka batang, optimasi penampang digunakan untuk meminimalkan luas penampang dari struktur rangka batang. Penelitian sebelumnya banyak meneliti tentang optimasi topologi dan penampang, namun koordinat titik buhul tetap (Suryo *et al.*, 2019). Sedangkan dengan mengoptimasi topologi, bentuk, dan ukuran penampang secara bersamaan dapat memberikan hasil yang lebih efisien (Miguel, Lopez, & Miguel, 2013).

Rangka batang memiliki banyak variabel dan *constraint*, sehingga membuat optimasi rangka batang menjadi lebih sukar. Permasalahan dan kasus optimasi struktur rangka batang dapat diselesaikan dengan metode metaheuristik. Metaheuristik menerapkan fenomena-fenomena alam dan konsep pengacakan untuk mencari hasil optimum secara global dengan menggunakan *trial and error* dengan jumlah iterasi yang telah ditentukan (Cheng, Prayogo, Wu, & Lukito, 2016). *Particle swarm optimization* (PSO) dan *differential evolution* (DE) merupakan algoritma metaheuristik yang paling

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, m21416106@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, m21416123@john.petra.ac.id

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

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

sering digunakan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi. Namun, baru-baru ini telah ditemukan algoritma metaheuristik yaitu *dan symbiotic organisms search (SOS)* yang terbukti cukup kuat dalam menyelesaikan permasalahan optimasi struktur (Cheng & Prayogo, 2014). Penelitian – penelitian terdahulu telah melakukan penelitian mengenai optimasi struktur rangka batang dengan menggunakan metode metaheuristik (Miguel, Lopez, & Miguel, 2013).

Penelitian ini bersifat *single-objective* dan variabel yang akan dioptimasi ada tiga jenis, yaitu topologi, bentuk, dan ukuran penampang dari struktur rangka batang. Massa total dari struktur rangka baja adalah *objective* yang akan dioptimasi pada penelitian ini. Penelitian ini menggunakan tiga algoritma metaheuristik, yaitu PSO, DE, dan SOS. Batasan yang digunakan mengacu pada SNI 1729:2015. Banyak praktisi maupun peneliti menggunakan SNI 1729:2015 sebagai acuan untuk mendesain struktur baja, maka SNI 1729:2015 dapat dikategorikan sebagai spesifikasi desain yang terpercaya untuk mendesain struktur baja. Penelitian ini diharapkan dapat membantu pelaku konstruksi untuk mengambil keputusan terbaik dalam desain struktur rangka batang.

2. LANDASAN TEORI

Metaheuristik menjadi metode yang sangat populer daripada metode eksak karena lebih sederhana dan hasilnya lebih pasti dalam menyelesaikan permasalahan optimasi di dalam dunia bisnis, transportasi, dan terutama dalam dunia teknik (Hussain, Salleh, Cheng, & Shi, 2018). Metaheuristik merupakan perkembangan dari metode heuristik sebelumnya. Heuristik berarti “untuk mencari” atau “mencari dengan *“trial and error”*”. Sedangkan kata meta berarti “melebihi” atau “tingkatan yang lebih tinggi” (Yang, 2010). Oleh sebab itu, metaheuristik dapat diartikan sebagai sebuah metode yang memiliki tingkatan yang lebih tinggi daripada metode heuristik sebelumnya. Metode metaheuristik memiliki tujuan untuk mencari solusi permasalahan yang lebih cepat dan dapat menyelesaikan permasalahan yang rumit.

2.1 Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO merupakan algoritma optimasi yang menirukan pergerakan dari kawanan burung atau ikan saat mencari makan (Eberhart & Kennedy, 1995). Untuk mencari tempat makan yang terbaik. Pada PSO, lokasi ini merupakan solusi dari permasalahan. Lokasi selanjutnya ditentukan menggunakan kecepatan. Kecepatan partikel ini dipengaruhi oleh empat faktor penting yaitu: kecepatan partikel saat ini; lokasi terbaik yang pernah ditempati partikel tersebut; lokasi terbaik dari populasi dan lokasi partikel tersebut. Konsep yang sederhana dan mudah dipahami menjadi keunggulan dari algoritma ini. Kelemahan dari algoritma ini adalah memiliki 3 parameter yang harus ditentukan diawal.

2.2 Differential Evolution (DE)

DE adalah salah satu algoritma optimasi sederhana yang berbasis *evolutionary algorithm (EA)* dan dikembangkan oleh Storn and Price, pada tahun 1997 (Price & Storn, 1997). Algoritma ini merupakan algoritma optimasi matematis fungsi multidimensional. DE memiliki 3 tahap, yaitu mutasi, *crossover*, dan seleksi. Tahap mutasi ini bertujuan untuk membentuk vektor baru yang dinamakan *mutant vector*. *crossover* bertujuan untuk menambah keberagaman vektor dengan membentuk *trial vector* berdasarkan suatu populasi. Tahap seleksi terjadi dengan membandingkan *fitness value* terhadap populasi yang ada untuk menentukan keberadaan *trial vector* pada generasi berikutnya.

2.3 Symbiotic Organisms Search (SOS)

Algoritma SOS ditemukan oleh Cheng dan Prayogo pada tahun 2014 (Cheng & Prayogo, 2014). SOS merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang simpel dan sangat kuat. Algoritma SOS terinspirasi dari interaksi antar makhluk hidup untuk bertahan hidup dan mencari makan di alam. Interaksi antar makhluk hidup ini disebut dengan simbiosis. Kata simbiosis berasal dari bahasa Yunani “hidup bersama”. Sejak ditemukan, SOS sudah dipakai untuk menyelesaikan banyak permasalahan di teknik sipil (Ezugwu & Prayogo, 2019; Tejani *et al.*, 2019). Algoritma SOS menggunakan tiga bentuk simbiosis yang paling sering ditemukan di alam yaitu simbiosis mutualisme, simbiosis komensalisme, simbiosis parasitisme. Dalam simbiosis mutualisme, dua organisme acak dipilih untuk berinteraksi

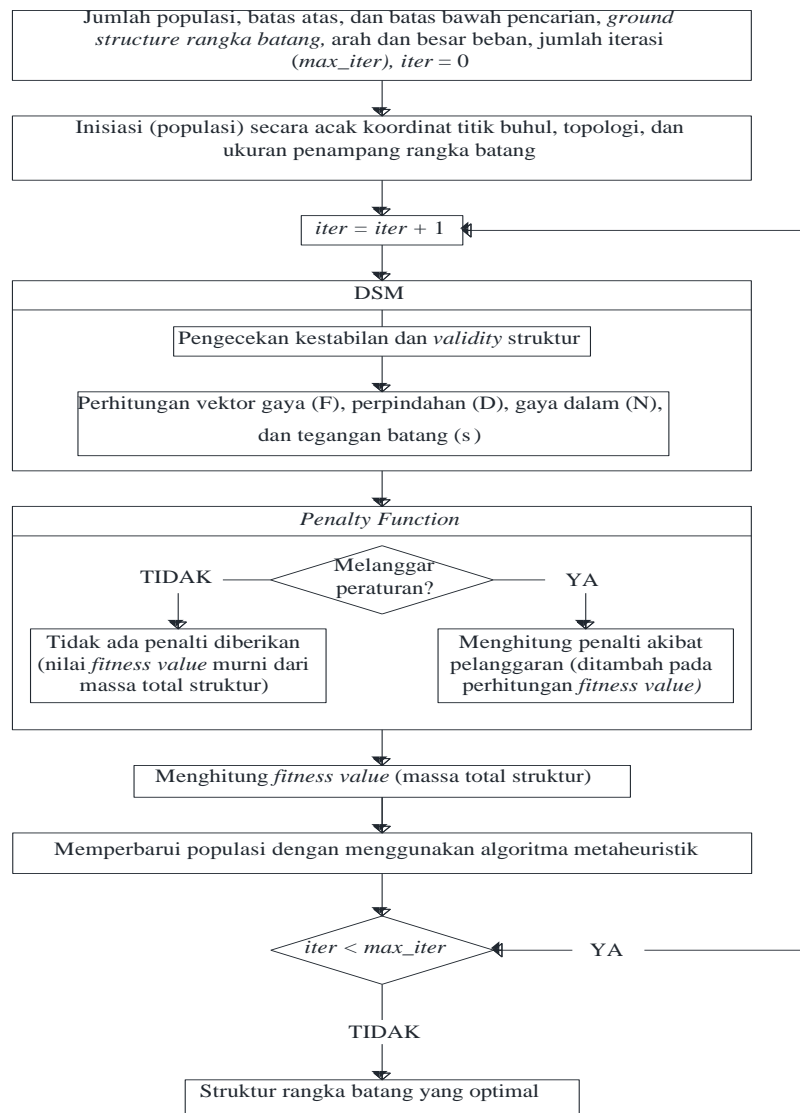
secara mutualisme yang diharapkan dapat meningkatkan nilai kedua *fitness value* organisme tersebut. Hal serupa terjadi pada simbiosis komensalisme, hanya saja organisme kedua tidak mendapatkan keuntungan maupun kerugian dari hasil interaksi tersebut. Vektor parasit terbentuk dan menggantikan posisi dari suatu organisme apabila vektor parasit tersebut memiliki *fitness value* yang lebih baik dibandingkan *fitness value* dari organisme tersebut,

2.4 Kapasitas Tarik dan Tekan berdasarkan SNI 1729:2015

Profil Struktur Berongga (PSB) bulat dengan mutu BJ37 yang diambil dari Gunawan (1988) dengan total 49 ukuran digunakan sebagai desain variabel pada studi ini. Perhitungan kapasitas yang digunakan pada penelitian ini yaitu kapasitas tarik (BAB D) dan kapasitas tekan (BAB E) pada SNI 1729:2015.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum, konsep pengerjaan optimasi topologi dan ukuran penampang rangka batang adalah dengan melalui proses iterasi dengan memperkecil penampang, mengubah titik koordinat dan menghilangkan atau mempertahankan batang pada *ground structure* seperti terlihat pada **Gambar 1**.

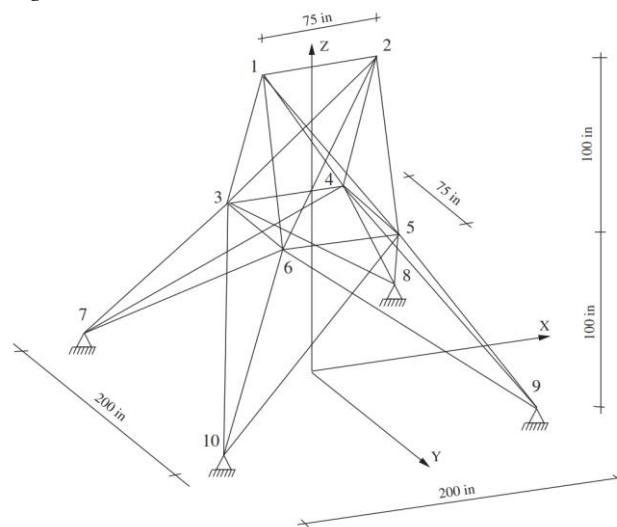


Gambar 1. Diagram Alir Optimasi Topologi dan Ukuran Penampang Struktur Rangka Batang

Ground structure merupakan bentuk dasar struktur yang berisi seluruh kombinasi dari segala kemungkinan konektivitas antar *nodes* di dalam studi kasus. Untuk dapat membandingkan performa dari ketiga algoritma tersebut, digunakan satu buah studi kasus, *25-bar truss* yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya (Cheng, Prayogo, Wu, & Lukito, 2016). Pada kasus ini, terdapat *constraints* perpindahan dan tegangan maksimum. Karena pada penelitian ini digunakan SNI 1729:2015 sebagai acuan untuk menentukan kapasitas tarik dan tekan, maka *constraints* tegangan batang pada kasus awal dihilangkan. Kemudian, ditambahkan *constraints* kekuatan tarik dan tekan dari SNI 1729:2015. Masing-masing algoritma dijalankan sebanyak 30 *runs* dengan maksimal 50000 jumlah analisis untuk mengetahui konsistensi hasil optimasi dari masing-masing algoritma.

4. HASIL DAN DISKUSI

Ground structure terdiri 25 batang yang dibagi menjadi 8 kelompok yang sudah ditentukan, yaitu: (1) A1, (2) A2–A5, (3) A6–A9, (4) A10–A11, (5) A12–A13, (6) A14–A17, (7) A18–A21, (8) A21–A25. **Gambar 2** menunjukkan *ground structure* dari kasus ini.



Gambar 2. *Ground Structure* dari Studi Kasus 25-Bar Truss

Pada studi kasus ini terdiri dari 13 variabel yang meliputi 8 variabel luas dan 5 variabel pergerakan titik ($x_4 = x_5 = -x_3 = -x_6$; $x_8 = x_9 = -x_7 = -x_{10}$; $y_3 = y_4 = -y_5 = -y_6$; $y_7 = y_8 = -y_9 = -y_{10}$; $z_3 = z_4 = z_5 = z_6$). **Tabel 1** menunjukkan kondisi pembebanan pada studi kasus ini, sedangkan **Tabel 2** menunjukkan *constraints* sesuai dengan studi kasus.

Tabel 1. Beban dan *Constraints* Studi Kasus 25-Bar Truss

Titik	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)
1	4448.398	-444.8398	444.8398
2	0	444.8398	444.8398
3	2224.199	0	0
6	2669.039	0	0

Tabel 2. Beban dan *Constraints* Studi Kasus 25-Bar Truss

Parameter	Nilai
Modulus elastisitas (N/m ²)	2×10^{11} N/m ²
Massa jenis (kg/m ³)	7850 kg/m ³
Perpindahan maksimum (m)	0.00889 m
Pergerakan titik buhul	$0.508 \text{ m} < x_4 < 1.524 \text{ m}$ $1.016 \text{ m} < y_4 < 2.032 \text{ m}$ $1.016 \text{ m} < x_8 < 2.032 \text{ m}$ $2.54 \text{ m} < y_8 < 3.556 \text{ m}$ $2.286 \text{ m} < z_4 < 3.302 \text{ m}$

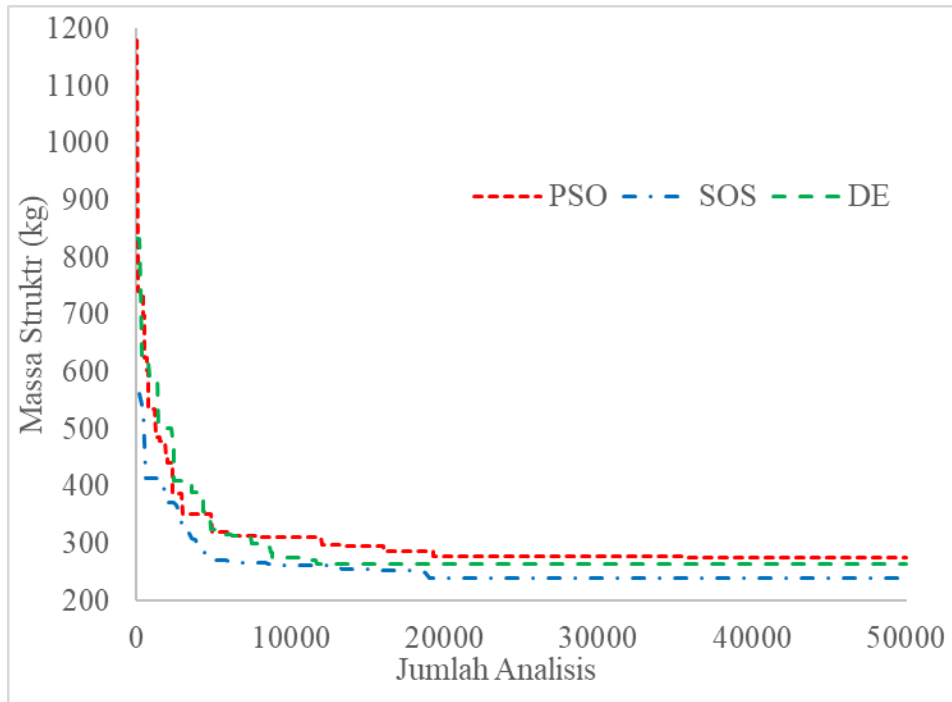
Tabel 3 menunjukkan hasil optimasi pada 25-bar truss dengan batasan sesuai SNI 1729:2015 pada hasil *run* terbaik. Dapat dilihat bahwa SOS mampu menemukan massa struktur paling ringan yaitu sebesar 220.769 kg, disusul dengan DE yang mampu menemukan massa struktur sebesar 223.0069 kg. SOS masih lebih unggul daripada dari segi performanya dengan standar deviasi paling kecil yaitu sebesar 18.245 kg. PSO memiliki performa yang paling buruk dibandingkan dengan kedua algoritma lainnya.

Tabel 3. Hasil dari Studi Kasus 25-Bar Truss

Variabel		PSO	SOS	DE
A ₁	m ²	0	0	0
A ₂ -A ₅	m ²	0.0002919	0.0003345	0.0003345
A ₆ -A ₉	m ²	0.0007591	0.0007591	0.0007591
A ₁₀ -A ₁₁	m ²	0	0	0
A ₁₂ -A ₁₃	m ²	0	0	0
A ₁₄ -A ₁₇	m ²	0.0001238	0.0001238	0.0001238
A ₁₈ -A ₂₁	m ²	0.0002919	0.0002919	0.0002919
A ₂₂ -A ₂₅	m ²	0.0008636	0.0007591	0.0007591
X ₄	m	0.9941419	0.93198005	0.975399
X ₈	m	1.016	1.01600001	1.0632367
Y ₄	m	1.2594208	1.35154025	1.4056198
Y ₈	m	2.54	2.54	2.6126785
Z ₄	m	2.5690872	2.40454204	2.3788474
Terbaik	Kg	226.08047	220.769036	223.0069
Terburuk	Kg	314.37831	288.731276	354.6118
Median	Kg	275.75638	240.420673	264.6757
Rata-rata	Kg	272.27889	244.016205	275.87582
Standar deviasi	Kg	26.94173	18.2458147	34.931878
Tegangan maksimum	N/ m ²	135473833	145669467.3	146292158.73
Perpindahan maksimum	m	0.0055	0.0054	0.0053
Jumlah Analisis		50000	50000	50000

Gambar 3 menunjukkan grafik konvergensi dari masing-masing algoritma diambil dari hasil *run* median dari ke-30 *run* tersebut. Dapat dilihat bahwa SOS mampu menemukan massa paling terkecil pada iterasi pertamanya yaitu sebesar 561 kg. SOS juga mampu menemukan massa struktur teringan dengan cepat yaitu pada jumlah analisis ke ± 20000 .

Grafik pada **Gambar 4** merupakan perbandingan nilai efisiensi desain diukur dari SNI 1729:2015 pada elemen tarik, sedangkan **Gambar 5** merupakan perbandingan elemen tekan pada hasil *run* terbaik. Nilai efisiensi batang tekan ke-25 adalah sebesar 1 dengan menggunakan algoritma SOS.



Gambar 3. Grafik Konvergensi Kasus 25-Bar Truss

5. REKAPITULASI

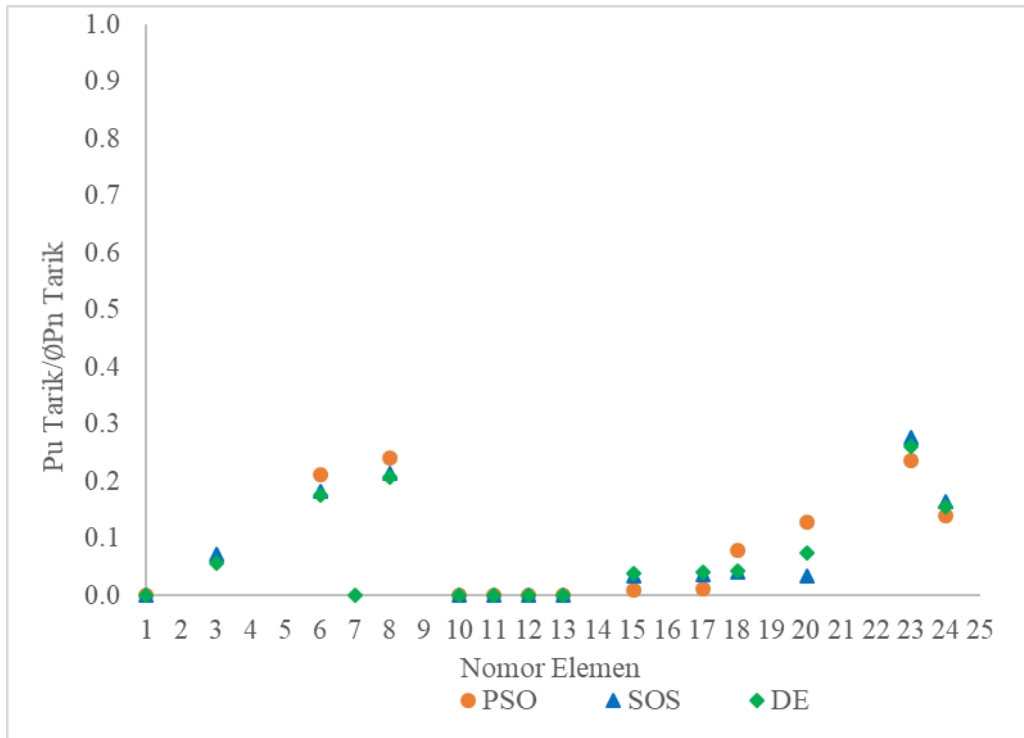
Tabel 3 menunjukkan peringkat dari masing-masing algoritma untuk kelima kriteria yang ditinjau pada kasus 25-bar truss. Angka 1 menunjukkan peringkat dengan performa terbaik diantara peringkat lainnya. Sebaliknya angka 3 menunjukkan peringkat dengan performa terburuk diantara peringkat lainnya.

Tabel 3. Rekapitulasi Peringkat Algoritma

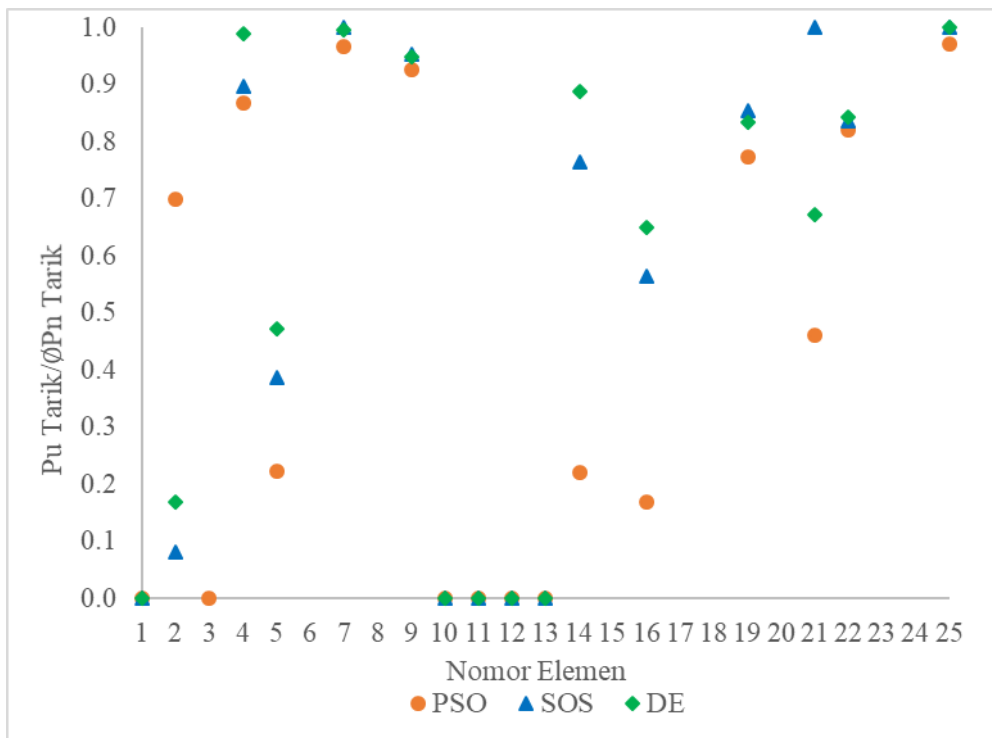
Kriteria	PSO	SOS	DE
<i>25 bar</i>			
Terbaik	3	1	2
Terburuk	2	1	3
Rata-rata	3	1	2
Standar deviasi	2	1	3
Median	2	1	3
Rata-rata	2.4	1	2.6

6. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, peneliti telah membandingkan performa optimasi dari tiga buah algoritma metaheuristik yaitu PSO, DE, dan SOS dengan meninjau satu buah studi kasus 25-bar truss. Algoritma SOS memiliki performa terbaik dibandingkan dengan dua algoritma lainnya dalam kemampuannya menemukan massa kecepatan konvergensi, dan konsistensi. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan algoritma metaheuristik yang telah dimodifikasi agar dapat menemukan hasil optimasi yang lebih optimal dan konsisten.



Gambar 4. Perbandingan nilai efisiensi desain batang tarik terhadap SNI 1729:2015 pada kasus 25-bar truss



Gambar 5. Perbandingan nilai efisiensi desain batang tekan terhadap SNI 1729:2015 pada kasus 25-bar truss

7. DAFTAR REFERENSI

- Cheng, M. Y., & Prayogo, D. (2014). "Symbiotic Organisms Search: A New Metaheuristic Optimization Algorithm." *Computers and Structures*, 139, 98–112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2014.03.007>
- Cheng, M. Y., Prayogo, D., Wu, Y. W., & Lukito, M. M. (2016). "A Hybrid Harmony Search Algorithm for Discrete Sizing Optimization of Truss Structure." *Automation in Construction*, 69, 21–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.023>
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). "New Optimizer Using Particle Swarm Theory." *Proceedings of the International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 39–43.
- Ezugwu, A. E., & Prayogo, D. (2019). "Symbiotic Organisms Search Algorithm: Theory, Recent Advances and Applications." *Expert Systems with Applications*, 119, 184–209.
- Gunawan, R. (1988). *Tabel Profil Konstruksi Baja* (Vol. 7th). Kanisius, Yogyakarta.
- Hussain, K., Mohd Salleh, M. N., Cheng, S., & Shi, Y. (2018). "Metaheuristic Research: A Comprehensive Survey." *Artificial Intelligence Review*, (January), 1–43. doi: <https://doi.org/10.1007/s10462-017-9605-z>
- Miguel, L. F. F., Lopez, R. H., & Miguel, L. F. F. (2013). "Multimodal Size, Shape, and Topology Optimization of Truss Structures Using the Firefly Algorithm." *Advances in Engineering Software*, 56, 23–37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2012.11.006>
- Price, K., & Storn, R. (1997). "Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization Over Continuous Spaces." *Journal of Global Optimization*, (11), 341–359.
- Suryo, H. E., Hartono, R. A., Prayogo, D., & Tjong, W. F. (2019). Optimasi Topologi dan Ukuran Penampang Struktur Rangka Batang dengan Metode Metaheuristik. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 8(2), 274–281.
- Tejani, G. G., Pholdee, N., Bureerat, S., Prayogo, D., & Gandomi, A. H. (2019). "Structural Optimization Using Multi-Objective Modified Adaptive Symbiotic Organisms Search." *Expert Systems with Applications*, 125, 425–441.
- Tejani, G. G., Savsani, V. J., Bureerat, S., & Patel, V. K. (2018). "Topology and Size Optimization of Trusses with Static and Dynamic Bounds by Modified Symbiotic Organisms Search." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(2), 1–11. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000741](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000741)
- Yang, X. (2010). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms Second Edition*. In Luniver Press. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.026>