

OPTIMASI TATA LETAK FASILITAS PROYEK KONSTRUKSI DENGAN MENGUNAKAN ALGORITMA METAHEURISITIK

Doddy Prayogo^{1*}, Samuel Eric¹, Jessica Chandra Sutanto¹, Hieronimus Enrico Suryo¹

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra
prayogo@petra.ac.id

ABSTRAK

Dalam beberapa dekade terakhir, tata letak fasilitas proyek konstruksi menjadi salah satu permasalahan yang menantang bagi para peneliti di bidang manajemen konstruksi dan mendorong berbagai macam metode terus dikembangkan. Dalam beberapa tahun terakhir, sejumlah penelitian mengembangkan algoritma optimasi yang meniru model perilaku biologis yang dikenal dengan metode metaheuristik. Algoritma optimasi metaheuristik yang berdasarkan perilaku biologis ini terbukti memberikan solusi yang lebih baik dibandingkan metode tradisional yang biasanya digunakan. Penelitian ini mencoba untuk menerapkan dan membandingkan tiga algoritma metaheuristik untuk menentukan tata letak fasilitas proyek konstruksi yang optimal, diantaranya *particle swarm optimization* (PSO), *artificial bee colony* (ABC), dan *symbiotic organisms search* (SOS). Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketiganya memiliki kemampuan untuk memecahkan masalah tata letak fasilitas proyek, namun algoritma SOS dapat memberikan hasil terbaik dengan tingkat konsistensi yang paling bagus.

Kata Kunci: metaheuristik, optimasi, tata letak fasilitas proyek

1. PENDAHULUAN

Pengaturan tata letak fasilitas pada suatu proyek konstruksi sangat mempengaruhi efisiensi proyek dan juga biaya pelaksanaan. Tujuan tata letak fasilitas proyek adalah untuk menemukan biaya operasional minimum melalui berbagai komposisi tata letak fasilitas proyek. Tata letak yang bagus merupakan tata letak yang dapat menghasilkan operasi yang paling efisien yang dapat mengurangi biaya proyek secara keseluruhan. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi biaya operasional sebuah proyek konstruksi, misalnya jarak dan frekuensi perjalanan antar tiap fasilitas proyek, rute yang digunakan, dan sebagainya (Tommelein et al., 1992). Pada umumnya, seorang manajer proyek akan cenderung menggunakan pengetahuan dan pengalaman sebelumnya sebagai referensi untuk merencanakan tata letak fasilitas proyek. Namun, hal tersebut tidak selalu menjadi solusi perencanaan tata letak yang optimal dikarenakan tiap proyek memiliki perbedaan. Hal ini mendorong para peneliti untuk mengembangkan sejumlah metode yang memiliki potensi untuk menghasilkan tata letak fasilitas proyek yang efisien.

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian tentang optimasi tata letak telah dilakukan dengan menggunakan algoritma yang terinspirasi oleh alam, dikenal dengan metaheuristik. Salah satu contoh penelitian terdahulu adalah optimasi tata letak fasilitas proyek adalah penelitian yang dilakukan oleh Li dan Love (2000) menggunakan *genetic algorithm* (GA) untuk mencari solusi pada optimasi tata letak fasilitas proyek. Li dan Love (2000) menyimpulkan bahwa algoritma GA memiliki kelebihan dalam hal *global search* dibandingkan dengan *local search*. Dengan demikian, penggunaan algoritma metaheuristik memungkinkan masalah site layout diselesaikan dengan baik, dan pada saat sama menghasilkan biaya operasional proyek yang wajar.

Baru-baru ini, banyak penelitian yang dilakukan untuk menyelidiki kinerja dari lebih dari satu algoritma metaheuristik dalam memecahkan masalah tata letak fasilitas proyek konstruksi. Adrian dkk. (2015) membandingkan kinerja tiga algoritma metaheuristik dalam menyelesaikan permasalahan site layout, yaitu GA, *particle swarm optimization* (PSO), dan *ant colony optimization* (ACO). Mereka

membandingkan hasil dari ketiga metode ini, dan menyimpulkan bahwa metode ACO mampu menghasilkan solusi yang optimal dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan PSO dan GA. Yahya dan Saka (Yahya & Saka, 2014) menggunakan algoritma *artificial bee colony* (ABC) dan *ant system* (AS) untuk memecahkan masalah site layout bangunan rumah tinggal dan proyek rumah sakit swasta dengan beberapa kriteria tertentu. Prayogo dkk. (2017) menggunakan *differential evolution* (DE), PSO, dan *symbiotic organisms search* (SOS) untuk mencari fasilitas terbaik dari tempat fabrikasi *caisson*. Hasilnya menunjukkan bahwa SOS meraih kinerja terbaik secara keseluruhan.

Algoritma metaheuristik saat ini sangat beragam, dengan karakteristik mereka sendiri. Algoritma metaheuristik yang umum digunakan seperti PSO, ABC, dan SOS memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan satu sama lain. Kompleksitas masalah site layout meningkat seiring besarnya suatu proyek konstruksi. Setiap algoritma metaheuristik dapat menghasilkan kinerja yang berbeda untuk setiap masalah site layout. Dengan demikian, sangat penting untuk terus menyelidiki metode terbaik yang mungkin untuk memecahkan masalah perencanaan tata letak yang lebih kompleks.

2. METODE METAHEURISTIK

Proses optimasi tata letak fasilitas proyek proyek tidak sederhana, sehingga pada penelitian ini menggunakan algoritma metaheuristik. Algoritma metaheuristik merupakan algoritma yang terinspirasi oleh peristiwa alam yang terjadi di sekitar kita. Selama lebih dari tiga dekade, berbagai metode telah dikembangkan untuk membantu peneliti meningkatkan metode pengoptimalan. Dalam penelitian ini, algoritma metaheuristik yang digunakan adalah PSO, ABC, dan SOS.

2.1. Particle Swarm Optimization

Pertama kali diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart (1995), PSO mengadopsi prinsip kecerdasan kelompok sosial antara makhluk hidup. PSO meniru perilaku sekelompok makhluk hidup seperti burung atau ikan ketika

mencari makanan, di mana perilaku masing-masing individu akan mempengaruhi satu sama lain. Pada tahap pertama akan diciptakan partikel-partikel secara acak dan tersebar dalam suatu lokasi pencarian, setiap partikel dan posisinya melambungkan kemungkinan solusi dari sebuah problem. Pada setiap iterasi, semua partikel akan bergerak sesuai dengan vektor kecepatan dan selalu diperbaharui oleh suatu operator matematis yang memodelkan hubungan sosial kelompok makhluk hidup dari kelompok tersebut seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1). Jika sebuah partikel mencapai lokasi baru yang lebih optimal, maka posisi dan nilai objektif dari lokasi tersebut akan disimpan sebagai *pBest* (*personal best*). Dalam setiap iterasi, juga dilakukan penyimpanan lokasi global terbaik dari semua partikel yang ada ke dalam *gBest* (*global best*).
$$v_i = w * v_i + rand(0,1) * c1 * (XpBest - Xi) + rand(0,1) * c2 * (XgBest - Xi)$$
 (1)

di mana v_i merupakan kecepatan partikel ke- i , w merupakan *inertia weight*, $c1$ merupakan *cognitive factor*, $XpBest$ merupakan koordinat lokasi dari *pBest*, Xi merupakan koordinat lokasi partikel ke- i , $c2$ merupakan social factor parameter, $XgBest$ merupakan koordinat lokasi dari *gBest*.

2.2. Artificial Bee Colony

ABC merupakan algoritma berbasis kecerdasan yang dikenalkan oleh Karaboga dan Basturk (2007). ABC meniru perilaku koloni lebah dalam mencari sumber makanan. Pertama, algoritma ABC melakukan inisialisasi sumber makanan secara acak yang berisikan variabel acak sebagai kandidat solusi. Setelah sumber makanan telah ditentukan, ABC masuk ke dalam fase pertama yaitu *employed bees*, pada fase ini *employed bees* akan melakukan modifikasi terhadap kandidat solusi dengan mencari alternatif solusi lain yang berada di sekitarnya. Solusi yang telah dimodifikasi akan terlebih dahulu diukur nilai objektifnya sebagai informasi yang kemudian dibagikan kepada *onlooker bees* melalui *waggle dance* yang dapat dilihat pada persamaan (2). Pada fase *onlooker bees*, solusi yang telah dimodifikasi oleh *employed bees* akan dipilih secara acak dengan

probabilitas tertentu. Kemudian, *onlooker bees* akan kembali melakukan modifikasi ulang terhadap solusi berdasarkan informasi yang didapatkan dari tahap *employed bees*. Pada fase *scout bees*, *employed bees* akan berubah menjadi *scout bees* yang akan mencari alternatif solusi lainnya jika solusi yang didapatkan tidak membaik dalam jangka waktu tertentu. ABC akan memberhentikan proses optimasi jika telah mendapatkan nilai objektif tertentu atau telah mencapai jumlah iterasi maksimum.

$$new_Foodi = Foodi + rand(-1,1) * (Foodi - Foodj) \quad (2)$$

di mana *Foodi* merupakan sumber makanan ke-*i*, *new_Foodi* merupakan sumber makanan ke-*i* yang telah dimodifikasi setelah fase *onlooker bees*, *Foodj* merupakan sumber makanan ke-*j* yang dipilih secara acak.

2.3. Symbiotic Organisms Search

Pertama kali diperkenalkan oleh Cheng dan Prayogo (2014), SOS merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari fenomena hubungan simbiosis makhluk hidup pada ekosistem tertentu. Dalam algoritma SOS, hubungan simbiosis didefinisikan dalam 3 buah fase (mutualisme, komensalisme, parasitisme). Algoritma SOS sering kali digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang bersifat *continuous*. Berbeda dengan *evolutionary-based algorithm*, algoritma SOS tidak menghasilkan *offspring*. Di sisi lain, SOS merupakan algoritma berbasis populasi yang membuat sebuah populasi dan melalui berbagai search operator akan mendefinisikan setiap populasi dalam iterasi untuk menemukan solusi optimal. Sejak pertama kali diperkenalkan pada tahun 2014, banyak penelitian yang menggunakan SOS untuk menemukan penyelesaian optimal pada bidang ilmu teknik (Cheng et al., 2016; Prayogo, 2018; Prayogo, Cheng, et al., 2018; Prayogo, Gosno, et al., 2018; Prayogo & Susanto, 2018; Prayogo, Wong, et al., 2018).

Dalam fase mutualisme, organisme *i* (*O_i*) akan berinteraksi secara mutualisme terhadap organisme lain (*O_j*) secara acak untuk meningkatkan kualitas individu dalam ekosistem tersebut. Kemudian, dua variabel solusi akan terbentuk, *newO_i* dan *newO_j*

melalui fase modifikasi menggunakan persamaan matematis sebagai berikut:

$$newO_i = O_i + rand(0,1) * [O_{best} - (O_i + O_j) / 2 * (1 + round(rand(0,1)))] \quad (3)$$

$$newO_j = O_j + rand(0,1) * [O_{best} - (O_i + O_j) / 2 * (1 + round(rand(0,1)))] \quad (4)$$

O_{best} adalah organisme yang memiliki nilai objektif terbaik dalam ekosistem tersebut. Jika nilai objektif dari variabel solusi *newO_i* dan *newO_j* lebih baik daripada nilai objektif dari *O_i* dan *O_j*, maka organisme *O_i* dan *O_j* akan diperbaharui.

Dalam fase komensalisme, organisme *O_i* akan berinteraksi secara komensalisme terhadap organisme lain *O_j* yang dipilih secara acak. Organisme *O_i* akan mendapatkan keuntungan dari interaksi tersebut, namun organisme *O_j* tidak mendapatkan keuntungan maupun kerugian. Variabel solusi *newO_i* dalam fase ini akan terbentuk melalui persamaan matematis sebagai berikut:

$$newO_i = O_i + rand(-1,1) * (O_{best} - O_j) \quad (5)$$

Jika nilai objektif dari variabel solusi *newO_i* lebih baik daripada nilai objektif *O_i*, maka organisme *O_i* akan diperbaharui.

Dalam fase parasitisme, organisme *O_i* menciptakan sebuah parasit yang disebut *Oparasite*. Parasit tersebut terbentuk sebagai hasil dari kombinasi antara cloning organisme *O_i* dan variabel acak. Organisme *O_j* berperan sebagai inang dan diambil secara acak dalam ekosistem. Setelah proses evaluasi fungsi objektif, maka nilai objektif antara *Oparasite* dan *O_i* akan dibandingkan. Jika nilai objektif dari *Oparasite* lebih baik daripada organisme *O_i*, maka *Oparasite* akan menggantikan posisi *O_j* dalam ekosistem. Disisi lain, organisme *O_j* tetap bertahan jika nilai objektifnya lebih baik.

3. PEMODELAN OPTIMASI TATA LETAK FASILITAS PROYEK KONSTRUKSI

Tata letak fasilitas konstruksi sangat mempengaruhi produktivitas dari pekerja konstruksi. Oleh karena itu optimasi tata letak fasilitas konstruksi perlu untuk dilakukan. Dalam perencanaan tata letak fasilitas konstruksi, perlu dilakukan penentuan dan frekuensi perjalanan antar fasilitas, serta jumlah

lahan kosong yang dibutuhkan. Secara umum terdapat dua kondisi dalam perencanaan tata letak fasilitas konstruksi berdasarkan kesetaraan jumlah antara fasilitas dengan lahan yang dibutuhkan. Kondisi pertama adalah jumlah lahan lebih besar dari jumlah fasilitas. Sedangkan kondisi kedua adalah jumlah lahan sama dengan jumlah fasilitas konstruksi yang dibutuhkan.

Tujuan utama dari perencanaan tata letak fasilitas konstruksi adalah menentukan posisi dari fasilitas (n) terhadap lahan yang tersedia (m) dengan total jarak tempuh pekerja paling minimum. Perencanaan tata letak fasilitas proyek konstruksi dimodelkan sebagai *quadratic assignment problem* (QAP) dengan menggunakan jarak tempuh dan frekuensi perjalanan pekerja sebagai variabel utama dalam memperoleh hasil optimum.

$$\text{Minimize } TD = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{ik} d_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (6)$$

$$\text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

n adalah jumlah fasilitas yang akan diletakkan, d_{ij} adalah jarak antara fasilitas i terhadap fasilitas j , sedangkan f_{ij} adalah frekuensi perjalanan antara fasilitas i terhadap fasilitas j .

Jika terdapat posisi dua fasilitas yang saling bersebelahan, maka jarak tempuh antara kedua fasilitas diukur dari titik tengah kedua fasilitas tersebut. Jika posisi dua fasilitas tidak saling bersebelahan, maka jarak kedua fasilitas diukur berdasarkan jumlah jarak potongan antara kedua fasilitas tersebut. Contohnya adalah jarak antara fasilitas 1 dan 3 diukur berdasarkan jumlah jarak dari fasilitas 1 ke 2 dan jarak dari fasilitas 2 ke fasilitas 3.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

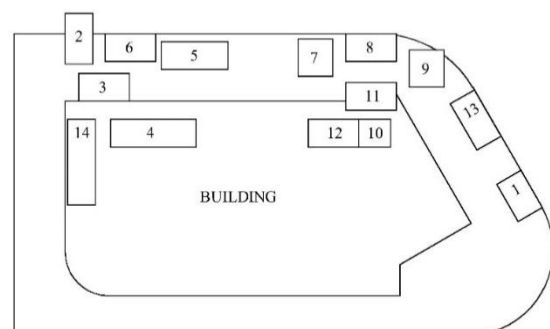
Penelitian ini membandingkan kemampuan 3 algoritma metaheuristik, yaitu PSO, ABC, dan SOS menggunakan sebuah studi kasus.

Studi kasus yang digunakan ialah proyek pembangunan hotel di Surabaya, Indonesia, dengan 14 fasilitas dan 14 lokasi.

Setiap algoritma disimulasikan sebanyak 30 kali untuk menghapus bias dari bilangan acak dengan 30 iterasi dan 50 populasi untuk setiap simulasi. PSO dan ABC memiliki parameter spesifik tambahan. Untuk PSO, parameter $c1$ dan $c2$ ditetapkan 2 dan 2. Untuk ABC, parameter batas untuk fase *scout bees* ditetapkan menjadi 100. Hasil yang diperoleh dengan menjalankan ketiga algoritma ini adalah total jarak perjalanan atau jarak perjalanan terbaik dengan mengatur lokasi masing-masing fasilitas sehingga menghasilkan yang paling efektif untuk pekerja, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (6) - (9).

Kasus ini memiliki 14 fasilitas yang harus diatur dalam 14 lokasi. Fasilitas tersebut diantaranya adalah: (1) Main Gate (MG); (2) Site Gate (SG); (3) Pos Jaga (PJ); (4) Kantor (K); (5) Toilet Pekerja (TP1); (6) Tempat Wiremesh (TW); (7) Tower Crane (TC); (8) Toilet Pekerja 2 (TP2); (9) Sumber Listrik (SL); (10) Pos P3K (PP); (11) Gudang (G); (12) Barak Pekerja (BP); (13) Tempat Fabrikasi Tulangan (TFP); (14) Tempat Fabrikasi Bekisting (TFB).

MG diletakkan permanen di lokasi 1, SG diletakkan permanen di lokasi 2, TC diletakkan permanen di lokasi 7, dan SL diletakkan permanen di lokasi 9. Lokasi daripada fasilitas-fasilitas pada studi kasus ini ditunjukkan pada Gambar 1. Jarak dan frekuensi tempuh ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 secara berurutan.



Gambar 1. Tata letak proyek mula-mula dalam studi kasus penelitian ini

Doddy Prayogo dkk. Optimasi Tata Letak Fasilitas Proyek Konstruksi dengan Menggunakan Algoritma Metaheuristik

Tabel 1. Jarak tempuh antar lokasi (meter)

Lokasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	65	60	43	38	37	25	17	10	8	11	17	0	51
2	65	0	7	14	15	7	23	33	51	45	40	36	47	15
3	60	7	0	7	12	4	20	30	43	37	31	28	45	8
4	43	14	7	0	9	9	12	23	26	20	15	11	32	6
5	38	15	12	9	0	2	4	14	22	23	15	14	34	18
6	37	7	4	9	2	0	8	18	26	25	19	18	35	12
7	25	23	20	12	4	8	0	2	10	10	6	10	12	28
8	17	33	30	23	14	18	2	0	8	9	5	13	10	38
9	10	51	43	26	22	26	10	8	0	12	5	15	1	42
10	8	45	37	20	23	25	10	9	12	0	1	9	6	36
11	11	42	34	15	15	19	6	5	5	1	0	6	4	36
12	17	36	28	11	14	18	10	13	15	9	6	0	15	27
13	0	47	45	32	34	35	12	10	1	6	4	15	0	51
14	51	15	8	6	18	12	28	38	42	36	36	27	51	0

Tabel 2. Frekuensi trip pekerja antar fasilitas

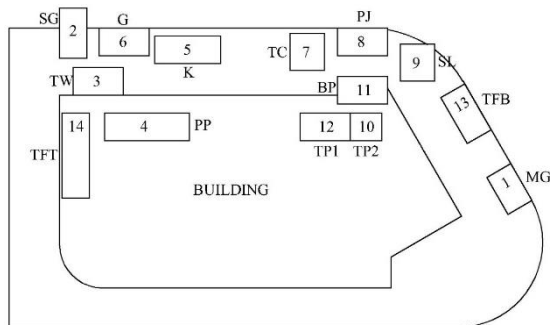
Fasilitas	MG	SG	PJ	K	TP1	TW	TC	TP2	SL	PP	G	BP	TFT	TFB
MG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SG	0	0	1	1	1	30	1	1	1	3	15	2	2	0
PJ	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
K	0	1	1	0	3	1	1	1	1	2	2	3	2	2
TP1	0	1	0	3	0	0	1	0	0	2	0	4	0	0
TW	0	30	0	1	0	0	0	1	0	4	2	4	4	0
TC	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0
TP2	0	1	1	1	0	1	1	0	1	2	2	2	2	2
SL	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
PP	0	3	1	2	2	4	1	2	0	0	3	3	2	2
G	0	15	1	2	0	2	0	2	3	3	0	2	15	2
BP	0	2	1	3	4	4	1	2	3	3	2	0	2	2
TFT	0	2	1	2	0	4	0	2	2	2	15	2	0	0
TFB	0	0	0	2	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0

Untuk kasus ini, perbandingan hasil setelah 30 iterasi ditunjukkan pada Tabel 3. Dapat dilihat bahwa PSO bisa mencapai tata letak yang terbaik bila dibandingkan dengan ABC dan SOS. SOS mencapai rata-rata dan standar deviasi terendah, membuktikan bahwa SOS

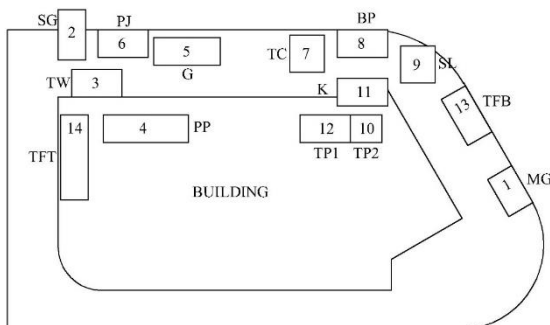
adalah algoritma yang paling konsisten. Adapun hasil terbaik dari masing-masing algoritma, dapat dilihat pada Gambar 2 – 4.

Tabel 3. Perbandingan total jarak tempuh antar metode

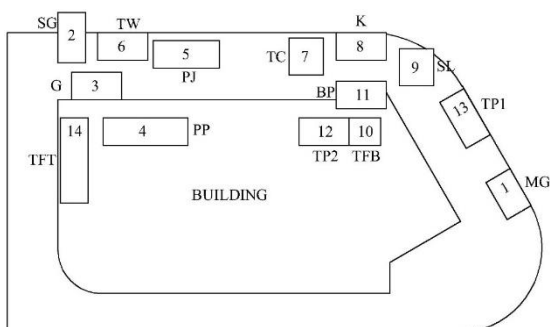
Metode	Min. (m)	Max. (m)	Rata-rata (m)	Standar deviasi (m)
PSO	4276	4973	4553.93	159.39
ABC	4391	4932	4662.47	157.70
SOS	4281	4531	4398.4	67.03



Gambar 2. Desain tata letak terbaik oleh PSO



Gambar 3. Desain tata letak terbaik oleh ABC



Gambar 4. Desain tata letak terbaik oleh SOS

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan studi perbandingan antar algoritma metaheuristik

dalam menyelesaikan problem tata letak fasilitas dalam suatu proyek konstruksi. Tiga algoritma metaheuristik, antara lain PSO, ABC, dan SOS, telah digunakan dalam menyelesaikan satu studi kasus proyek konstruksi di Surabaya, Indonesia. Dapat disimpulkan bahwa algoritma SOS adalah yang terbaik diantara ketiga algoritma karena dapat menemukan hasil yang paling optimal. Tiga puluh iterasi dilakukan dalam studi kasus ini. Menurut hasil penelitian, SOS adalah metode yang terbaik dalam hal konsistensi. SOS dapat mencari rata-rata dan standar deviasi yang terendah dalam studi kasus ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, A. M., Utamima, A., & Wang, K.-J. (2015). A comparative study of GA, PSO and ACO for solving construction site layout optimization. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(3), 520-527.
- Cheng, M.-Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures*, 139, 98-112.
- Cheng, M.-Y., Prayogo, D., & Tran, D.-H. (2016). Optimizing Multiple-Resources Leveling in Multiple Projects Using Discrete Symbiotic Organisms Search. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(3), 04015036.
- Karaboga, D., & Basturk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39(3), 459-471.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). *Particle swarm optimization*. Paper presented at the Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks.
- Li, H., & Love, P. E. D. (2000). Genetic search for solving construction site-level unequal-area facility layout problems. *Automation in Construction*, 9(2), 217-226.
- Prayogo, D. (2018). Metaheuristic-Based Machine Learning System for Prediction of Compressive Strength based on Concrete Mixture Properties and Early-

Doddy Prayogo dkk. Optimasi Tata Letak Fasilitas Proyek Konstruksi dengan Menggunakan
Algoritma Metaheuristik

- Age Strength Test Results. *Civil Engineering Dimension*, 20(1), 21-29.
- Prayogo, D., Cheng, M.-Y., & Prayogo, H. (2017). A Novel Implementation of Nature-inspired Optimization for Civil Engineering: A Comparative Study of Symbiotic Organisms Search. *Civil Engineering Dimension*, 19(1), 36-43.
- Prayogo, D., Cheng, M.-Y., Wong, F. T., Tjandra, D., & Tran, D.-H. (2018). Optimization model for construction project resource leveling using a novel modified symbiotic organisms search. *Asian Journal of Civil Engineering*, 19(5), 625-638.
- Prayogo, D., Gosno, R. A., Evander, R., & Limanto, S. (2018). Implementasi Metode Metaheuristik Symbiotic Organisms Search Dalam Penentuan Tata Letak Fasilitas Proyek Konstruksi Berdasarkan Jarak Tempuh Pekerja. *Jurnal Teknik Industri*, 19(2), 103-114.
- Prayogo, D., & Susanto, Y. T. T. (2018). Optimizing the Prediction Accuracy of Friction Capacity of Driven Piles in Cohesive Soil Using a Novel Self-Tuning Least Squares Support Vector Machine. *Advances in Civil Engineering*, 2018.
- Prayogo, D., Wong, F. T., Gunawan, R., Ali, S. K., & Sugianto, S. (2018). Optimasi Ukuran Penampang Rangka Batang Baja berdasarkan SNI 1729: 2015 dengan Metode Metaheuristik Symbiotic Organisms Search. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 41-52.
- Tommelein, I., Levitt, R., & Hayes-Roth, B. (1992). SightPlan model for site layout. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(4), 749-766.
- Yahya, M., & Saka, M. P. (2014). Construction site layout planning using multi-objective artificial bee colony algorithm with Levy flights. *Automation in Construction*, 38, 14-29.