

OPTIMASI MULTI-OBJEKTIF PERMASALAHAN *TIME-COST-QUALITY TRADE-OFF* PADA PROYEK SOHO X DENGAN MENGGUNAKAN METODE METAHEURISTIK

Michael Ho¹, Renaldy Gozal², Effendy Tanojo³, dan Doddy Prayogo⁴

ABSTRAK: *Trade-off* antara *time*, *cost*, dan *quality* seringkali terjadi dalam merencanakan sebuah proyek. Tiga aspek ini adalah faktor yang signifikan dalam menentukan pilihan alternatif dalam melaksanakan sebuah proyek. Apabila tiga aspek ini dapat dioptimalkan dengan baik, maka proyek yang direncanakan pun akan diuntungkan. Studi ini mengoptimasi *time-cost-quality trade-off* (TCQTO) pada proyek SOHO X dengan menggunakan algoritma *particle swarm optimization* (PSO) dan *sympiotic organisms search* (SOS). Proses optimasi dilakukan dengan memilih alternatif-alternatif setiap pekerjaan proyek SOHO X yang memiliki nilai *time*, *cost*, dan *quality* masing-masing sehingga didapatkan sebuah susunan alternatif aktivitas yang menghasilkan solusi yang optimal. Studi ini juga membandingkan kinerja antara algoritma metaheuristik PSO dan SOS dalam mengoptimalkan pilihan-pilihan alternatif setiap aktivitas pada proyek X. Algoritma yang bisa menghasilkan solusi yang lebih optimal akan lebih cocok digunakan dalam penyelesaian masalah TCQTO, dalam penelitian ini SOS berhasil mendapatkan solusi yang lebih optimal. Dengan mengetahui algoritma metaheuristik yang lebih cocok maka perencana dapat lebih tepat dalam menentukan metode metaheuristik yang dipakai dalam merencanakan proyek.

KATA KUNCI: konstruksi, optimasi, multi-objektif, metaheuristik, *time-cost-quality trade-off*, *sympiotic organisms search*, *particle swarm optimization*

1. PENDAHULUAN

Time, *cost*, dan *quality* merupakan tiga faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan di dalam proyek konstruksi. Secara umum, terjadi *trade-off* antara *time* dan *cost* untuk menyelesaikan sebuah aktivitas; semakin murah biaya dari sumber daya, semakin besar durasi yang diperlukan untuk menyelesaikan sebuah aktivitas (Feng & Liu, 1997). Menurut Zhang dan Xing (2010), *quality* ditambah dalam pertimbangan untuk menjaga kualitas proyek tetap baik. Persoalan ini disebut dengan *time-cost-quality trade-off* (TCQTO), yang bersifat multi-objektif di mana tujuannya adalah untuk mencari *time*, *cost* dan *quality* terbaik dari deretan pilihan metode dan material bangunan yang dipilih.

Salah satu cara untuk melakukan optimasi terhadap masalah TCQTO yang bersifat multi-objektif adalah dengan menggunakan metode metaheuristik. Metode metaheuristik adalah strategi yang memandu proses pencarian solusi optimal secara iteratif sesuai dengan fungsi objektifnya (Prayogo et al., 2018). Metaheuristik memberikan solusi yang dapat diterima (*acceptable*) dengan waktu yang masuk akal (*reasonable*) untuk memecahkan masalah yang kompleks dan sulit di bidang sains dan teknik (Talbi, 2009). Metode ini mampu menghasilkan penyelesaian yang baik dalam waktu yang cepat, tetapi tidak menjamin bahwa penyelesaian yang dihasilkan merupakan solusi yang paling tepat.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, m21414066@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, m21414221@john.petra.ac.id

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

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

Dalam beberapa tahun terakhir penelitian telah dilakukan untuk optimasi TCQTO menggunakan metode metaheuristik yaitu *particle swarm optimization* (PSO) (Zhang & Xing, 2010), *non-dominated sorting genetic algorithm* (Monghasemi et al., 2015; Tavana et al., 2014), *differential evolution* (DE) (Cheng et al., 2015). Penerapan metaheuristik yang masih sangat minim dalam optimasi TCQTO, maka penelitian ini digunakan metode metaheuristik PSO (Eberhart & Kennedy, 1995), dan *symbiotic organisms search* (SOS) (Cheng & Prayogo, 2014) untuk optimasi TCQTO proyek SOHO X. Diharapkan penelitian ini dapat membantu perkembangan metaheuristik di Indonesia serta untuk penelitian-penelitian yang akan datang.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Optimasi *Time-Cost-Quality Trade-Off* (TCQTO)

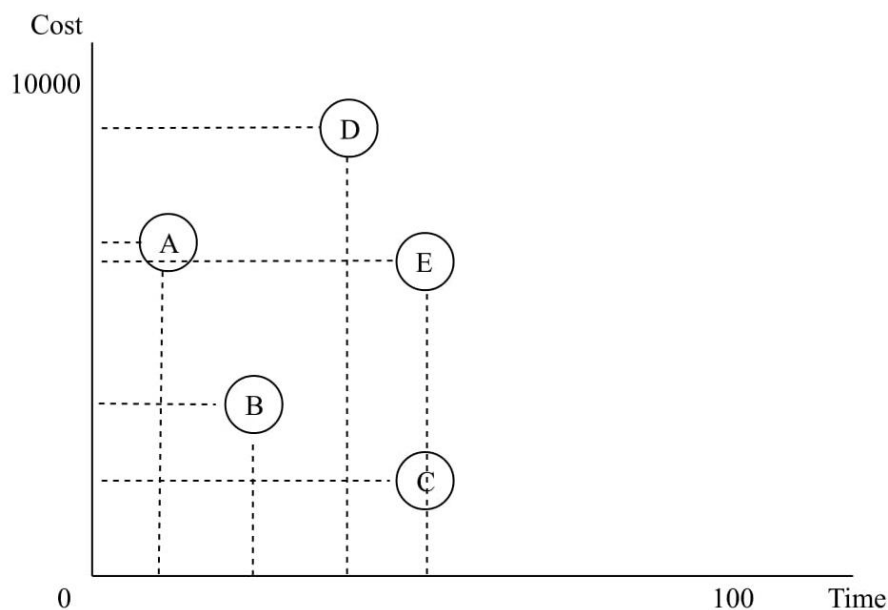
Dalam permasalahan TCQTO ada 3 aspek yang akan di cari titik optimalnya yaitu *time*, *cost*, dan *quality*. Permasalahan ini disebut sebagai permasalahan multi-objektif. Dalam penyelesaian masalah *trade-off* multi-objektif, sebuah aspek dapat dicapai nilai maksimum dengan menurunkan aspek fungsi yang lain. Fokus dari TCQTO adalah memilih alternatif pekerjaan yang sesuai untuk mendapatkan objektif *cost*, objektif *time* atau objektif *quality* yang terbaik. TCQTO dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Minimize project time} = \sum_{i=1}^l T_i^a \quad (1)$$

$$\text{Minimize project cost} = \sum_{i=1}^l Cm_i^a + Cu_i^a \quad (2)$$

$$\text{Maximize project quality} = \sum_{i=1}^l Aw_i \times Q_i^a \quad (3)$$

Di mana: i adalah aktivitas ke [1,2,3,4,...,l], a adalah alternatif; T_i^a = durasi aktivitas ke i alternatif ke a ; Cm_i^a = biaya bahan aktivitas ke i alternatif ke a ; Cu_i^a = biaya upah aktivitas ke i alternatif ke a ; Aw_i = bobot aktivitas ke i ; Q_i^a = kualitas aktivitas ke i alternatif ke a .



Gambar 1. Hubungan antar Aspek Multi-Objektif

Gambar 1 merupakan contoh hubungan antar aspek yaitu *time* dan *cost*. Optimasi *trade-off* multi-objektif pada kinerjanya akan mengeluarkan semua solusi yang mungkin bisa didapat dari setiap kemungkinan yang ada (A, B, C, D, dan E). Lalu proses *non-dominated sorting* dilakukan di mana setiap aspek daripada solusi-solusi yang ada dibandingkan nilai-nilainya pada contoh ini *time* dan *cost*. Setelah

dilakukan *non-dominated sorting* maka solusi-solusi yang aspek-aspeknya terdominasi akan dibuang, dan solusi optimal akan diambil dan dikumpulkan menjadi sebuah *pareto set* pada contoh kasus ini A, B, dan C.

2.2. Metode Optimasi Metaheuristik dalam TCQTO

Metaheuristik dapat menjadi metode yang efisien untuk menggunakan *trial and error* untuk menghasilkan solusi dari persoalan yang kompleks dalam waktu yang cukup singkat (Gandomi et al., 2013). Tujuan dari metode metaheuristik ini adalah agar dapat mendapatkan hasil yang berkualitas baik dalam waktu yang dapat diterima dan bisa digunakan untuk berbagai jenis masalah atau persoalan seperti TCQTO. Dalam penelitian ini metode metaheuristik yang digunakan adalah PSO dan SOS.

2.2.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle swarm optimization (PSO) adalah sebuah *swarm intelligence* yang dikembangkan oleh Eberhart dan Kennedy (1995). PSO dimulai dengan menyebar partikel secara acak pada suatu ruang pencarian. Masing-masing partikel bergerak dengan kecepatan secara acak untuk menemukan lokasi yang lebih optimal. Setiap lokasi akan dievaluasi hingga partikel menemukan lokasi yang paling optimal.

2.2.2. Symbiotic Organisms Search (SOS)

Algoritma SOS adalah sebuah metode metaheuristik yang dikembangkan oleh Cheng dan Prayogo (2014), terinspirasi dari interaksi ketergantungan biologis (simbiosis) yang terlihat di alam (Tran et al., 2016). Seperti metode metaheuristik pada umumnya SOS memiliki kesamaan seperti: menggunakan populasi untuk mencari solusi global; memiliki operator yang menuntun proses pencarian; memiliki mekanisme pemilihan untuk menentukan solusi yang lebih baik; membutuhkan pengaturan parameter untuk mengontrol seperti besar populasi dan evaluasi maksimum (Tran et al., 2016). SOS memakai tiga jenis interaksi yaitu mutualisme, komensalisme, dan parasitisme. Setiap organisme saling berinteraksi dengan yang lain secara acak dan akan mengalami ketiga fase tersebut. Prosedur ini akan terus dilakukan hingga hasil yang didapat sesuai dengan kriteria yang diinginkan (Cheng & Prayogo, 2014).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur dalam penelitian ini terdiri dari tiga fase, yaitu fase persiapan, fase pengumpulan data dan fase simulasi dan pengolahan hasil. Fase persiapan meliputi pembuatan algoritma PSO dan SOS menggunakan program MATLAB serta mengumpulkan dan mempelajari literatur tentang TCQTO dan metaheuristik. Fase pengumpulan data meliputi pengumpulan rencana anggaran biaya (RAB), *activity network*, durasi proyek, nilai *quality* dari kuisioner yang dibuat dan dibagikan, serta harga pasar material. Fase simulasi dan pengolahan hasil dilakukan dengan menyiapkan alternatif pekerjaan, alternatif pekerjaan dioptimalkan dan hasil optimasi tiap algoritma dibandingkan untuk menentukan algoritma yang lebih baik. Serta pilihan alternatif masing-masing solusi yang optimal untuk proyek SOHO X dapat diketahui.

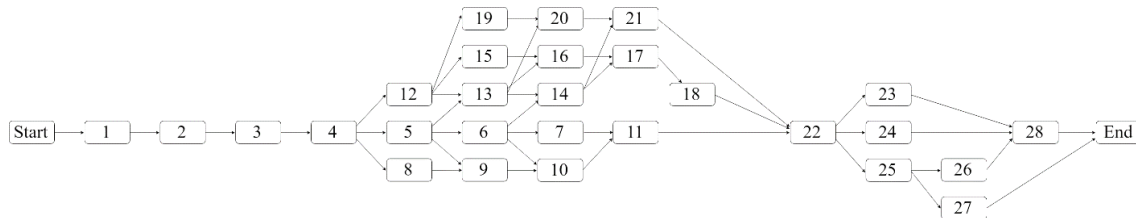
4. HASIL DAN DISKUSI

Dalam studi ini, data RAB menggunakan RAB proyek X. Proyek X merupakan sebuah proyek SOHO 3 lantai di daerah Surabaya bagian barat. Data *cost* didapat dari survey harga pasar di Surabaya. Data *time* didapat dari konsultasi dengan ahli yang merupakan kontraktor yang membangun proyek SOHO yang dijadikan proyek model. Data *quality* didapat dengan rata-rata dari kuisioner yang dibagikan kepada 30 responden yang mempunyai latar belakang sebagai pihak kontraktor dan *developer*. Bobot aktivitas didapat dari RAB proyek X. Tabel daftar alternatif pekerjaan yang berisi nilai *time*, *cost*, dan *quality* pada masing-masing alternatif setiap aktivitas pada proyek X dapat dilihat pada **Tabel 1**

Tabel 1. Daftar Alternatif Pekerjaan Proyek SOHO X

No	Daftar Aktivitas	Alternatif	Time (Hari)	Cost (Rupiah)	Quality (%)	Bobot Aktivitas (%)
1	Pekerjaan persiapan	1	4	Rp8.087.850	100,00	0,85
2	Pekerjaan tanah	1	14	Rp15.767.382	100,00	1,66
3	Pekerjaan pondasi	1	7	Rp27.104.225	100,00	2,85
4	Pekerjaan struktur lantai 1	1	30	Rp65.209.145	100,00	6,86
		2	27	Rp81.728.795	100,00	
5	Pekerjaan struktur lantai 2	1	30	Rp94.533.318	100,00	9,95
		2	27	Rp118.481.758	100,00	
6	Pekerjaan struktur lantai 3	1	30	Rp135.970.423	100,00	14,31
		2	27	Rp170.416.264	100,00	
7	Pekerjaan dek atap	1	21	Rp27.418.860	100,00	2,88
8	Pekerjaan plumbing vertikal lantai 1	1	4	Rp9.391.250	100,00	0,99
9	Pekerjaan plumbing vertikal lantai 2	1	4	Rp9.391.250	100,00	0,99
10	Pekerjaan plumbing vertikal lantai 3	1	4	Rp9.391.250	100,00	0,99
11	Pekerjaan plumbing horizontal	1	7	Rp28.173.750	100,00	2,96
12	Pekerjaan pasangan dinding lantai 1	1	14	Rp7.317.240	81,08	0,77
		2	30	Rp11.257.960	56,60	
13	Pekerjaan pasangan dinding lantai 2	1	14	Rp15.415.434	81,08	1,62
		2	30	Rp23.432.166	56,60	
14	Pekerjaan pasangan dinding lantai 3	1	14	Rp21.147.809	81,08	2,22
		2	30	Rp31.780.262	56,60	
15	Pekerjaan plesteran dan acian lantai 1	1	14	Rp21.309.886	75,00	2,24
		2	21	Rp20.190.602	60,00	
16	Pekerjaan plesteran dan acian lantai 2	1	14	Rp30.628.377	75,00	3,22
		2	21	Rp28.955.019	60,00	
17	Pekerjaan plesteran dan acian lantai 3	1	14	Rp43.666.734	75,00	4,59
		2	21	Rp41.581.692	60,00	
18	Pekerjaan penutup dinding kamar mandi	1	21	Rp15.836.219	51,72	1,67
		2	21	Rp18.147.666	93,75	
19	Pekerjaan elektrikal lantai 1	1	7	Rp11.588.500	100,00	1,22
20	Pekerjaan elektrikal lantai 2	1	7	Rp11.588.500	100,00	1,22
21	Pekerjaan elektrikal lantai 3	1	7	Rp11.588.500	100,00	1,22
22	Pekerjaan plafon	1	14	Rp26.996.840	53,57	2,84
		2	14	Rp36.597.840	88,24	
23	Pekerjaan aksesori elektrikal	1	7	Rp4.742.400	95,74	0,50
		2	7	Rp5.009.200	54,22	
		3	7	Rp5.552.200	90,00	
24	Pekerjaan pengecatan dasar	1	30	Rp44.217.000	100,00	4,65
25	Pekerjaan penutup lantai	1	14	Rp96.627.456	58,82	10,17
		2	14	Rp108.599.884	76,92	
26	Pekerjaan pintu dan jendela	1	21	Rp98.593.900	100,00	10,37
27	Pekerjaan pemasangan sanitair	1	7	Rp22.193.200	93,75	2,33
		2	7	Rp16.166.800	51,72	
28	Pekerjaan pengecatan akhir	1	60	Rp36.602.148	93,75	3,85
		2	60	Rp15.096.877	51,72	

Nilai-nilai alternatif pada **Tabel 1** dioptimalkan dalam algoritma metaheuristik PSO dan SOS. Dalam penyusunan alternatif pekerjaan, algoritma PSO dan SOS akan mengikuti skema *activity network* agar hasil yang diperoleh dapat diaplikasikan secara langsung kepada proyek SOHO X. Skema *activity network* dapat dilihat pada **Gambar 2**.

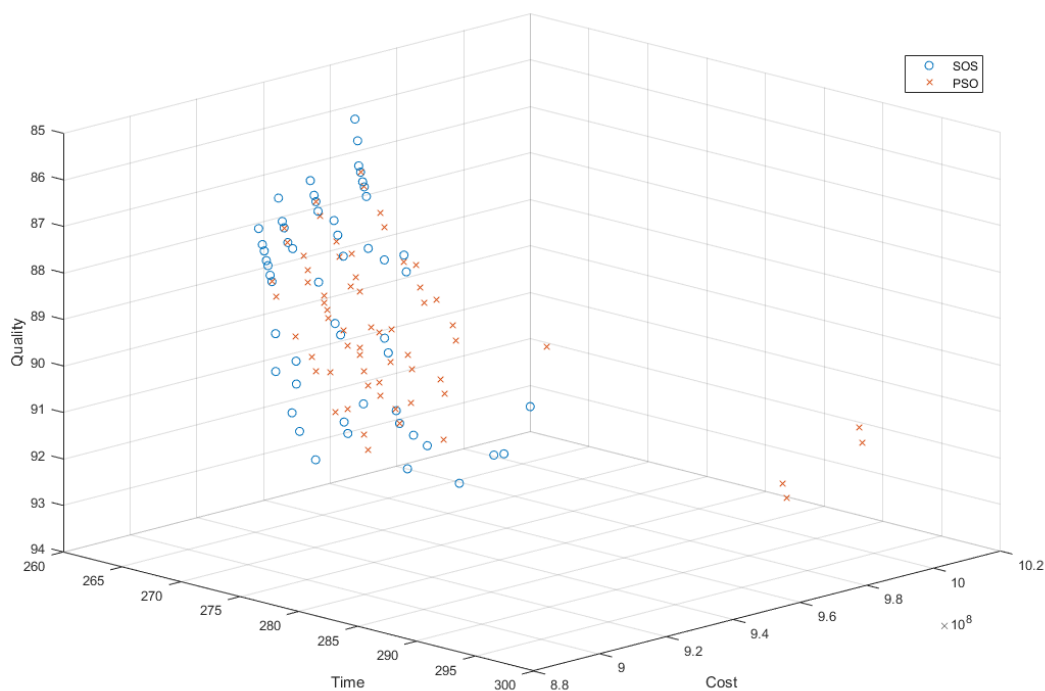


Gambar 2. Activity Network Proyek SOHO X

4.1. Perbandingan Algoritma Metaheuristik PSO dan SOS

Hasil dari analisa menggunakan algoritma PSO dan SOS bahwa dengan populasi dan iterasi yang sama PSO lebih unggul dalam jumlah hasil optimasi dengan nilai rata-rata 65 hasil dan SOS hanya mempunyai rata-rata jumlah hasil 56,5 hasil. Tetapi, hasil yang didapatkan oleh PSO mempunyai inkonsistensi yang lebih tinggi melihat standar deviasi yang lebih tinggi yaitu 15,6182. Sedangkan SOS memiliki jumlah hasil yang lebih konsisten dengan standar deviasi 7,5365..

Perbandingan kinerja dari PSO dan SOS dapat dilihat pada hasil optimasi yang telah didapat. Kedua algoritma metaheuristik ini dibandingkan dengan melihat jumlah hasil optimasi dan hasil nilai *time*, *cost* dan *quality* paling optimum dari kedua algoritma metaheuristik. Nilai *time* dan *cost* paling optimum adalah nilai yang paling kecil. Sedangkan, untuk *quality* paling optimum adalah nilai yang paling besar. Untuk hasil optimasi dari PSO dan SOS digambarkan dalam sebuah *pareto set* di mana terdapat titik-titik yang melambangkan masing-masing solusi optimum. *Pareto set* membentuk grafik 3 dimensi karena memiliki 3 sumbu yaitu sumbu *time*, *cost* dan *quality*. *Pareto set* dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Pareto Set dari Optimasi TCQTO Menggunakan Metaheuristik PSO dan SOS

Dari titik-titik solusi dari *pareto set* **Gambar 3**, penulis mengambil 3 solusi yang mempunyai nilai terbaik pada tiap-tiap aspek dilihat pada **Tabel 2**. Dari nilai optimum tiap-tiap aspek menunjukkan bahwa SOS merupakan algoritma metaheuristik yang lebih unggul dibandingkan PSO, walaupun nilai *time* paling optimum dapat ditemukan oleh kedua algoritma. Tetapi, SOS bisa mendapatkan solusi-solusi yang memiliki nilai *cost* dan *quality* yang lebih optimum dibandingkan dengan hasil solusi yang didapatkan PSO.

Tabel 2. Titik Solusi dengan Nilai *Time*, *Cost*, dan *Quality* Terbaik

Algoritma	Keterangan	Case	Time (Day)	Cost (Rupiah)	Quality (%)
PSO	Diurutkan berdasarkan <i>time</i>	1	264	955.009.801	86,96
		2	264	956.129.085	87,30
		3	264	961.036.201	87,94
	Diurutkan berdasarkan <i>cost</i>	4	280	895.774.721	87,31
		5	273	896.740.479	87,66
		6	273	897.859.763	88,00
	Diurutkan berdasarkan <i>quality</i>	7	290	1.013.906.552	92,19
		8	296	969.845.433	92,19
		9	290	1.012.787.268	91,85
SOS	Diurutkan berdasarkan <i>time</i>	10	264	953.336.443	85,79
		11	264	954.146.243	86,27
		12	264	954.455.727	86,82
	Diurutkan berdasarkan <i>cost</i>	13	280	890.670.632	85,79
		14	280	891.789.916	86,13
		15	273	892.755.674	86,45
	Diurutkan berdasarkan <i>quality</i>	16	267	987.432.952	93,42
		17	270	963.484.512	93,42
		18	267	984.406.991	93,39

4.2. Pilihan Alternatif Setiap Pekerjaan yang Mempunyai Nilai Optimum

Dari solusi-solusi yang telah diurutkan pada **Tabel 2** maka pilihan alternatif untuk tiap-tiap solusi bisa dilihat pada **Tabel 3**. Pilihan alternatif diurutkan dari aktivitas pekerjaan 1 sampai 28. Angka 1, 2, 3 menentukan alternatif yang diambil.

Tabel 3. Pilihan Alternatif Aktivitas untuk Titik Solusi Terbaik

Algoritma	Keterangan	Case	Pilihan Alternatif untuk Setiap Aktivitas
PSO	Diurutkan berdasarkan <i>time</i>	1	[1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2]
		2	[1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2]
		3	[1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2]
	Diurutkan berdasarkan <i>cost</i>	4	[1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2.1.1.1.1.1.1.2.2]
		5	[1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.1.1.2.1.1.1.1.1.1.2.2]
		6	[1.2.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2]
	Diurutkan berdasarkan <i>quality</i>	7	[1.1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.2.1.1.2.2.1.1.1.2.1.1.2.1.1.1]
		8	[1.1.1.1.1.1.2.1.1.1.1.1.1.2.1.1.2.2.1.1.1.2.1.1.2.1.1.1]
		9	[1.1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.2.2.1.2.2.1.1.1.2.1.1.2.1.1.1]

Algoritma	Keterangan	Case	Pilihan Alternatif untuk Setiap Aktivitas
SOS	Diurutkan berdasarkan <i>time</i>	10	[1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2]
		11	[1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2.1.1.1.1.1.3.1.1.2.2]
		12	[1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.1.1.2.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2]
	Diurutkan berdasarkan <i>cost</i>	13	[1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2.2.1.1.1.1.1.1.1.2.2]
		14	[1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2.1.1.1.1.1.1.1.2.2]
		15	[1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.2.1.1.1.1.1.1.1.2.2]
	Diurutkan berdasarkan <i>quality</i>	16	[1.1.1.2.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.1.1.1.2.1.1.2.1.1.1]
		17	[1.1.1.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.1.1.1.2.1.1.2.1.1.1]
		18	[1.1.1.2.1.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2.1.1.1.2.3.1.2.1.1.1]

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang optimasi TCQTO dengan metode metaheuristik PSO dan SOS, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Studi ini telah melakukan optimasi TCQTO dengan menggunakan algoritma PSO dan SOS pada sebuah proyek soho, proyek X.
2. Hasil analisa perbandingan kinerja algoritma metaheuristik PSO dan SOS menunjukkan bahwa algoritma SOS lebih unggul dalam memberikan solusi yang optimum.
3. Algoritma PSO menunjukkan jumlah solusi yang lebih banyak daripada algoritma SOS, tetapi nilai aspek proyek yang diberikan tidak seoptimal SOS.
4. Dari hasil optimasi terdapat beberapa solusi yang mempunyai nilai yang paling optimal. Dari beberapa solusi yang ada, solusi dengan nilai *time* terbaik mempunyai nilai *time* 264 hari. Solusi dengan *cost* yang terbaik memiliki nilai *cost* Rp890.670.632. Solusi dengan *quality* yang terbaik mempunyai nilai *quality* 93,42%.
5. Pilihan alternatif aktivitas yang menghasilkan solusi-solusi dengan nilai-nilai *time*, *cost*, dan *quality* terbaik dapat dilihat pada **Tabel 3**.

6. SARAN

Penelitian ini masih dapat dikembangkan dan dijadikan dasar untuk penelitian multi-objektif lainnya. Saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penelitian selanjutnya adalah:

1. Contoh kasus proyek pada studi ini merupakan proyek SOHO 3 lantai. Selanjutnya dapat dilakukan optimasi untuk bangunan-bangunan yang lebih rumit dan kompleks. Dengan pemilihan alternatif yang lebih kompleks, maka kinerja daripada algoritma metaheuristik dapat lebih terlihat.
2. Algoritma yang dipakai dalam penelitian ini adalah PSO dan SOS. Ada beberapa metode metaheuristik lain yang dapat digunakan untuk penelitian serupa.
3. Data alternatif lebih divariasikan sehingga hasil dari *pareto front* bisa lebih jelas terlihat.

7. DAFTAR REFERENSI

- Cheng, M.-Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic Organisms Search: A New Metaheuristic Optimization Algorithm. *Computers & Structures*, 139, 98-112.
- Cheng, M.-Y., Tran, D.-H., & Cao, M.-T. (2015). Chaotic Initialized Multiple Objective Differential Evolution With Adaptive Mutation Strategy (CA-MODE) for Construction Project Time-Cost-Quality Trade-Off. *Journal of Civil Engineering and Management*.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. *Paper presented at the Micro Machine and Human Science, 1995. MHS'95.*, Proceedings of the Sixth International Symposium on.
- Feng, C.-W., & Liu, L. (1997). Using Genetic Algorithms to Solve Connection Time-Cost Trade-off Problems. *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- Gandomi, A. H., Yang, X.-S., Talatahari, S., & Alavi, A. H. (2013). Metaheuristic Algorithms in Modeling and Optimization. *Metaheuristic Applications in Structures and Infrastructures* (pp. 1-24): Elsevier.
- Monghasemi, S., Nikoo, M. R., Khaksar Fasaee, M. A., & Adamowski, J. (2015). A Novel Multi Criteria Decision Making Model for Optimizing Time–Cost–Quality Trade-Off Problems In Construction Projects. *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3089-3104. doi: 10.1016/j.eswa.2014.11.032
- 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.
- Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics: from Design to Implementation* (Vol. 74): John Wiley & Sons.
- Tavana, M., Abtahi, A.-R., & Khalili-Damghani, K. (2014). A New Multi-Objective Multi-Mode Model for Solving Preemptive Time–Cost–Quality Trade-Off Project Scheduling Problems. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1830-1846. doi: 10.1016/j.eswa.2013.08.081
- Tran, D.-H., Cheng, M.-Y., & Prayogo, D. (2016). A Novel Multiple Objective Symbiotic Organisms Search (MOSOS) for Time–Cost–Labor Utilization Tradeoff Problem. *Knowledge-Based Systems*, 94, 132-145.
- Zhang, H., & Xing, F. (2010). Fuzzy-Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Time–Cost–Quality Tradeoff in Construction. *Automation in Construction*, 19(8), 1067-1075.