

PENGGUNAAN ALGORITMA METAHEURISTIK UNTUK OPTIMASI *FINANCE-BASED SCHEDULING*

Ambrosius Matthew Junius Reynaldo*¹ dan Doddy Prayogo¹

¹Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra, Surabaya

E-mail: matthew.junius@petra.ac.id

ABSTRAK:

Keberhasilan proyek konstruksi dipengaruhi oleh penjadwalan proyek dan kondisi finansial kontraktor. Kedua faktor ini perlu terintegrasi dengan baik sehingga tercapai penjadwalan proyek yang mempertimbangkan kondisi keuangan perusahaan kontraktor. Konsep *finance-based scheduling* mengintegrasikan kedua faktor tersebut dan penelitian ini berusaha melakukan proses optimasi dengan menggunakan algoritma metaheuristik. Pemilihan konsep *finance-based scheduling* bertujuan untuk menghindarkan proyek dari keterlambatan dan pembengkakan biaya. Proses optimasi *finance-based scheduling* meminimalkan total durasi proyek, besarnya pinjaman dana, dan besarnya bunga pinjaman dari bank secara simultan. Hasil dari proses optimasi yang dilakukan pada studi kasus proyek SOHO X di Surabaya adalah berbagai skenario penjadwalan proyek yang dapat dipilih oleh kontraktor sesuai dengan tingkat kepentingannya.

Kata Kunci: penjadwalan proyek, kondisi finansial, *finance-based scheduling*, optimasi

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi meliputi tiga tahapan utama yaitu, tahap perencanaan, tahap pembangunan, dan tahap penyerahan pada pemilik. Tahap perencanaan merupakan proses pembuatan jadwal proyek konstruksi dilakukan, yang merupakan faktor penting penentu keberhasilan proyek. Pembuatan jadwal proyek atau penjadwalan merupakan serangkaian proses yang menghasilkan suatu skema dengan tujuan menentukan urutan serangkaian aktivitas proyek [1]. Selain itu, faktor lain yang penting dalam keberhasilan proyek konstruksi adalah kondisi keuangan kontraktor, terutama dalam hal pendanaan proyek. Peramalan arus kas diperlukan pada setiap tahapan konstruksi karena kondisi keuangan kontraktor merupakan sumber daya kritis. Peramalan arus kas bertujuan untuk memastikan ketersediaan dana guna pelaksanaan jadwal proyek dengan mengatur kas perusahaan selama durasi proyek konstruksi [2]. Kontraktor sering mengandalkan sumber dana eksternal seperti pinjaman bank karena besarnya dana yang diperlukan dalam proyek konstruksi. Pemilik proyek akan melakukan pembayaran setelah pekerjaan selesai sehingga kontraktor perlu untuk mendanai proyek terlebih dahulu sampai pembayaran dilakukan. Akan tetapi, batasan pinjaman bank dapat menjadi faktor yang menyebabkan kontraktor kekurangan dana. Strategi pelaksanaan konstruksi yang paling tepat adalah dengan membuat jadwal proyek berdasarkan ketersediaan dana [3].

Integrasi penjadwalan dan pendanaan proyek untuk menghindari pembengkakan biaya dan keterlambatan menjadi konsep dasar *finance-based scheduling* [2]. Sebagian besar kontraktor menggunakan fasilitas *bank overdraft* sebagai sumber pendanaan proyek konstruksi dengan batasan jumlah pinjaman yang ditetapkan oleh bank. Dengan tingkat suku bunga yang telah ditetapkan, kontraktor berusaha

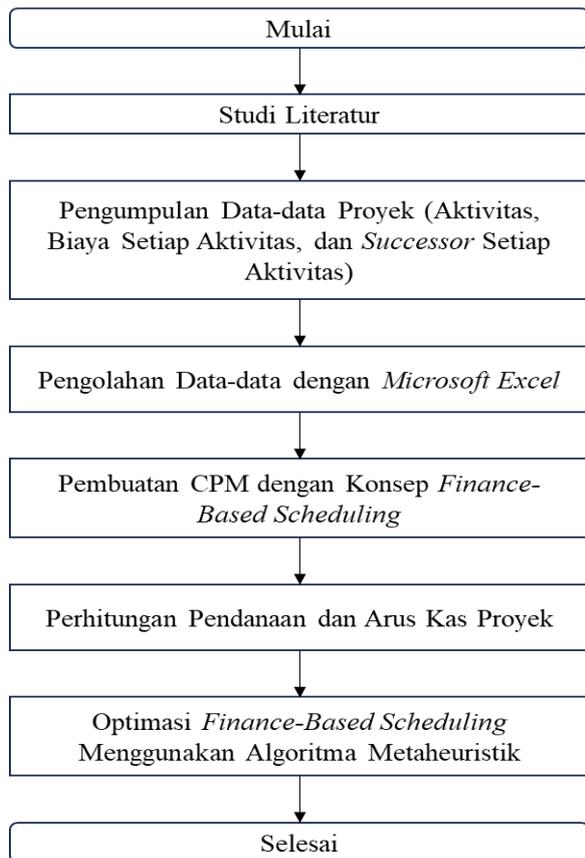
meminimalkan bunga dari pinjaman bank. Selain itu, kontraktor juga berusaha meminimalkan denda dari pinjaman yang tidak digunakan. Jadwal proyek konstruksi perlu dirancang dengan baik agar dana yang dibutuhkan pada setiap periode tidak melebihi batasan pinjaman bank [4].

Dalam *finance-based scheduling* terdapat tiga aspek yang perlu diperhatikan yaitu total durasi proyek, besarnya pinjaman dana, dan besarnya bunga pinjaman dari bank. Proses optimasi dilakukan dengan tujuan meminimalkan ketiga aspek tersebut sehingga diperoleh jadwal proyek yang optimal. Permasalahan optimasi dapat diselesaikan dengan algoritma metaheuristik dikarenakan kecepatan dan akurasi solusi yang mendekati optimal [5]. Permasalahan optimasi dalam dunia konstruksi telah banyak yang diselesaikan dengan metode metaheuristik. Beberapa diantaranya seperti, optimasi *resource leveling* dengan *Genetic Algorithm* [6] serta optimasi waktu dan biaya konstruksi dengan *Ant Colony Optimization* [7]. Seiring dengan perkembangan zaman, banyak metode metaheuristik yang dikembangkan dan salah satunya adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Algoritma PSO didasarkan pada perilaku sosial kawanan ikan dan burung. Beberapa kelebihan PSO, yaitu memiliki probabilitas dan efisiensi yang tinggi dalam mencapai global optimal, memiliki kecepatan konvergensi yang cepat dan memiliki waktu komputasi yang cepat [8].

Penelitian ini memodifikasi algoritma metaheuristik PSO menjadi *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) karena terdapat tiga fungsi objektif yang ditinjau. Studi kasus proyek nyata akan digunakan dalam penelitian ini untuk memastikan relevansi dengan kondisi yang sebenarnya. Hasil dari proses optimasi berupa skenario-skenario penjadwalan akan dibandingkan dengan analisis *what-if*. Kontraktor dapat menentukan skenario penjadwalan terbaik untuk dilaksanakan pada proyek konstruksi tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur pada jurnal dan penelitian terdahulu untuk memperoleh konsep *finance-based scheduling* dan algoritma metaheuristik MOPSO. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data-data proyek meliputi aktivitas, biaya setiap aktivitas, dan *successor* setiap aktivitas yang diperoleh dari penelitian Ho dan Gozal pada tahun 2018 yaitu proyek SOHO X di Surabaya. Data-data proyek tersebut akan dituangkan dalam *microsoft excel* dan digunakan dalam proses pembuatan CPM untuk memperoleh informasi setiap aktivitas berupa *early start, early finish, late start, late finish, dan total float*. Informasi ini akan digunakan dalam proses optimasi dengan metode metaheuristik MOPSO. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Pembuatan CPM dengan Konsep Finance-Based Scheduling

Tahap awal ada proses identifikasi pada jadwal proyek CPM. Selanjutnya, informasi setiap aktivitas tersebut akan dimasukkan ke dalam *microsoft excel*. Penjadwalan berbasis kondisi keuangan atau dikenal *finance-based scheduling* akan memodifikasi waktu mulai aktivitas proyek dan memperpanjang total durasi proyek apabila diperlukan untuk membatasi arus kas negatif proyek dalam batasan kredit yang tersedia [9].

Pelaksanaan proyek dapat diperpanjang sesuai dengan ketentuan kontrak. Metode ini membantu mengembangkan jadwal yang layak secara finansial sesuai dengan batasan pinjaman yang diinginkan. Pada *finance-based scheduling* dikenal istilah *boosted total float* yang merupakan *total float* setiap aktivitas ditambahkan dengan perpanjangan durasi. Perhitungan *boosted total float* dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$J_k = TF_k + M \tag{1}$$

Dimana:

- J_k = *Boosted total float* aktivitas k
- TF_k = *Total float* asli aktivitas k dari CPM
- M = Perpanjangan durasi

Selain data-data aktivitas, diperlukan juga data karakteristik proyek yang lain yaitu perpanjangan durasi (*duration enlargement*), persentase retensi (R), persentase *profit and overhead markup* (POM), jumlah hari dalam satu periode (m), tingkat suku bunga pinjaman dari bank (r), perjanjian pembayaran termin (T_m), dan persentase denda keterlambatan (p).

2.2. Perhitungan Pendanaan dan Arus Kas Proyek

Sistem pinjaman yang umum digunakan oleh kontraktor adalah plafon rekening koran (PRK) yang memungkinkan kontraktor untuk memperoleh pinjaman dari bank sesuai dengan batasan nominal pinjaman yang telah ditentukan untuk pendanaan proyek. Tingkat suku bunga akan mempengaruhi besarnya bunga yang dikenakan pada kontraktor. Selain itu, terdapat juga faktor besarnya dana yang dipinjam dan durasi peminjaman yang juga berpengaruh pada besarnya bunga pinjaman. Kontraktor memerlukan proyeksi arus kas untuk mengambil keputusan berdasarkan kondisi keuangan. Arus kas proyek konstruksi mencakup saldo yang diterima dan dikeluarkan untuk proyek selama durasi tertentu. Saldo yang diterima merupakan jadwal pembayaran dari pemilik, sementara itu saldo yang dikeluarkan merupakan biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung. Total biaya langsung pada hari ke i dihitung dengan Persamaan 2 [10]. Selanjutnya, total pengeluaran proyek pada periode t dihitung dengan Persamaan 3.

$$y_i = \sum_{p=1}^{n_i} y_{pi} \tag{2}$$

$$E_t = \sum_{i=(m \times (t-1)) + 1}^{m \times t} (y_i) \tag{3}$$

Dimana:

- y_i = Total biaya langsung
- n_i = Jumlah aktivitas yang memiliki durasi tumpang tindih dengan hari ke i
- y_{pi} = Biaya langsung aktivitas p hari ke i
- E_t = Total pengeluaran proyek pada periode t
- m = Jumlah hari dalam satu periode
- i = 1, 2, ..., T (total durasi proyek)

Pada setiap akhir periode, pemilik akan melakukan pembayaran pada kontraktor. Di dalam pembayaran tersebut terdapat retensi (R) dan *profit and overhead markup* (POM). Pemilik akan menahan sejumlah pembayaran sesuai dengan besarnya persentase retensi (R) sebagai jaminan kontraktor menyelesaikan proyek dengan baik. Besarnya persentase retensi bergantung dari perjanjian dan ditahan oleh pemilik dari setiap tagihan kontraktor. Pada akhir proyek, retensi tersebut akan dibayarkan kembali kepada kontraktor. Harga penawaran proyek diperoleh dengan mengalikan persentase *profit and overhead markup* (POM) dengan biaya langsung konstruksi. Oleh karena itu, besarnya pembayaran yang diterima kontraktor dihitung dengan Persamaan 4 [10].

$$P_t = (1 - R) \times (1 + POM) \times E_t \quad \text{Persamaan (4)}$$

Dimana:

- P_t = Pembayaran pada akhir periode t
- R = Persentase retensi
- POM = Persentase *profit and overhead markup*
- E_t = Total pengeluaran proyek pada periode t

Kontraktor perlu membayar bunga atas pinjaman yang dilakukan. Perhitungan bunga tersebut didasarkan pada kondisi besarnya arus kas kumulatif kontraktor. Besarnya bunga yang dikenakan pada kontraktor dihitung dengan Persamaan 5. Arus kas kumulatif kontraktor pada akhir periode t dihitung dengan Persamaan 6. Setelah menerima pembayaran dari pemilik, maka arus kas bersih kontraktor dihitung dengan Persamaan 7. Arus kas proyek konstruksi dapat dilihat pada Gambar 2.

Perhitungan dengan Persamaan 5 :

$$I_t = \begin{cases} 0, & \text{jika } N'_{t-1} > 0 \text{ dan } N'_t \geq E_t \\ |r(E_t + N'_{t-1})|, & \text{jika } N'_{t-1} < 0 \end{cases} \quad \text{Persamaan (5)}$$

Perhitungan dengan Persamaan 6 :

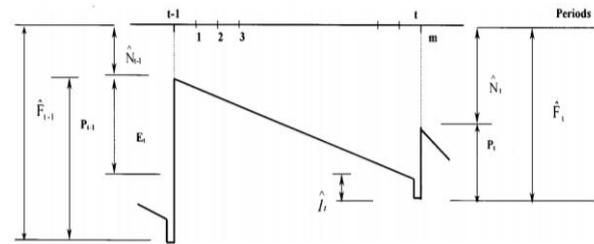
$$F'_t = F_t + I_t \quad \text{Persamaan (6)}$$

Perhitungan dengan Persamaan 7.

$$N'_t = F'_t + P_t \quad \text{Persamaan (7)}$$

Dimana:

- I_t = Bunga pinjaman pada akhir periode
- E_t = Total pengeluaran proyek
- N'_{t-1} = Arus kas bersih pada akhir periode $t - 1$
- N'_t = Arus kas bersih pada akhir periode t
- F'_t = Arus kas kumulatif pada akhir periode
- P_t = Pembayaran dari pemilik pada akhir periode



Gambar 2. Penggambaran Arus Kas Proyek

2.3. Optimasi *Finance-Based Scheduling* Menggunakan Algoritma Metaheuristik

Pada proses optimasi, waktu mulai dari setiap aktivitas akan digeser agar diperoleh kombinasi susunan aktivitas yang menghasilkan solusi fungsi objektif paling minimum. Pergeseran waktu mulai (*shift value*) inilah yang akan menjadi variabel optimasi. Pergeseran waktu mulai (*shift value*) dibatasi oleh batas bawah (*lower bound*) dan batas atas (*upper bound*) sesuai dengan Tabel 1. Batas bawah *shift value* bernilai nol yang berarti aktivitas boleh tidak digeser dari waktu mulai awalnya, dan batas atas *shift value* adalah *boosted total float* masing-masing aktivitas. *Boosted total float* merupakan batas waktu maksimum yang dapat digunakan untuk pergeseran waktu mulai aktivitas tanpa melampaui batasan waktu yang telah ditetapkan seperti pada Tabel 1

Tabel 1. Batas Atas dan Batas Bawah Variabel

| Variabel | Batas Bawah | Batas Atas |
|----------|-------------|------------------|
| X_1 | 0 | $J_1 = TF_1 + M$ |
| X_2 | 0 | $J_2 = TF_2 + M$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| X_k | 0 | $J_k = TF_k + M$ |

Algoritma metaheuristik yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Algoritma PSO dikembangkan pada tahun 1995 oleh Kennedy dan Eberhart [11]. Pada proses optimasi multiobjektif, maka algoritma PSO biasa perlu dimodifikasi menjadi MOPSO. Pada MOPSO, proses *non-dominated sorting* ditambahkan dari tahapan PSO biasa. Proses ini dimulai dengan inisiasi dan randomisasi, serta dilakukan perhitungan fungsi objektif. Selanjutnya, proses *non-dominated sorting* dimulai dengan mengurutkan hasil fungsi objektif dalam suatu *archive*. Proses ini dilakukan dengan mengurutkan hasil fungsi objektif berdasarkan *ranking*. Kumpulan dari solusi yang tidak saling mendominasi akan membentuk sebuah grafik *pareto front*. Proses terakhir adalah dengan memilih satu solusi sebagai X_{gbest} . Parameter-parameter algoritma MOPSO seperti jumlah iterasi, jumlah populasi, jumlah variabel, besarnya konstanta c_1 dan c_2 , serta besarnya berat partikel juga perlu ditentukan.

Terdapat tiga fungsi objektif yang digunakan dalam optimasi *finance-based scheduling*. Fungsi objektif yang pertama adalah total durasi proyek. Total durasi proyek sudah harus memperhitungkan *duration enlargement*. Fungsi objektif yang kedua adalah besarnya pinjaman dana. Besarnya pinjaman dana terbesar diperoleh dari arus kas paling negatif selama proyek itu berlangsung. Fungsi objektif terakhir merupakan total bunga pinjaman dari bank. Total bunga pinjaman dari bank diperoleh dari perhitungan total bunga selama kontraktor melakukan pinjaman. Oleh karena terdapat tiga fungsi objektif, maka perlu dilakukan pendekatan *multi-objective* agar ketiga fungsi tersebut dapat ditinjau secara bersamaan. Proses optimasi nantinya akan mencari nilai minimum pada setiap fungsi objektif secara simultan dan dirumuskan dengan Persamaan 8.

$$\text{minimize } \begin{cases} f_1 = \max(mF_k) \\ f_2 = |\min(F'_t)| \\ f_3 = |FC| \end{cases} \quad (8)$$

Dimana:

- mF_k = Total durasi proyek
- F'_t = Arus kas negatif pada periode t
- FC = Total bunga pinjaman dari bank

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Studi Kasus Penelitian

Penelitian ini menggunakan studi kasus proyek *Small Office Home Office (SOHO) X* di Surabaya dengan 28 aktivitas proyek [12]. Pendanaan proyek berasal dari pihak bank secara keseluruhan, yaitu jenis plafon rekening koran (PRK). Kontraktor tidak menerima *down payment* dan tidak ada modal pribadi yang digunakan untuk membiayai proyek. Perhitungan fungsi objektif memerlukan data karakteristik proyek pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Proyek

| No | Karakteristik | Nilai |
|----|---------------|---------------|
| 1 | M | 30 hari |
| 2 | m | 7 hari |
| 3 | r | 0.175%/minggu |
| 4 | R | 5% |
| 5 | POM | 10% |
| 6 | t_p | 14 hari |
| 7 | T_m | 20% |
| 8 | p | 1 (%/hari) |

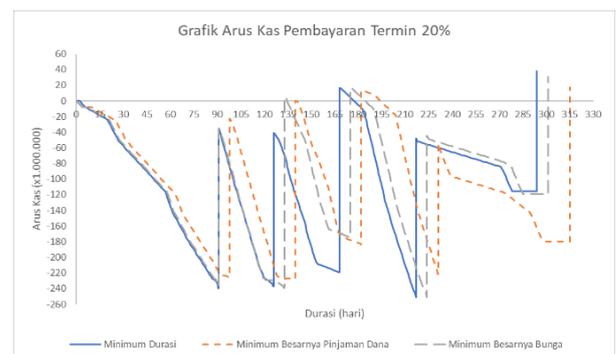
3.2. Hasil Penelitian

Penelitian ini melakukan optimasi *finance-based scheduling* dengan pembayaran termin setiap 20% kemajuan fisik proyek. Hasil proses optimasi dapat dilihat pada Tabel 3. Optimasi yang dilakukan menghasilkan tiga kondisi yang saling *trade-off* pada setiap fungsi objektif ditinjau. Total durasi proyek minimum dapat dicapai dengan mengeluarkan biaya

proyek lebih besar. Sebaliknya, kontraktor dapat meminjam dana dari bank paling minimum apabila proyek selesai lebih lambat dari seharusnya. Kondisi terakhir, minimum besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan dicapai dengan durasi proyek yang lebih lambat juga. Grafik arus kas dari setiap kondisi yang ditinjau disajikan dalam Gambar 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Optimasi pada Tiga Kondisi yang Ditinjau

| Kondisi | Total Durasi (Hari) | Besarnya Pinjaman Dana (Rp) | Besarnya Bunga (Rp) |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| Minimum durasi proyek | 278 | 250.817.997 | 8.806.402 |
| Minimum besarnya pinjaman dana | 299 | 227.478.539 | 9.569.046 |
| Minimum besarnya bunga | 285 | 250.818.006 | 8.644.849 |



Gambar 3. Grafik Arus Kas

Pada kondisi minimum durasi proyek yaitu dengan total durasi 278 hari, maka kontraktor perlu meminjam dana paling besar dari pihak bank sebesar Rp 250.817.997 dan membayar bunga sebesar Rp 8.806.402. Sementara itu, pada kondisi minimum besarnya pinjaman dana yaitu dengan total durasi 299 hari, maka kontraktor perlu meminjam dana paling besar dari pihak bank sebesar Rp 227.478.539 dan membayar bunga sebesar Rp 9.569.046. Sebaliknya, pada kondisi minimum besarnya bunga yaitu dengan total durasi 285 hari, maka kontraktor perlu meminjam dana paling besar dari pihak bank sebesar Rp 250.818.006 dan membayar bunga sebesar Rp 8.644.849. Pada pembayaran ketiga yaitu saat kemajuan fisik proyek mencapai 60%, ketiga kondisi yang ditinjau mengalami arus kas positif yang dapat dilihat pada Gambar 3. Hal ini berarti ada sebagian pendanaan proyek yang tidak dipinjam dari pihak bank untuk mendanai kegiatan periode berikutnya.

Berdasarkan pada ketiga kondisi di atas, maka dapat dilakukan analisis *what-if* sesuai dengan tingkat kepentingan kontraktor. Pemilihan skenario penjadwalan terbaik disesuaikan berdasarkan kondisi nyata di lapangan. Skenario 1 dipilih apabila kontraktor tidak ingin proyeknya terlambat tetapi dengan resiko dana yang dipinjam dari pihak bank lebih besar dengan membayar bunga pinjaman bank yang lebih besar pula. Skenario 2 dipilih apabila kontraktor ingin meminjam dari pihak bank seminimal mungkin dengan resiko proyek selesai lebih terlambat. Sebaliknya, skenario 3 dipilih apabila kontraktor ingin membayar bunga pinjaman bank seminimal mungkin dengan resiko proyek yang juga selesai terlambat. Analisis *what-if* dapat dirangkumkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Analisis *What-If* Berdasarkan Tingkat Kepentingan Kontraktor

| Skenario | Total Durasi (Hari) | Besarnya Pinjaman Dana (Rp) | Besarnya Bunga (Rp) |
|----------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1 | 278 | 250.817.997 | 8.806.402 |
| 2 | 299 | 227.478.539 | 9.569.046 |
| 3 | 285 | 250.818.006 | 8.644.849 |

4. KESIMPULAN

Algoritma metaheuristik MOPSO mampu melakukan proses optimasi *finance-based scheduling*. Skenario penjadwalan yang dihasilkan dapat disesuaikan dan dipilih sesuai dengan kepentingan kontraktor dan kondisi di lapangan. Proses pemilihan skenario dibantu dengan analisis *what-if* untuk mempermudah mencapai tujuan kontraktor yaitu, kondisi minimum total durasi, kondisi minimum besarnya pinjaman dana, maupun kondisi minimum total bunga pinjaman dari bank

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Elazouni and A. Gab-Allah, "Finance-based scheduling of construction projects using integer programming," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 130, no. 1, pp. 15-24, 2004.

[2] M. El-Abbasy, A. Elazouni and T. Zayed, "Finance-based scheduling multi-objective optimization: benchmarking of evolutionary algorithms," *Automation in Construction*, vol. 120, no. 103392, pp. 1-16, 2020.

[3] M. M. Ali and A. Elazouni, "Finance-based CPM/LOB scheduling of projects with repetitive non-serial activities," *Construction Management and Economics*, pp. 839-856, 2009.

[4] A. Elazouni and F. G. Metwally, "Finance-based scheduling: tool to maximize project profit using improved genetic algorithms," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, no. 4, pp. 400-412, 2005.

[5] A. E. Ezugwu and D. Prayogo, "Symbiotic organisms search algorithm : theory, recent advances and applications," *Expert Systems with Applications*, vol. 119, pp. 184-209, 2018.

[6] S.-S. Leu, C.-H. Yang and J.-C. Huang, "Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and its decision support system application," *Automation in Construction*, vol. 10, no. 1, pp. 27-41, 2000.

[7] T. Ng and Y. Zhang, "Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 134, no. 9, pp. 721-728, 2008.

[8] Z. Abdmouleh, A. Gastli, L. Ben-Brahim, M. Haouari and N. A. Al-Emadi, "Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources," *Renewable Energy*, vol. 113, pp. 266-280, 2017.

[9] A. Afshar and H. Fathi, "Fuzzy multi-objective optimization of finance based scheduling for construction projects with uncertainties in cost," *Engineering Optimization*, vol. 41, no. 11, pp. 1063-1080, 2009.

[10] H. Fathi and A. Afshar, "GA-based multi-objective optimization of finance-based construction project scheduling," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 14, pp. 627-638, 2010.

[11] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *International Conference on Neural Networks*, Perth, 1995.

[12] M. Ho and R. Gozal, "Optimasi multi-objektif permasalahan time-cost-quality trade-off pada proyek SOHO X dengan metode metaheuristik," Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan