

## **PENERAPAN *MULTI-OBJECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK OPTIMASI *FINANCE-BASED SCHEDULING* PADA PROYEK SOHO X DI SURABAYA**

Ambrosius Matthew Junius Reynaldo<sup>1</sup>, Doddy Prayogo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

<sup>2</sup> Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

<sup>1</sup> matthewjunius88@gmail.com, <sup>2</sup> prayogo@petra.ac.id

**ABSTRAK:** Penjadwalan proyek dan kondisi keuangan perusahaan kontraktor untuk pendanaan selama aktivitas proyek merupakan dua aspek penting penentu keberhasilan proyek konstruksi. Konsep *finance-based scheduling* mengintegrasikan penjadwalan proyek dan pendanaan untuk menghindari pembengkakan biaya dan keterlambatan. Metode metaheuristik digunakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan optimasi *finance-based scheduling*. Proses optimasi dengan *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dilakukan untuk meminimalkan ketiga aspek dalam *finance-based scheduling* yaitu durasi proyek, besarnya pinjaman dana yang dibutuhkan, dan besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan oleh kontraktor berdasarkan studi kasus proyek SOHO X di Surabaya. Hasil dari proses optimasi adalah solusi-solusi berupa skenario penjadwalan yang dapat dipilih oleh kontraktor berdasarkan *what-if analysis* sesuai dengan tingkat kepentingan kontraktor.

Kata kunci: *multi-objective*, metaheuristik, *finance-based scheduling*, optimasi, *what-if analysis*

**ABSTRACT:** *Construction project scheduling and contractor's financial condition to finance the project activities are two main aspects which determine construction project success. Finance-based scheduling concept integrates project scheduling and financing to prevent cost overrun and delay. Metaheuristic method is used to solve finance-based scheduling optimization problem. Optimization process using Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) is carried out to minimize three aspects in finance-based scheduling, namely project duration, required credit, and financing cost based on SOHO X project in Surabaya. The results of the optimization process are solutions which contain scheduling scenarios that can be selected by the contractor based on what-if analysis in accordance with the contractor's importance level.*

Keywords: *multi-objective*, metaheuristic, *finance-based scheduling*, optimization, *what-if analysis*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam suatu proyek konstruksi terdapat 2 aspek penting penentu keberhasilan suatu proyek yaitu penjadwalan proyek dan kondisi keuangan perusahaan kontraktor untuk pendanaan selama aktivitas proyek. Penjadwalan proyek konstruksi adalah proses membuat suatu skema untuk menentukan urutan serangkaian aktivitas proyek proyek (Elazouni & Gab-Allah, 2004). Metode penjadwalan proyek konstruksi yang banyak digunakan adalah *critical path method* (CPM) dan *program evaluation and review technique* (PERT) yang berfokus pada meminimalkan total durasi proyek konstruksi. Sementara itu, kondisi keuangan kontraktor dianggap sebagai sumber daya kritis kontraktor yang perlu direncanakan dengan baik pada seluruh tahapan proyek. Oleh karena itu, dibutuhkan peramalan arus kas yang dapat memastikan ketersediaan sejumlah dana yang diperlukan untuk pelaksanaan jadwal proyek pada setiap tahapan (Fathi & Afshar, 2010). Peramalan arus kas adalah salah satu alat penting dalam manajemen konstruksi untuk mengatur kas perusahaan selama durasi proyek berlangsung (El-Abbasy, Elazouni, & Zayed, 2020). Dana yang dibutuhkan dalam proyek konstruksi sangat besar dan kontraktor juga mengandalkan sumber dana eksternal seperti pinjaman bank. Pada umumnya, kontraktor beroperasi dengan kondisi kekurangan dana dikarenakan pembayaran dari pemilik diberikan setelah pekerjaan selesai dengan sejumlah uang ditahan dan jumlah dana yang dapat ditarik dari bank terbatas. Strategi operasi paling baik yang dapat diterapkan agar sesuai dengan perencanaan keuangan adalah membuat jadwal proyek berdasarkan ketersediaan dana (Ali & Elazouni, 2009).

Penjadwalan proyek dan pendanaan harus diintegrasikan dengan tepat pada saat tahap perencanaan untuk menghindari pembengkakan biaya dan keterlambatan (El-Abbasy, Elazouni, & Zayed, 2020). Mayoritas kontraktor menggunakan fasilitas *bank overdraft* untuk membiayai kebutuhan dana dari proyek konstruksi. Pihak bank akan menetapkan batasan nominal yang boleh dipinjam. Sebaliknya, pihak kontraktor berusaha untuk meminimalkan bunga yang timbul dari pinjaman berdasarkan pada tingkat suku bunga. Batasan nominal pinjaman yang terlalu rendah akan menyebabkan penambahan durasi proyek yang panjang, sedangkan peningkatan batasan nominal pinjaman akan memengaruhi tingkat suku bunga. Jadwal proyek harus dirancang sedemikian rupa agar kebutuhan biaya proyek pada setiap periode tidak melebihi batasan pinjaman yang diizinkan (Elazouni & Metwally, 2005).

Dari pembahasan di atas, ada tiga aspek yang perlu diperhatikan dalam *finance-based scheduling* yaitu durasi proyek, besarnya pinjaman dana yang dibutuhkan, dan besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan oleh kontraktor. Dengan demikian, proses optimasi dibutuhkan untuk memperoleh hasil yang optimal dengan tetap memperhatikan ketiga aspek tersebut. Proses optimasi dilakukan dengan meminimalkan ketiga aspek dalam *finance-based scheduling*. Dalam penelitian ini digunakan metode metaheuristik untuk membantu menyelesaikan permasalahan optimasi dikarenakan kecepatan, ketahanan dan akurasi solusi yang mendekati optimal (Ezugwu & Prayogo, 2018). Metode metaheuristik yang digunakan dalam proses optimasi adalah *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO). Jadwal proyek dari satu kasus proyek konstruksi nyata yang telah berjalan akan digunakan pada penelitian ini agar lebih relevan dengan kondisi sebenarnya. Hasil dari proses optimasi yang dilakukan akan dibandingkan dan dirumuskan menjadi *what-if analysis* berupa skenario-skenario yang dapat diambil oleh pihak kontraktor. Dengan demikian, kontraktor diharapkan dapat mengambil keputusan terbaik dalam penjadwalan proyek berdasarkan skenario yang diinginkan.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Pendanaan dan Arus Kas Proyek

Pada umumnya, kontraktor mendanai proyek konstruksi dengan pinjaman bank yang mengizinkan kontraktor untuk menarik dana hingga batas kredit yang ditetapkan (Elazouni & Metwally, 2005). Sistem pinjaman dari pihak bank yang ada di Indonesia yang paling banyak digunakan adalah plafond rekening koran (PRK). Jenis pinjaman Plafon Rekening Koran (PRK) berarti kontraktor diizinkan untuk mengambil sejumlah dana dari rekening yang telah disediakan. Besarnya bunga yang dikenakan pada kontraktor bergantung pada besarnya persentase bunga sesuai perjanjian dengan pihak bank, besarnya dana yang dipinjam, dan lamanya peminjaman. Dalam proyek konstruksi, arus kas berarti saldo yang diterima dan dikeluarkan untuk proyek selama durasi tertentu (Zayed & Liu, 2014). Arus kas keluar-masuk dalam proyek konstruksi meliputi jadwal proyek beserta dengan biaya yang dikeluarkan, rencana pembayaran berdasarkan jadwal proyek, dan jadwal pembayaran yang diterima dari pemilik (Fathi & Afshar, 2010). Proyeksi arus kas akan membantu kontraktor dalam mengambil keputusan berdasarkan kondisi ketersediaan keuangan.

Perhitungan total pengeluaran proyek dibagi menjadi biaya langsung yang terkait dengan material, tenaga kerja, peralatan, dan subkontraktor serta biaya tidak langsung yang meliputi *fixed overhead cost* ( $O_F$ ) dan *variable overhead cost* ( $O_{Vt}$ ). Menurut Fathi dan Afshar (2010), total biaya langsung pada hari ke  $i$  dihitung dengan menggunakan Persamaan 1. Selanjutnya, total pengeluaran proyek dalam periode  $t$  dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 dan dapat dimodifikasi apabila data *fixed overhead cost* ( $O_F$ ) dan *variable overhead cost* ( $O_{Vt}$ ) pada periode  $t$  tidak diketahui menggunakan Persamaan 3.

$$y_i = \sum_{p=1}^{n_i} y_{pi} \quad (1)$$

$$E_t = \sum_{i=(m \times (t-1))+1}^{m \times t} (y_i + O_F) + O_{Vt} \quad (2)$$

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

di mana:

$y_i$  = Total biaya langsung pada hari ke  $i$

$n_i$  = Jumlah aktivitas yang memiliki durasi tumpang tindih dengan hari ke  $i$

$y_{pi}$  = Besarnya pengeluaran biaya langsung aktivitas  $p$  pada hari ke  $i$

$E_t$  = Total pengeluaran pada periode  $t$

$m$  = Jumlah hari dalam 1 periode

$O_F$  = *Fixed overhead cost*

$O_{Vt}$  = *Variable overhead cost* pada periode  $t$

$i$  = 1, 2, ..., T (total durasi proyek)

Perhitungan besarnya pembayaran yang dilakukan pemilik pada setiap akhir periode harus memasukkan besarnya retensi ( $R$ ) dan *profit and overhead markup* ( $POM$ ). Retensi ( $R$ ) adalah besarnya persentase yang ditahan oleh pemilik dari setiap tagihan kontraktor untuk memastikan kontraktor menyelesaikan proyek konstruksi. Retensi ( $R$ ) nantinya akan dibayarkan ketika pekerjaan selesai. Di samping itu, *profit and overhead markup* ( $POM$ ) adalah besarnya persentase yang pada umumnya dikalikan dengan biaya langsung konstruksi untuk memperoleh harga penawaran. Menurut Fathi dan Afshar (2010), besarnya

pembayaran yang akan diterima oleh kontraktor dari pemilik dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$P_t = (1 - R) \times (1 + POM) \times \sum_{i=(m \times (t-1)) + 1}^{m \times t} y_i \quad (4)$$

di mana:

$P_t$  = Pembayaran pada akhir periode  $t$

$y_i$  = Total biaya langsung pada hari ke  $i$

$R$  = Persentase besarnya retensi

$POM$  = Persentase besarnya *profit and overhead markup*

Perhitungan besarnya arus kas kumulatif pada akhir periode  $t$  (untuk  $t \geq 1$ ) tanpa memperhitungkan bunga dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Besarnya arus kas bersih setelah menerima pembayaran dari pemilik tanpa memperhitungkan bunga pada akhir periode  $t$  dihitung dengan menggunakan Persamaan 6.

$$F_t = N_{t-1} + E_t \quad (5)$$

$$N_t = F_t + P_t \quad (6)$$

di mana:

$F_t$  = Besarnya arus kas kumulatif pada akhir periode  $t$

$N_{t-1}$  = Besarnya arus kas bersih pada akhir periode  $t - 1$

$E_t$  = Total pengeluaran proyek dalam periode  $t$

$N_t$  = Arus kas bersih akhir periode  $t$

$P_t$  = Pembayaran dari pemilik akhir periode  $t$

Perhitungan besarnya bunga yang wajib dibayar oleh kontraktor akibat peminjaman dihitung dengan menggunakan Persamaan 7. Besarnya arus kas kumulatif aktual pada akhir periode  $t$  yang memperhitungkan bunga dihitung dengan menggunakan Persamaan 8. Besarnya arus kas bersih setelah menerima pembayaran dari pemilik yang memperhitungkan bunga pada akhir periode  $t$  dihitung dengan menggunakan Persamaan 9.

$$I_t = \begin{cases} 0, & \text{jika } N'_{t-1} > 0 \text{ dan } N'_t \geq E_t \\ |r(E_t + N'_{t-1})|, & \text{jika } N'_{t-1} < 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$F'_t = F_t + I_t \quad (8)$$

$$N'_t = F'_t + P_t \quad (9)$$

di mana:

$I_t$  = Bunga yang harus dibayar pada akhir periode  $t$

$E_t$  = Total pengeluaran proyek dalam periode  $t$

$N'_{t-1}$  = Besarnya arus kas bersih pada akhir periode  $t - 1$  beserta bunga

$F'_t$  = Besarnya arus kas kumulatif pada akhir periode  $t$  beserta bunga

$F_t$  = Besarnya arus kas kumulatif pada akhir periode  $t$  tanpa bunga

$N'_t$  = Besarnya arus kas bersih pada akhir periode  $t$  beserta bunga

$P_t$  = Pembayaran diterima kontraktor dari pemilik (*owner*) pada akhir periode  $t$

## 2.2. Finance Based Scheduling

*Finance-based scheduling* adalah sebuah teknik yang mempertimbangkan pinjaman bank sebagai metode pendanaan proyek dan merubah jadwal awal agar sesuai dengan ketentuan

perjanjian (Afshar & Fathi, 2009). Metode ini dilakukan dengan mengubah waktu mulai dari aktivitas proyek dalam batas *total float* dan memperpanjang total durasi proyek (bila dibutuhkan) dengan mengembangkan jadwal baru, untuk mengurangi arus kas negatif dengan batasan pinjaman yang tersedia. Pengembangan jadwal dilakukan berdasarkan pada data-data yang telah diperoleh dari CPM dan perpanjangan durasi (*duration enlargement*) proyek yang diperbolehkan sesuai dengan ketentuan kontrak dan perjanjian (Afshar & Fathi, 2009). Total penambahan waktu untuk setiap aktivitas dirumuskan dalam Persamaan 10.

$$B_k = TF_k + d_e \tag{10}$$

di mana:

$B_k$  = *Total float* yang ditingkatkan (*boosted total float*) dari aktivitas  $k$

$TF_k$  = *Total float* dari aktivitas  $k$  yang diperoleh dari CPM

$d_e$  = Perpanjangan durasi yang diperbolehkan

### 2.3. Formulasi Optimasi *Finance-Based Scheduling*

Pembentukan keseimbangan antara pengeluaran dari aktivitas proyek dan ketersediaan uang sepanjang durasi proyek merupakan konsep yang sangat penting untuk menghasilkan jadwal yang realistis. Penjadwalan proyek dan pendanaan harus terintegrasi dengan baik untuk menjamin kontraktor dan pemilik dari kegagalan proyek akibat defisit keuangan. Proses optimasi akan membantu dalam menentukan skenario-skenario jadwal terbaik dan realistis untuk dilaksanakan. Proses optimasi meliputi beberapa hal yaitu, variabel optimasi, batasan-batasan (*constraint*), dan fungsi objektif yang ditinjau untuk memperoleh hasil yang terbaik.

#### 2.3.1. Variabel Optimasi *Finance-Based Scheduling*

Variabel-variabel yang digunakan dalam proses optimasi *finance-based scheduling* adalah pergeseran waktu mulai (*shift value*) dari masing-masing aktivitas yang dibatasi oleh batas bawah (*lower bound*) dan batas atas (*upper bound*). *Shift value* akan menentukan besarnya pengeluaran pada periode tertentu yang juga menentukan besarnya nominal dana yang harus disiapkan oleh kontraktor. Di samping itu, *shift value* memiliki batasan berupa batas atas (*upper bound*) dan batas bawah (*lower bound*) yang diperoleh dari proses penjadwalan *Critical Path Method* (CPM) dengan perpanjangan durasi proyek yang diizinkan. Batas atas (*upper bound*) dan batas bawah (*lower bound*) yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Lower bound* dan *upper bound* untuk variabel *shift value*

Variabel	<i>Lower Bound</i>	<i>Upper Bound</i>
$X_1$	0	$B_1 = TF_1 + d_e$
$X_2$	0	$B_2 = TF_2 + d_e$
.	.	.
$X_k$	0	$B_k = TF_k + d_e$

#### 2.3.2. Batasan (*Constraint*) Optimasi *Finance-Based Scheduling*

Batasan (*constraints*) dibutuhkan untuk membatasi nilai-nilai objektif agar tidak melebihi persyaratan yang telah ditetapkan. Batasan yang digunakan terdiri dari total durasi proyek

berdasarkan kontrak perjanjian yang disetujui dengan pemilik dan batas maksimum peminjaman dana yang diizinkan (batas kredit) berdasarkan hasil negosiasi dengan pihak bank sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang telah disepakati bersama. Selanjutnya, batasan (*constraints*) akan mengeliminasi nilai-nilai objektif yang melebihi nilai batasan (*constraint*) agar tidak terpilih menjadi solusi dalam proses optimasi.

### 2.3.3. Fungsi Objektif Optimasi *Finance-Based Scheduling*

Terdapat tiga aspek yang akan dilakukan proses optimasi pada *finance-based scheduling* yaitu total durasi proyek, besarnya pinjaman dana yang dibutuhkan (*required credit*), dan bunga dari peminjaman dana yang digunakan untuk membiayai proyek (*financing cost*). Fungsi-fungsi objektif yang digunakan dituliskan dalam Persamaan 11 hingga Persamaan 13.

$$f_1 = \max(mF_k) \quad (11)$$

$$f_2 = |\min(F'_t)| \quad (12)$$

$$f_3 = |FC| \quad (13)$$

$$FC = r|E_1| + \sum_{t=2}^{t_f} |r(E_t + \hat{N}_{t-1})|$$

$$t_f = t_r + t_p$$

di mana:

$mF_k$  = *Early Finish* aktivitas  $k$  berdasarkan CPM dan penambahan *shift value*

$k$  = 1, 2, ...  $k$  dengan  $k$  merupakan jumlah aktivitas pada proyek

$F'_t$  = Arus kas negatif pada periode  $t$

$t$  = 1, 2, ...  $\left\lceil \frac{T}{m} \right\rceil$

$T$  = Total durasi proyek

$m$  = Jumlah hari dalam satu periode

$FC$  = Total bunga dari peminjaman dana untuk membiayai proyek (*Financing Cost*)

$E_t$  = Total pengeluaran proyek dalam periode  $t$

$N'_{t-1}$  = Besarnya arus kas bersih pada akhir periode  $t - 1$  beserta bunga

$t_f$  = Jumlah periode hingga pembayaran selesai diberikan

$t_r$  = Jumlah periode sesuai dengan durasi proyek

$t_p$  = Pertambahan periode dari penagihan hingga pembayaran

Hasil dari fungsi objektif ada yang melanggar persyaratan batasan (*constraints*) akan diberikan *penalty* sehingga tidak terpilih menjadi solusi dalam proses optimasi yang dituliskan dalam Persamaan 14 hingga Persamaan 15. Proses optimasi dilakukan dengan *multi-objective* dikarenakan terdapat 3 fungsi objektif yang harus ditinjau secara bersamaan dengan mencari hasil minimal untuk masing-masing objektif sesuai dengan Persamaan 16.

$$Pf_1 = f_1 + C_1 \quad (14)$$

$$Pf_2 = f_2 \times C_2 \quad (15)$$

di mana:

$Pf_1$  = *Penalty function* objektif ke-1

$C_1$  = Konstanta *penalty* ke-1

$Pf_2$  = *Penalty function* objektif ke-2

$C_2$  = Konstanta *penalty* ke-2

$$\text{minimize } \begin{cases} f_1 = \max(mF_k) \\ f_2 = |\min(F'_t)| \\ f_3 = |FC| \end{cases} \quad (16)$$

#### 2.4. *Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)*

*Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah sebuah metode metaheuristik yang digagas oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 yang terinspirasi dari simulasi perilaku sosial. Setiap partikel dalam kawanan mewakili kandidat solusi untuk masalah optimasi. Pada tahap awal PSO memilih kandidat-kandidat solusi secara acak dalam ruang pencarian yang memiliki posisi awal. Selanjutnya, partikel bergerak dengan kecepatannya masing-masing dan posisi baru partikel didefinisikan melalui Persamaan 17. Kecepatan baru partikel dihitung dengan menggunakan Persamaan 18 yang bergantung pada kecepatan partikel sebelumnya, jarak antara lokasi partikel saat ini dengan lokasi terbaik partikel (*local best* atau *pbest*), dan jarak antara lokasi partikel saat ini dengan lokasi terbaik kawanan (*global best* atau *gbest*).

$$X_i(t + 1) = X_i(t) + v_i(t + i) \quad (17)$$

$$v_i(t + 1) = wv_i(t) + r_1c_1(X_{pbest}(t) - X_i(t)) + r_2c_2(X_{gbest}(t) - X_i(t)) \quad (18)$$

di mana:

$v_i(t + 1)$  = Kecepatan partikel yang diperbaharui (*updated velocity*)

$w$  = Berat partikel

$v_i(t)$  = Kecepatan partikel saat ini

$r_1, r_2$  = Angka acak antara 0 – 1

$c_1, c_2$  = Konstanta

$X_{pbest}(t)$  = Lokasi terbaik partikel (*pBest*) saat ini

$X_i(t)$  = Lokasi partikel saat ini

$X_{gbest}(t)$  = Lokasi terbaik kawanan (*gBest*) saat ini

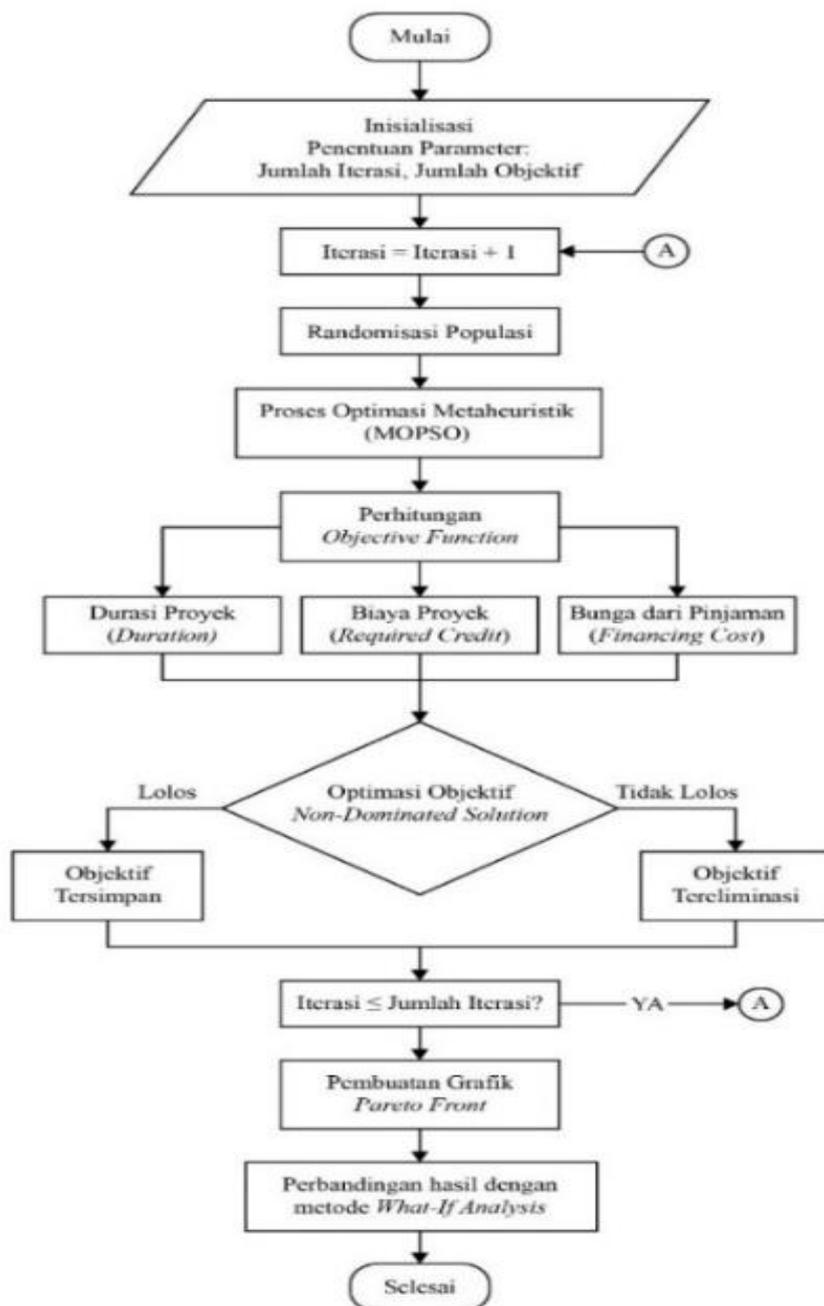
$X_i(t + 1)$  = Lokasi partikel yang diperbaharui

Secara garis besar tahapan-tahapan MOPSO sama dengan PSO biasa, tetapi dalam prosesnya akan ditambahkan tahapan *non-dominated sorting*. Tahapan MOPSO dimulai dengan proses inisiasi dan randomisasi, lalu dilakukan perhitungan dengan menggunakan fungsi-fungsi objektif yang ada. Setelah hasil diperoleh, maka akan disimpan dalam *archive* untuk selanjutnya dilakukan tahapan *non-dominated sorting* yaitu mengurutkan dan menilai hasil berdasarkan sistem *ranking*. Selanjutnya, setelah tahapan *non-dominated sorting* dilakukan akan menghasilkan *pareto front* (kumpulan *non-dominated solution*) dan dipilih satu solusi sebagai  $X_{gbest}$ .

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Optimasi *finance-based scheduling* dilakukan dengan bantuan *software* MATLAB R2019a menggunakan metode metaheuristik, yaitu MOPSO. Langkah pertama, data-data dan parameter yang diperlukan dimasukkan terlebih dahulu. Data-data yang diperlukan, yaitu jadwal proyek dalam bentuk CPM lengkap dengan *early start*, *early finish*, *late start*, *late finish*, dan *total float* serta biaya untuk setiap aktivitas. Parameter yang diperlukan meliputi perpanjangan durasi (*duration enlargement*) yang diizinkan sesuai kontrak, besarnya retensi

( $R$ ), besarnya *fixed overhead cost* ( $O_F$ ), besarnya *variable overhead cost* ( $O_V$ ), besarnya *profit and overhead markup* ( $POM$ ), jumlah hari dalam satu periode ( $m$ ), tingkat suku bunga dari pinjaman bank (*interest rate*), pertambahan periode dari penagihan hingga pembayaran ( $t_p$ ), perjanjian pembayaran termin (*Termin*) dan persentase denda keterlambatan ( $p$ ). Proses optimasi dilakukan dengan mengoptimasi nilai variabel *shift value* yang digunakan untuk perhitungan fungsi objektif. Hasil proses optimasi adalah berbagai skenario penjadwalan yang dilengkapi dengan total durasi proyek, besarnya pinjaman dana yang dibutuhkan, dan besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan. Skenario-skenario penjadwalan yang ada nantinya akan dibuat menjadi *what-if analysis* untuk setiap tingkatan kepentingan kontraktor. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 4. HASIL DAN DISKUSI

### 4.1. Studi Kasus Penelitian

Penelitian ini menggunakan data-data yang diperoleh dari proyek *Small Office Home Office* (SOHO) X di Surabaya (Ho & Gozal, 2018) yang terdiri dari 28 aktivitas lengkap dengan durasi, biaya, dan *successor* untuk setiap aktivitasnya. Data-data untuk setiap aktivitas berupa durasi dan biaya untuk setiap aktivitas beserta dengan *successor* dari masing-masing aktivitas yang dimasukkan ke dalam *software microsoft excel*. Jenis pendanaan yang digunakan adalah plafond rekening koran (PRK) dengan 100% pendanaan dari pihak bank tanpa adanya modal pribadi kontraktor. Parameter-parameter *input* tambahan yang digunakan untuk membantu perhitungan fungsi objektif diperoleh dari kondisi kenyataan berdasarkan proyek-proyek yang telah ada sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter input tambahan

No	Parameter Input Tambahan	Keterangan	Nilai
1	$d_e$	Perpanjangan durasi (hari)	30
2	$m$	Jumlah hari dalam satu periode (hari)	7
3	$r$	<i>Interest rate</i> (%/minggu)	0.175
4	$R$	<i>Retention</i> (%)	5
5	$POM$	<i>Profit and overhead markup</i> (%)	10
6	$t_p$	Pertambahan periode dari penagihan hingga pembayaran (hari)	30
7	$T_m$	Termin (%)	Berdasarkan kontrak yang disepakati
8	$p$	<i>Penalty</i> (%/hari)	1

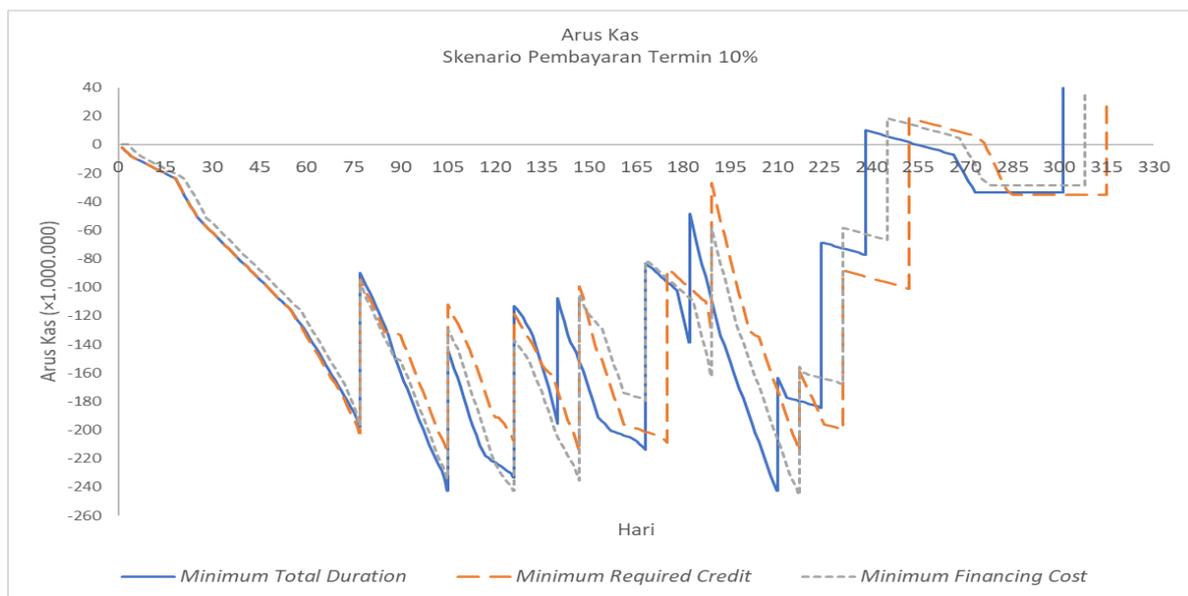
### 4.2. Hasil Penelitian

#### 4.2.1. Skenario Pembayaran Termin Setiap 10% Kemajuan Fisik Proyek

Pada skenario ini, terdapat tiga kondisi yang ditinjau yaitu minimum total durasi, minimum besarnya pinjaman dana (*required credit*) dan minimum besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan (*financing cost*). Ketiga kondisi tersebut dirangkumkan dalam bentuk tabel dan dapat dilihat pada Tabel 3. Pada setiap kondisi yang ditinjau terdapat *trade-off* antara ketiga fungsi objektif yang ditinjau seperti, apabila ingin mencapai minimum total durasi proyek maka besarnya biaya proyek yang dikeluarkan lebih besar. Selanjutnya apabila ingin mencapai minimum biaya proyek maka proyek akan selesai dalam waktu yang lebih lama dan apabila ingin mencapai minimum besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan maka besarnya biaya proyek yang dikeluarkan akan lebih besar. Penggambaran grafik arus kas digunakan untuk menggambarkan dan membandingkan ketiga kondisi yang ditinjau. Grafik arus kas skenario pembayaran termin setiap 10% kemajuan fisik proyek dapat dilihat pada Gambar 2.

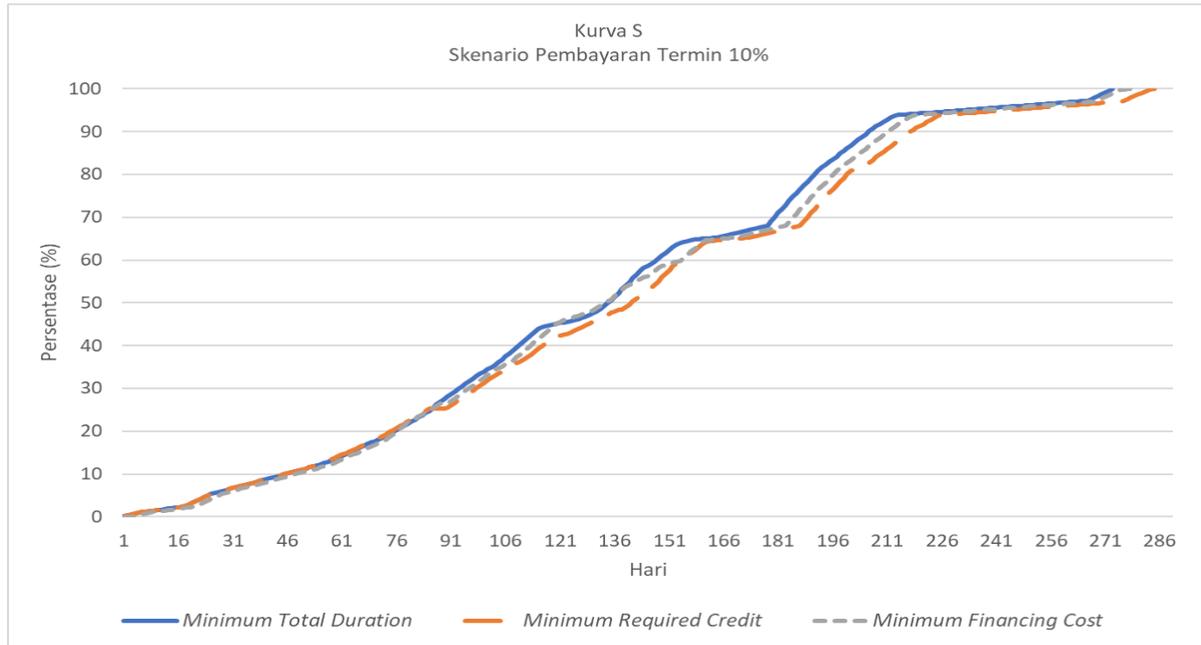
Tabel 3. Perbandingan tiga kondisi skenario pembayaran termin setiap 10% kemajuan fisik proyek

Kondisi	Total Durasi (Hari)	Besarnya Pinjaman Dana (Rp)	Besarnya Bunga (Rp)	Keterangan
Minimum Total Durasi	273	242.663.622,16	8.994.592,42	Bobot aktivitas proyek difokuskan pada tahap awal proyek dengan memaksimalkan <i>total float</i> setiap aktivitas
Minimum Besarnya Pinjaman Dana	285	215.527.475,15	9.153.501,77	Bobot aktivitas proyek difokuskan pada tahap awal sampai tengah proyek dengan memaksimalkan <i>total float</i> dan <i>duration enlargement</i> setiap aktivitas
Minimum Besarnya Bunga	278	245.292.048,31	8.918.972,51	Bobot aktivitas proyek difokuskan pada tahap awal sampai tengah proyek dengan memanfaatkan <i>total float</i> dan <i>duration enlargement</i> setiap aktivitas



Gambar 2. Grafik arus kas skenario pembayaran termin setiap 10% kemajuan fisik proyek

Dalam menghasilkan kondisi minimum total durasi, dapat dilihat bahwa bobot aktivitas proyek lebih difokuskan pada tahap awal proyek. Aktivitas-aktivitas yang tidak terletak pada jalur kritis bergeser sebesar *total float* yang dimiliki. Sementara itu, dalam menghasilkan kondisi minimum besarnya pinjaman dana (*required credit*), bobot aktivitas proyek disebar dari tahap awal hingga tengah proyek. Keseluruhan aktivitas bergeser dengan memaksimalkan *boosted total float* yang dimiliki. Kondisi minimum besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan (*financing cost*) dicapai dengan mengalokasikan bobot aktivitas proyek pada tahap awal proyek dan keseluruhan aktivitas bergeser secara bersamaan dengan memanfaatkan *boosted total float* yang dimiliki. Kurva S untuk ketiga kondisi yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 3. Penggambaran kurva S untuk masing-masing kondisi bertujuan untuk menggambarkan tingkat penggunaan biaya dibandingkan dengan durasi proyek. Kurva S yang menanjak dengan curam menunjukkan bahwa total pengeluaran untuk aktivitas proyek besar sejalan dengan susunan aktivitas-aktivitas proyek.



Gambar 3. Grafik kurva S skenario pembayaran termin setiap 10% kemajuan fisik proyek

#### 4.2.2. Skenario Penjadwalan Terbaik Berdasarkan Tingkat Kepentingan Kontraktor dengan *What-If Analysis*

Dalam memilih skenario penjadwalan terbaik, maka dilakukan *what-if analysis* berdasarkan tingkat kepentingan kontraktor. Tingkat kepentingan kontraktor meliputi total durasi, besarnya pinjaman dana yang dibutuhkan (*required credit*), dan besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan (*financing cost*). Rangkuman dari *what-if analysis* pada skenario pembayaran yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 4. Kontraktor dapat memilih skenario penjadwalan yang diambil berdasarkan tingkat kepentingan yang dimiliki. Sebagai contoh, apabila kontraktor lebih mementingkan total durasi kemudian biaya proyek (*required credit*) dan terakhir besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan (*financing cost*) maka skenario penjadwalan pertama dipilih. Sebaliknya, apabila kontraktor lebih mementingkan total durasi kemudian besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan (*financing cost*) dan terakhir besarnya pinjaman dana (*required credit*) maka skenario penjadwalan kedua dipilih. Skenario penjadwalan ketiga dipilih apabila kontraktor lebih mementingkan besarnya pinjaman dana (*required credit*) dan skenario penjadwalan keempat dipilih apabila kontraktor lebih mementingkan besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan (*financing cost*)

Tabel 4. Skenario Penjadwalan Pembayaran Termin Setiap 10% Kemajuan Fisik Proyek

Skenario	Tingkat Kepentingan	Total Durasi (Hari)	Biaya Proyek (Rp)	Besarnya Bunga (Rp)
1	<i>time &gt; credit &gt; financing cost</i>	273	237.137.668,79	9.120.324,07
2	<i>time &gt; financing cost &gt; credit</i>	273	242.663.622,16	8.994.592,42
3	<i>credit &gt; time &gt; financing cost</i>	285	215.527.475,15	9.153.501,77
4	<i>financing cost &gt; credit &gt; time</i>	278	245.292.048,31	8.918.972,51

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan diskusi dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yaitu metode metaheuristik MOPSO dapat menghasilkan berbagai solusi yang tidak saling mendominasi berupa skenario-skenario penjadwalan untuk skenario pembayaran termin setiap 10% kemajuan fisik proyek. Solusi-solusi dari skenario pembayaran menghasilkan 3 kondisi ekstrem yang ditinjau yaitu minimum total durasi, minimum besarnya pinjaman dana (*required credit*) dan minimum besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan (*financing cost*). Selain itu, kontraktor dapat memilih skenario penjadwalan yang sesuai dengan tingkat kepentingan kontraktor setelah dilakukan *what-if analysis*.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Afshar, A., & Fathi, H. (2009). Fuzzy Multi-Objective Optimization of Finance-Based Scheduling for Construction Projects with Uncertainties in Cost. *Engineering Optimization*, 41(11), 1063-1080. doi:10.1080/03052150902943004
- Ali, M. M., & Elazouni, A. (2009). Finance-Based CPM/LOB Scheduling of Projects With Repetitive Non-Serial Activities. *Construction Management and Economics*, 839-856. doi:10.1080/01446190903191764
- El-Abbasy, M., Elazouni, A., & Zayed, T. (2020). Finance-Based Scheduling Multi-Objective Optimization: Benchmarking of Evolutionary Algorithms. *Automation in Construction*, 120(103392), 1-16. doi:10.1016/j.autcon.2020.103392
- Elazouni, A., & Gab-Allah, A. (2004). Finance-Based Scheduling of Construction Projects Using Integer Programming. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(1), 15-24. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(15)
- Elazouni, A., & Metwally, F. G. (2005). Finance-Based Scheduling: Tool to Maximize Project Profit Using Improved Genetic Algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(4), 400-412. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:4(400)
- Ezugwu, A. E., & Prayogo, D. (2018). Symbiotic Organisms Search Algorithm : Theory, Recent Advances and Applications. *Expert Systems with Applications*, 119, 184-209. doi:10.1016/j.eswa.2018.10.045
- Ho, M., & Gozal, R. (2018). *Optimasi Multi-Objektif Permasalahan Time-Cost-Quality Trade-Off pada Proyek SOHO X dengan Metode Metaheuristik*. Unpublished thesis. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *International Conference on Neural Networks*, 4, pp. 1942-1948. Perth: IEEE. doi:10.1109/ICNN.1995.488968
- Fathi, H., & Afshar, A. (2010). GA-Based Multi-Objective Optimization of Finance-Based Construction Project Scheduling. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 14, 627-638. doi:10.1007/s12205-010-0849-2
- Zayed, T., & Liu, Y. (2014). Cash Flow Modeling for Construction Projects. *Engineering, Construction, and Architectural Management*, 21(2), 170-189. doi:10.1108/ECAM-08-2012-0082