

OPTIMASI TRI-OBJECTIVE FINANCE-BASED SCHEDULING PROYEK FLY OVER X DENGAN MENGGUNAKAN METODE MULTI-OBJECTIVE SYMBIOTIC ORGANISMS SEARCH (MOSOS)

Christopher Gunarso¹, Doddy Prayogo²

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

²Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

¹b21210002@john.petra.ac.id, ²prayogo@petra.ac.id

ABSTRAK: Keberhasilan dalam mengeksekusi suatu proyek konstruksi terdiri dari beberapa aspek, yakni durasi proyek, pendanaan secara eksternal ataupun internal, dan besarnya bunga yang dihasilkan. Konsep *finance-based scheduling* mengintegrasikan ketiga aspek melalui perencanaan penjadwalan proyek dan pendanaan yang diperlukan. Konsep tersebut diaplikasikan pada proses optimasi *tri-objective* dengan menggunakan metode metaheuristik untuk mendapatkan solusi-solusi yang tidak saling mendominasi. Pada penelitian ini, proses optimasi menggunakan *Multi-Objective Symbiotic Organisms Search* (MOSOS) berdasarkan studi kasus proyek *fly over X*. Hasil optimasi yang didapatkan berupa solusi minimum dari masing-masing objektif yang ditinjau dan analisis pengaruh pertambahan durasi dari skenario yang digunakan dilengkapi dengan *cash flow* dan kurva *s*.

Kata kunci: *finance-based scheduling*, optimasi, *tri-objective*, metaheuristik, pertambahan durasi, *cash flow*

ABSTRACT: The success in executing a construction project consists of several aspects, namely project duration, required credit, and financing cost. The concept of *finance-based scheduling* integrates those three aspects through the planning of project scheduling and financing. That concept is applied in *tri-objective* optimization process by using metaheuristic method to obtain solutions that are not dominating one and other. In this research, the optimization process is using *Multi-Objective Symbiotic Organisms Search* (MOSOS) based on *fly over X* project. The results of the optimization process are the minimum solution of each objective and the analysis of the effect of duration enlargement from the scenario used including the *cash flow* and *s* curve.

Keywords: *finance-based scheduling*, optimization, *tri-objective*, metaheuristic, duration enlargement, *cash flow*

1. PENDAHULUAN

Dalam proyek konstruksi terdapat tiga aspek yang harus diperhatikan, seperti durasi dari proyek agar terhindar dari *delay*, pendanaan yang baik untuk mengatasi *cost overrun*, dan perhitungan bunga dari pendanaan dengan memperhatikan *limit* nominal yang ditentukan. Durasi dari proyek yang telah ditetapkan pada kontrak kerja menjadi acuan untuk penyelesaian proyek yang akan dilaksanakan dengan memperhatikan batas maksimum penambahan durasi dari proyek tersebut. Perhitungan durasi seringkali bertolak belakang dengan kebutuhan peminjaman, apabila durasi dipercepat maka akan terjadi peningkatan pengeluaran dan sebaliknya apabila durasi diperpanjang maka kebutuhan juga akan berkurang. Selain itu, perhitungan bunga juga akan berpengaruh akibat adanya peningkatan dan pengurangan kebutuhan pengeluaran untuk memenuhi kebutuhan proyek.

Dengan demikian proses optimasi dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang terbaik dengan memperhatikan ketiga aspek tersebut serta batasan-batasan yang ada. Proses optimasi dilakukan dengan penentuan-penentuan parameter-parameter dan merencanakan jadwal kegiatan dengan menggunakan berbagai metode seperti *critical path method (CPM)*. Perhitungan CPM akan menghasilkan *early start*, *early finish*, *late start*, *late finish*, *free float*, dan *total float* untuk masing-masing aktivitas (Ali & Elazouni, 2009). Selain itu, CPM juga akan membantu dalam menggambarkan kebutuhan keuangan berkala agar tetap berada di bawah *credit limit* (Elazouni et al, 2015).

Optimasi dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode, seperti pendekatan atau perkiraan berdasarkan pengalaman atau asumsi, *linear programming*, dan metaheuristik. Metode metaheuristik dikenal dapat menyelesaikan berbagai permasalahan dalam bidang teknik, bisnis, transportasi dan bahkan *social sciences* karena kesederhanaan dan bersifat *universal* (Hussain et al, 2019). Beberapa metode metaheuristik telah digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan di bidang manajemen konstruksi, seperti *trim loss optimization for construction reinforcement steel* menggunakan metode *Genetic Algorithms* (GA) (Benjaoran & Bhokha, 2013), *applications to project management* menggunakan metode *Shuffled Frog-Leaping Optimization Algorithms* (Elbeltagi et al, 2007), *construction scheduling* menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) (Christodoulou, 2005), dan lain sebagainya. Seiring dengan berkembangnya metode-metode metaheuristik yang diciptakan maka perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk permasalahan-permasalahan yang ada, seperti salah satunya adalah *Symbiotic Organisms Search* (SOS) (Cheng & Prayogo, 2014). Keunggulan dari SOS adalah tidak adanya persyaratan untuk menyesuaikan parameter sehingga pengguna hanya perlu menentukan jumlah populasi dan iterasi untuk menggunakannya (Panda & Pani, 2016) serta cara kerja SOS yang baik dalam hal eksploitasi, eksplorasi dan eliminasi *inferior solutions* (Ezugwu & Prayogo, 2019).

Penelitian ini terinspirasi dari peneliti-peneliti terdahulu yang sudah melakukan penelitian mengenai *finance-based scheduling*, seperti Elazouni dan Gab-Allah (2004) yang menggunakan *interger programming* serta Elazouni dan Metwally (2005) yang menggunakan *Genetic Algorithms* dalam mencari hasil optimasi dari *single-objective* berupa durasi proyek. Kemudian Afshar dan Fathi (2009) yang menggunakan *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II) serta Fathi dan Afshar (2010) yang menggunakan *Improved NSGA-II* yang dibandingkan dengan *Pareto front* dalam mencari hasil minimum dari tiga *objective* berupa durasi, dana pembiayaan proyek (*required credit*) serta bunga yang harus ditanggung

dari pembiayaan yang didapatkan (*financing cost*). Namun pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan masih menggunakan jumlah aktivitas yang relative tidak banyak. Pada penelitian ini kasus yang digunakan adalah kasus nyata yang terdiri dari banyak aktivitas sehingga lebih relevan dalam dunia kerja. Selain itu, penelitian-penelitian yang ada masih menggunakan metode NSGA-II dan belum menerapkan metode optimasi yang berpotensi menghasilkan solusi *multi-objective* yang optimal, seperti *Multi-Objective Symbiotic Organisms Search* (MOSOS).

2. LANDASAN TEORI

Dalam menjalani proyek ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan seperti kebutuhan akan material dan tenaga kerja harus diperhitungkan dengan baik. Namun, terkadang ada hal-hal yang menjadi halangan, salah satunya adalah kondisi keuangan ataupun kebutuhan secara *financial*. Pembiayaan menjadi cara untuk mengatasi permasalahan, baik itu dilakukan secara eksternal maupun *internal*. Pembiayaan secara *internal* berasal dari kas yang dimiliki oleh perusahaan ataupun berasal dari *down payment* sedangkan pembiayaan secara eksternal berasal dari pinjaman bank. Peminjaman umumnya untuk suatu proyek terdiri dari dua macam, yaitu *plafond rekening koran* (PRK) dan peminjaman secara angsuran.

Arus kas (*cash flow*) adalah sebuah gambaran yang memberikan informasi mengenai pola pergerakan kas masuk (*income*) dan keluar (*outcome*) dari suatu bisnis yang menunjukkan ketersediaan dana pada waktu tertentu (Shash & Qarra, 2018). Pengelolaan keuangan menjadi kendala yang perlu diperhatikan dalam penjadwalan proyek untuk perputaran keuangan dan pembiayaan operasional kontraktor (Elazouni et al, 2015). *Cash Flow* akan membantu kita untuk menentukan keputusan-keputusan yang perlu ditentukan dan diambil berdasarkan arus keuangan yang ada. Arus kas masuk dan keluar terdiri dari jadwal aktivitas-aktivitas yang perlu disiapkan, rencana pembayaran dari jadwal yang telah disiapkan, dan jadwal pembayaran yang diterima dari klien pada periode tertentu (Fathi & Afshar, 2010).

Dalam perhitungan *cash flow* digunakan beberapa persamaan yang akan membantu dalam penguraian biaya-biaya seperti yang ditunjukkan dalam penelitian Elazouni dan Gab-Allah pada tahun 2004. Biaya terdiri dari dua, yaitu *direct cost* dan *indirect cost* yang akan mempengaruhi total pengeluaran proyek. *Direct cost* terdiri dari biaya yang dikeluarkan untuk keperluan material, tenaga kerja, peralatan dan pembayaran subkontraktor sedangkan *indirect cost* terdiri dari *fixed overhead cost* (O_F) dan *variable overhead cost* (O_V). Persamaan-persamaan itu dijabarkan dalam Persamaan 1 sampai 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 *direct cost* pada hari ke- i

n_i = Jumlah aktivitas yang dalam satu hari yang sama, yaitu hari ke- i

y_{pi} = Besarnya pengeluaran *direct cost* aktivitas p pada hari ke- i

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

E_t = Total pengeluaran pada periode t

- m = Jumlah hari dalam satu periode
 O_F = *Fixed overhead cost*
 O_{Vt} = *Variable overhead cost* pada periode t

Dalam menghitung nominal *payment* yang diberikan oleh *owner* pada akhir periode t (P_t) juga harus memperhitungkan *retention* (R) dan *profit and overhead markup* (POM) yang dituliskan dalam Persamaan 4 (Fathi & Afshar, 2010). *Retention* (R) adalah besaran yang ditahan oleh *owner* yang umumnya dilakukan pada setiap kali pembayaran dan dikembalikan setelah proyek sudah selesai atau sesuai kontrak yang telah disepakati. Sedangkan *profit and overhead markup* (POM) adalah besaran yang digunakan oleh kontraktor dalam memperhitungkan *profit* dari keseluruhan biaya proyek yang dikerjakan. Selain itu, perhitungan kumulatif *cash flow* pada akhir periode t tanpa memperhitungkan bunga peminjaman dirumuskan dalam Persamaan 5 (Fathi & Afshar, 2010), sedangkan untuk perhitungan *net cash flow* pada akhir periode t dihitung dengan menggunakan Persamaan 6 (Fathi & Afshar, 2010) tanpa memperhitungkan bunga.

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

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

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

di mana:

- P_t = *Payment* pada akhir periode t
 y_i = Total *direct cost* pada hari ke- i
 R = Persentase besarnya retensi
 POM = Persentase besarnya *profit and overhead markup*
 F_t = Kumulatif *cash flow* pada akhir periode t
 N_{t-1} = *Net cash flow* pada akhir periode $t-1$
 E_t = Total pengeluaran pada periode t
 N_t = *Net cash flow* pada akhir periode t
 P_t = *Payment* pada akhir periode t

Perhitungan bunga yang didapatkan dari peminjaman dengan berbagai kondisi dijabarkan dalam Persamaan 7. Dengan adanya perhitungan bunga maka perhitungan kumulatif *cash flow* dan *net cash flow* pada akhir periode t dijabarkan dalam Persamaan 8 dan Persamaan 9 (Fathi & Afshar, 2010) sehingga penggambaran *cash flow* akan terilustrasikan seperti yang ditunjukkan oleh Elazouni dan Gab-Allah pada tahun 2004.

$$I_t = 0, \quad \text{jika } \hat{N}_{t-1} > 0 \text{ dan } \hat{N}_{t-1} \geq E_t \quad (7)$$

$$I_t = |r(E_t + \hat{N}_{t-1})|, \quad \text{jika } \hat{N}_{t-1} < 0$$

$$\hat{F}_t = F_t + I_t \quad (8)$$

$$\hat{N}_t = \hat{F}_t + P_t \quad (9)$$

di mana:

- I_t = *Interest charges* pada akhir periode t
 E_t = Total pengeluaran pada periode t
 $\hat{N}_{t-1}$ = *Net cash flow* pada akhir periode $t-1$ beserta *interest charges*
 $\hat{F}_t$ = Kumulatif *cash flow* pada akhir periode t beserta *interest charges*
 $\hat{N}_t$ = *Net cash flow* pada akhir periode t beserta *interest charges*

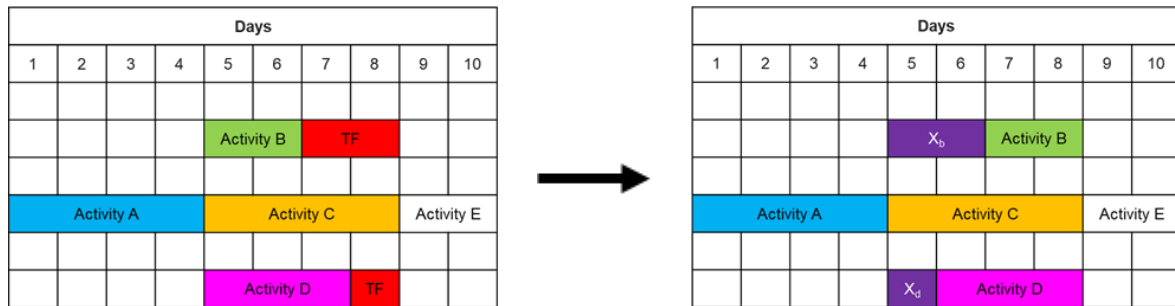
P_t = Payment pada akhir periode t

2.1. Formulasi Optimasi *Finance-Based Scheduling*

Proses optimasi terdiri dari beberapa hal, yaitu variabel, batasan-batasan (*constraint*), dan *objective-objective function* yang ditinjau dalam menentukan hasil terbaik. Proses optimasi akan berdasarkan CPM yang akan membantu dalam menggambarkan *cash flow* dari proyek yang dijalankan berdasarkan durasi-durasi proyek yang tidak melebihi batasan tambahan durasi proyek sesuai dengan kontrak. Proses optimasi akan menentukan variabel-variabel yang akan diolah untuk mendapatkan hasil dari *objective-objective* yang digunakan, namun hasil-hasil yang didapatkan harus tidak melanggar *constraint-constraint* yang ada. Apabila ada pelanggaran maka akan diberikan *penalty* sehingga hasil tersebut tidak akan terpilih menjadi solusi.

2.1.1. Variabel Optimasi *Finance-Based Scheduling*

Variabel-variabel yang digunakan dalam proses optimasi *finance-based scheduling* adalah pergeseran aktivitas-aktivitas (*shift value*) yang dibatasi oleh *lower bound* dan *upper bound* untuk masing-masing aktivitas seperti pada Gambar 1. Dengan demikian, *shift value* akan membantu dalam proses penentuan nominal yang harus dikeluarkan, sehingga dapat menentukan besarnya nominal yang harus disiapkan untuk periode-periode tertentu. *Shift value* mempunyai batasan-batasan berupa batasan atas (*upper bound*) dan batasan bawah (*lower bound*) yang didapatkan dari proses CPM dengan pertambahan durasi proyek yang diperbolehkan. Adanya *upper bound* dan *lower bound* bertujuan untuk membatasi nilai variabel yang dihasilkan berupa bilangan bulat. *Upper bound* dan *lower bound* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Ilustrasi *shift value* masing-masing aktivitas

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	$B_k = TF_k + d_e$

2.1.2. Constraint Optimasi Finance-Based Scheduling

Batasan-batasan atau *constraints* dibutuhkan untuk membatasi nilai-nilai *objective* sehingga tidak melebihi persyaratan yang ada. *Constraints* terdiri dari durasi proyek dan batas maksimum peminjaman dana yang diperbolehkan. Durasi proyek yang diperbolehkan didapatkan dari kontrak yang telah disetujui, sedangkan batasan maksimum peminjaman berdasarkan hasil negosiasi dengan pihak bank dengan ketentuan-ketentuan yang telah disepakati bersama. *Constraint* akan membatasi nilai-nilai *objective* sehingga yang melanggar dari nilai *constraint* akan tereleminasi sebagai solusi dalam proses optimasi.

2.1.3. Objective Function Optimasi Finance-Based Scheduling

Objective function adalah sebuah rumusan yang menjadi titik tinjau dari proses optimasi berbentuk dalam fungsi-fungsi yang digunakan. Tujuan optimasi *finance-based scheduling* terdapat tiga hal besar, yaitu total durasi proyek, dana pembiayaan proyek (*required credit*), dan bunga dari pembiayaan proyek (*financing cost*). *Objective-objective function* dituliskan dalam Persamaan 10 hingga Persamaan 12 (Fathi & Afshar, 2010). Hasil dari *objective-objective* akan dibandingkan dengan persyaratan *constraints* yang ada sehingga apabila terdapat ketidaksesuaian atau melanggar maka akan diberikan *penalty* sebagai cara agar tidak dipilih menjadi solusi dalam proses optimasi yang dituliskan dalam Persamaan 13 sampai Persamaan 14. Proses optimasi harus dilakukan dengan menggunakan *multi-objective* karena terdapat tiga *function* yang harus ditinjau secara bersamaan sehingga proses optimasi akan mencari hasil minimal untuk masing-masing *objective* yang ditinjau sesuai dengan Persamaan 15 (Fathi & Afshar, 2010).

$$f_1 = \max(mF_k) \quad (10)$$

$$f_2 = |\min(F'_t)| \quad (11)$$

$$f_3 = FC \quad (12)$$

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

$$t_f = t_r + t_p$$

di mana:

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

k = Aktivitas 1, Aktivitas 2, ..., Aktivitas k .

F'_t = *Negative cash flow* 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 pembiayaan (*Financing Cost*)

r = *Interest rate*.

E_t = Total pengeluaran pada periode t

$\hat{N}_{t-1}$ = *Net cash flow* pada akhir periode $t-1$ beserta *interest charges*

t_f = Jumlah periode hingga pembayaran selesai diberikan

t_r = Jumlah periode dalam sesuai dengan durasi proyek

t_p = Pertambahan periode dari penagihan hingga pembayaran

$$Pf_1 = f_1 + C_1 \quad (13)$$

$$Pf_2 = f_2 \times C_2 \quad (14)$$

di mana:

Pf_1 = *Penalty function objective* ke-1

C_1 = Konstanta *penalty* ke-1

Pf_2 = *Penalty function objective* ke-2

C_2 = Konstanta *penalty* ke-2

$$\text{minimize} \begin{cases} f_1 = \max(mF_k) \\ f_2 = |\min(F'_t)| \\ f_3 = |FC| \end{cases} \quad (15)$$

2.1.4. Multi-Objective Symbiotic Organisms Search (MOSOS)

Symbiotic Organisms Search (SOS) adalah sebuah metode metaheuristik yang digagaskan oleh Min-Yuang Cheng dan Doddy Prayogo pada tahun 2014 yang termotivasi dari interaksi antara berbagai organisme yang hidup dalam satu ekosistem (Panda & Pani, 2016). Interaksi antara berbagai organisme yang bertujuan untuk bertahan hidup dan berkembang biak sering disebut juga dengan istilah simbiosis yang pada umumnya terbagi menjadi tiga, yaitu mutualisme, komensalisme, dan parasitisme. Tahap mutualisme adalah suatu hubungan yang dapat dilihat antara lebah dengan bunga yang saling memberikan manfaat antara satu dengan yang lain dan dijabarkan melalui Persamaan 16 sampai Persamaan 18 (Cheng & Prayogo, 2014).

$$X_{i\text{new}} = X_i + \text{rand}(0,1) * (X_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} * BF1) \quad (16)$$

$$X_{j\text{new}} = X_j + \text{rand}(0,1) * (X_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} * BF2) \quad (17)$$

$$\text{Mutual_Vector} = (X_i + X_j)/2 \quad (18)$$

di mana:

X_i = Organisme yang sesuai dengan *member* dalam ekosistem

X_j = Organisme *random* dalam ekosistem

$X_{i\text{new}}$ = Kandidat pengganti X_i

$X_{j\text{new}}$ = Kandidat pengganti X_j

X_{best} = Nilai adaptasi tertinggi

$BF1$ = *Benefit factor* (angka *random* 1 atau 2)

$BF2$ = *Benefit factor* (angka *random* 1 atau 2)

Tahap komensalisme adalah suatu hubungan yang salah satu dari organisme mendapatkan keuntungan namun organisme lainnya tidak dirugikan seperti ikan ora dengan ikan hiu yang kemudian dijabarkan melalui Persamaan 19.

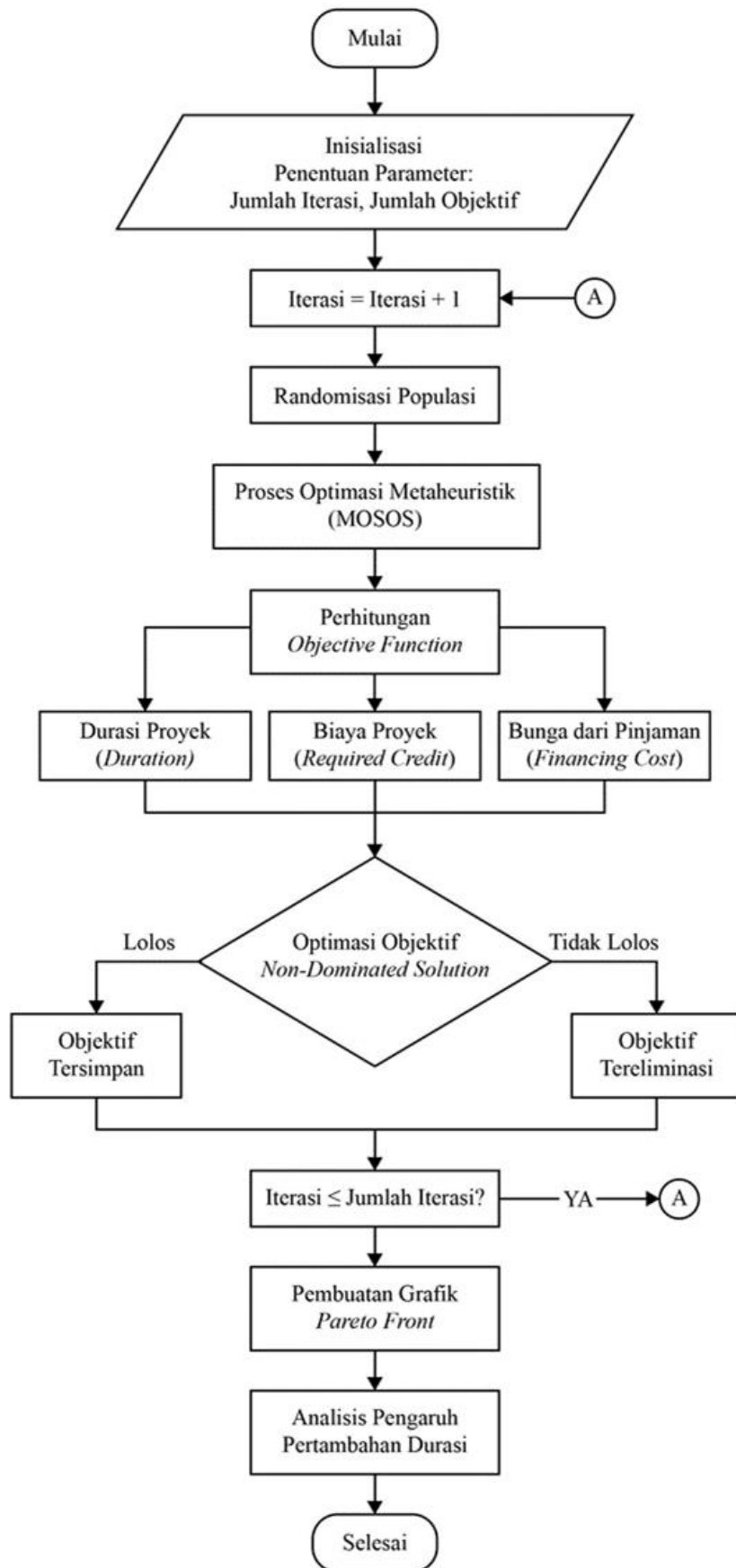
$$X_{i\text{new}} = X_i + \text{rand}(-1,1) * (X_{\text{best}} - X_j) \quad (19)$$

Tahap parasitisme adalah suatu fase merugikan salah satu organisme dengan aktivitas yang dilakukan oleh organisme lainnya, dalam penerapan digunakan *parasite_vector* yang akan mencoba menggantikan organisme yang telah dipilih. Apabila nilai dari *parasite_vector* lebih

baik dibandingkan dengan organisme yang telah dipilih, maka *parasite_vector* akan menggantikan peran organisme tersebut.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Optimasi *finance-based scheduling* dilakukan dengan metode metaheuristik berupa MOSOS dan menggunakan *software* MATLAB R2018a. Sebelum memasuki proses optimasi, kelengkapan data-data yang diperlukan untuk membantu proses optimasi harus didapatkan terlebih dahulu. Kelengkapan data-data berupa CPM yang dilengkapi dengan *early start*, *early finish*, *late start*, *late finish*, dan *total float* untuk menentukan durasi dalam optimasi. CPM juga akan membantu dalam menentukan *predecessor* dan *successor* untuk masing-masing aktivitas. Selain CPM juga diperlukan berupa biaya dari masing-masing aktivitas untuk membantu dalam proses penggambaran *cash flow* dan memantau dana pembiayaan proyek oleh bank (*required credit*) agar tidak melebihi limit yang telah ditentukan. Penentuan parameter-parameter pendukung berupa penentuan besarnya perpanjangan durasi (d_e), jumlah hari dalam satu periode (m), *interest rate* (r), *retention* (R), *profit and overhead markup* (POM), penambahan periode dari penagihan hingga pembayaran (t_p), Termin (T_m), dan *Penalty* (p). Pengerjaan optimasi *finance-based scheduling* dilakukan dengan mengoptimalkan variabel-variabel berupa *shift value* yang dihasilkan untuk menentukan solusi-solusi terbaik dalam proses optimasi dengan menggunakan MOSOS. Penjelasan mengenai cara kerja diuraikan dalam Gambar 2 berupa diagram alir.



Gambar 2. Diagram alir cara kerja program

4. HASIL DAN DISKUSI

4.1. Studi Kasus Penelitian

Penelitian menggunakan data-data yang didapat dari proyek *fly over X* (Anggara, 2005), yang terdiri dari durasi dan biaya dari 29 aktivitas yang dikelompokkan pada 10 jenis pekerjaan. Selain itu, pembiayaan proyek seluruhnya berasal dari eksternal, berupa *plafond* rekening koran (PRK) dari bank tanpa melibatkan kas yang dimiliki kontraktor. Penjabaran data-data berupa kode aktivitas, durasi, biaya per hari dan *successor* dari masing-masing aktivitas dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh Anggara pada tahun 2005. Data-data tersebut lalu diolah terlebih dahulu dengan menggunakan *critical path method* (CPM) untuk mendapatkan *total float*, durasi, dan biaya proyek tanpa memperhitungkan perpanjangan. Kemudian dengan bantuan beberapa parameter *input* tambahan seperti pada Tabel 2 yang berguna dalam menghitung *objective-objective function* dalam proses optimasi dengan menggunakan metode MOSOS.

Tabel 2. Parameter *input* tambahan

No	Parameter <i>Input</i> 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 (minggu)	4
7	T_m	Termin (%)	Tertera dalam kontrak yang telah disepakati
8	p	<i>Penalty</i> (%/hari)	

Parameter *input* tambahan umumnya didapatkan melalui jenis kontrak yang disepakati bersama oleh kontraktor dengan *owner*, berisikan penjelasan-penjelasan mengenai besaran persentase untuk *retention* serta *profit and overhead markup*, batas pertambahan periode untuk pembayaran yang harus dilakukan oleh *owner* dari penginputan penagihan, kesepakatan dalam proses pembayaran berdasarkan termin yang telah disepakati bersama, dan besarnya *penalty* yang diberikan untuk keterlambatan yang terjadi. Selain kesepakatan dengan *owner*, apabila adanya pembiayaan secara eksternal maka kontraktor membuat perjanjian dengan instansi yang bersangkutan mengenai ketentuan-ketentuan, salah satunya adalah mengenai *interest rate*. Besarnya *interest rate* akan membantu kontraktor dalam memperhitungkan bunga yang harus dibayarkan sampai batas waktu yang telah ditetapkan.

4.2. Hasil Penelitian

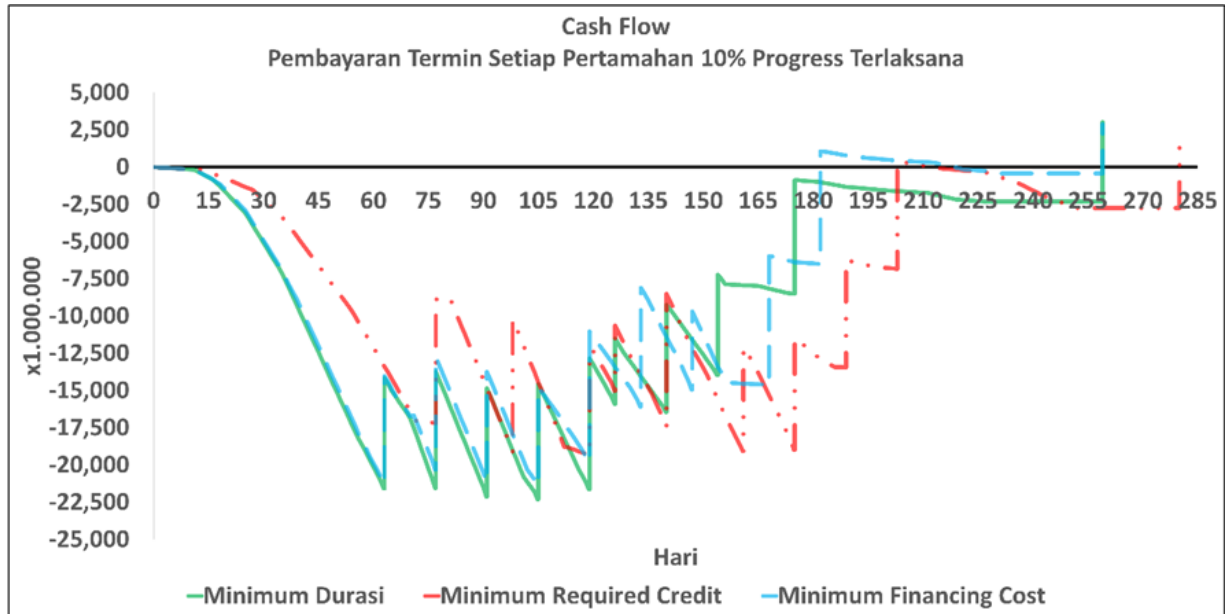
Proses optimasi untuk proyek *fly over X* (Anggara, 2005) menghasilkan solusi-solusi yang tidak saling mendominasi untuk setiap skenario pembayaran, yaitu pembayaran termin setiap pertambahan 10% progress terlaksana. Dalam meninjau fungsi-fungsi objektif untuk setiap skenario pembayaran akan dijabarkan dalam bentuk tabel, grafik *cash flow*, dan penggambaran *bar chart*. Selain itu, hasil optimasi akan dilengkapi dengan penggambaran

grafik konvergensi untuk melihat proses optimasi dalam mendapatkan solusi-solusi optimal. Dalam skenario ini, pembayaran dilakukan ketika progress kumulatif telah mencapai 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100% dalam mendapatkan solusi optimal.

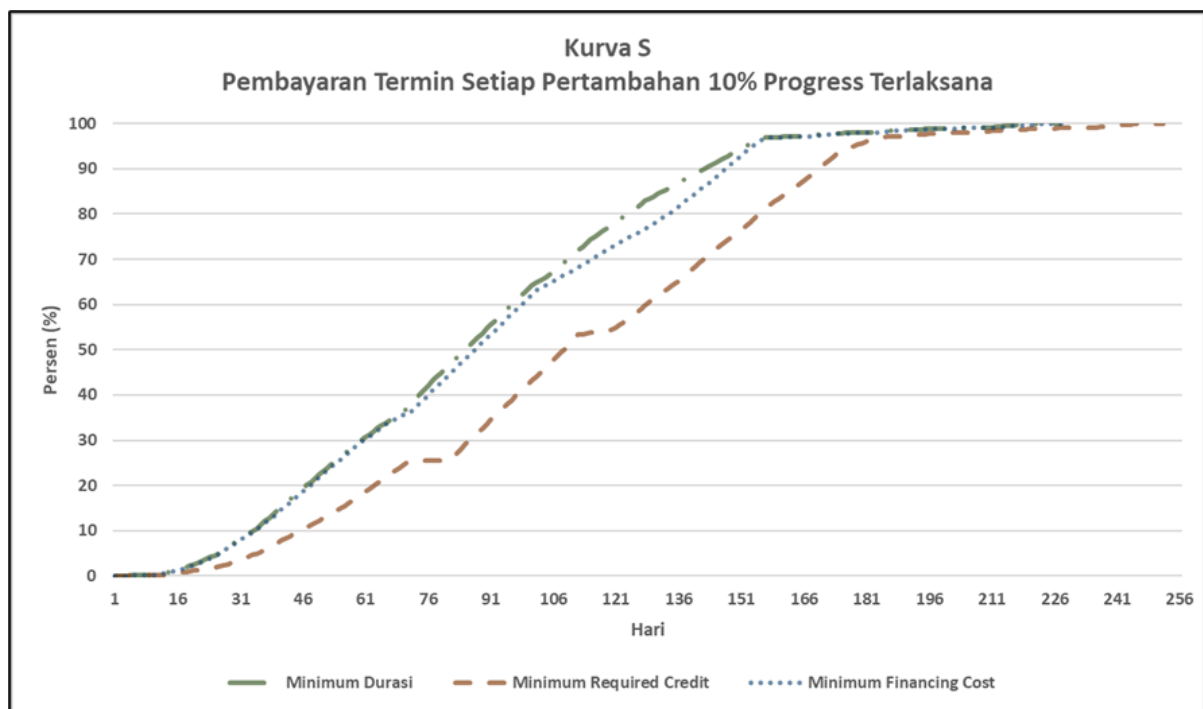
Dari 30 kali *run* dipilih salah satu hasil *run* untuk digunakan dalam penggambaran grafik *cash flow* dari solusi-solusi yang dipilih dengan meninjau *minimum* durasi, *minimum required credit*, dan *minimum financing cost*. Ketiga solusi tersebut dirangkumkan dalam Tabel 3 yang kemudian akan digambarkan dalam grafik *cash flow* seperti Gambar 3. Selain itu, penggambaran kurva s dilakukan dalam meninjau pengaruh penempatan-penempatan aktivitas terhadap bobot proyek untuk masing-masing solusi seperti pada Gambar 4. Dapat dilihat bahwa solusi dengan *minimum* durasi memiliki kemiringan yang lebih tegak dibandingkan dengan solusi lainnya, sehingga menandakan bahwa bobot aktivitas ketika awal proyek lebih padat.

Tabel 3. Solusi pembayaran termin setiap pertambahan 10% progress terlaksana dengan *minimum* durasi, *minimum required credit*, dan *minimum financing cost*

Solusi	Durasi (Hari)	Required Credit (Rp)	Financing Cost (Rp)	Keterangan
Min. Durasi	227	22.289.016.913,968	627.543.621,092	Bobot aktivitas proyek difokuskan pada awal durasi proyek, namun tetap memaksimalkan <i>total float</i> .
Min. Required Credit	252	19.364.858.282,711	630.546.916,21	Bobot aktivitas proyek disebar pada awal hingga tengah durasi proyek dengan memaksimalkan <i>total float & duration enlargement</i> .
Min. Financing Cost	229	21.367.356.985,284	599.328.850,743	Bobot aktivitas proyek disebar pada awal hingga tengah durasi proyek dengan memanfaatkan <i>total float & duration enlargement</i> .



Gambar 3. Grafik *cash flow* solusi pembayaran termin setiap pertambahan 10% progress terlaksana dengan *minimum durasi*, *minimum required credit*, dan *minimum financing cost*



Gambar 4. Grafik kurva s solusi pembayaran termin setiap pertambahan 10% progress terlaksana

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan diskusi dari penelitian yang telah dijabarkan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu metode MOSOS dapat menghasilkan solusi-solusi yang tidak saling mendominasi dilihat dari penjabaran yang telah ditampilkan untuk skenario pembayaran terdiri dari pembayaran termin setiap pertambahan 10% progress terlaksana. Perbedaan skenario pembayaran juga akan mempengaruhi besar nominal dari *required credit* dan *financing cost* serta keunikan tersendiri berupa penempatan aktivitas-aktivitas yang ada dengan

memanfaatkan *total float* dan penambahan durasi. Penambahan durasi memiliki peran dalam mendapatkan solusi-solusi dengan *minimum required credit* dan *minimum financing cost*, lain halnya dengan mendapatkan *minimum* durasi yang cenderung hanya memanfaatkan *total float* yang ada. Penempatan aktivitas-aktivitas untuk masing-masing solusi yang dihasilkan dalam skenario pembayaran telah dijabarkan dalam grafik *cash flow* dan *kurva s*.

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.
- Ali, M.M., & Elazouni, A. (2009). Finance-Based CPM/LOB Scheduling of Projects with Repetitive Non-Serial Activities. *Construction Management Economics*, 27(9), 839-856.
- Anggara Hayun, A. (2005). Perencanaan dan Pengendalian Proyek dengan Metode Pert-Cpm: Studi Kasus Fly Over Ahmad Yani, Karawang. *Journal the Winners*, 6(2), 155-174.
- Benjaoran, V., & Bhokha, S. (2013). Trim Loss Minimization for Construction Reinforcement Steel with Oversupply Constraints. *Journal of Advanced Management Science Vol*, 1(3).
- Cheng, M. Y., Huang, K. Y., & Hutomo, M. (2018). Multiobjective Dynamic-Guiding PSO for Optimizing Work Shift Schedules. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(9), 04018089.
- Cheng, M. Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic Organisms Search: a New Metaheuristic Optimization Algorithm. *Computers & Structures*, 139, 98-112.
- Christodoulou, S. (2005). Ant Colony Optimization in Construction Scheduling. In *Computing in Civil Engineering (2005)* (pp. 1-11).
- Elazouni, A., Alghazi, A., & Selim, S. Z. (2015). Finance-Based Scheduling Using Meta-Heuristics: Discrete Versus Continuous Optimization Problems. *Journal of Financial Management of Property and Construction*.
- Elazouni, A. M., & Gab-Allah, A. A. (2004). Finance-Based Scheduling of Construction Projects Using Integer Programming. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(1), 15-24.
- Elazouni, A. M., & 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.
- Elbeltagi, E., Hegazy, T., & Grierson, D. (2007). A Modified Shuffled Frog-Leaping Optimization Algorithm: Applications to Project Management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 3(1), 53-60.
- Ezugwu, A. E., & Prayogo, D. (2019). Symbiotic Organisms Search Algorithm: Theory, Recent Advances and Applications. *Expert Systems with Applications*, 119, 184-209.
- Fathi, H., & Afshar, A. (2010). GA-Based Multi-Objective Optimization of Finance-Based Construction Project Scheduling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 14(5), 627-638.
- Hussain, K., Salleh, M. N. M., Cheng, S., & Shi, Y. (2019). Metaheuristic Research: A Comprehensive Survey. *Artificial Intelligence Review*, 52(4), 2191-2233.
- Panda, A., & Pani, S. (2016). A Symbiotic Organisms Search Algorithm with Adaptive Penalty Function to Solve Multi-Objective Constrained Optimization Problems. *Applied Soft Computing*, 46, 344-360.
- Shash, A. A., & Qarra, A. A. (2018). Cash Flow Management of Construction Projects in Saudi Arabia. *Project Management Journal*, 49(5), 48-63.