

Optimasi Penjadwalan Proyek Kantor PT.X dengan Konsep *Finance-Based Scheduling* dan Metode Metaheuristik

Ambrosius Matthew Junius Reynaldo ^{[1]*}, Doddy Prayogo ^[1],
Richard Christian Thendean ^[1], Immanuel Michraga Freando ^[1]

^{[1]*} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 60236, Indonesia

Email: matthew.junius@petra.ac.id*, prayogo@petra.ac.id, b11190037@john.petra.ac.id,
b11190070@john.petra.ac.id

*) Correspondent Author

Received: 27 February 2024; Revised: 21 March 2024; Accepted: 26 April 2024

How to cited this article:

Reynaldo, A.M.J., Prayogo, D., Thendean, R.C., Freando, I.M., (2024). Optimasi Penjadwalan Proyek Kantor PT.X dengan Konsep Finance-Based Scheduling dan Metode Metaheuristik. Jurnal Teknik Sipil, 20(2), 191–208. <https://doi.org/10.28932/jts.v20i2.8445>

ABSTRAK

Kontraktor perlu memperhatikan kondisi keuangan perusahaan agar ketersediaan dana untuk melaksanakan operasi konstruksi yang menguntungkan dapat tercukupi. Proyek konstruksi membutuhkan dana yang besar sehingga kontraktor seringkali memanfaatkan sistem pinjaman bank. Konsep *finance-based scheduling* diperlukan untuk menggabungkan penjadwalan dan pendanaan pada proyek konstruksi. Penelitian ini berusaha untuk melakukan optimasi *finance-based scheduling* dengan tujuan meminimalkan bunga dari pinjaman dana kontraktor. Metode optimasi yang digunakan adalah algoritma metaheuristik *Symbiotic Organisms Search* (SOS) dan studi kasus yang digunakan adalah proyek pembangunan kantor PT.X di Surabaya dengan tujuan untuk memberikan alternatif skenario penjadwalan kepada kontraktor. Proses optimasi dilakukan dengan melakukan pergeseran waktu mulai aktivitas (*shift value*) dan menghasilkan penjadwalan yang baru. Hasil proses optimasi pada tiga skenario pembayaran mampu menghasilkan beban bunga pinjaman dana kontraktor lebih kecil. Selain itu, setelah dilakukan proses optimasi, pinjaman dana terbesar kontraktor juga mengalami penurunan sehingga memenuhi batasan kredit yang telah ditetapkan oleh pihak bank. Alternatif pilihan skenario terbaik adalah skenario 1 dan 3 yang menghasilkan tingkat penurunan beban bunga pinjaman dan tingkat penurunan pinjaman dana terbesar.

Kata kunci: *Finance-Based Scheduling*, Keuangan, Optimasi, Penjadwalan, *Symbiotic Organisms Search*

ABSTRACT. *Optimizing the Scheduling of PT.X Office Project with Finance-Based Scheduling Concept and Metaheuristic Method.* Contractors need to pay attention to the financial condition of the company so that the availability of funds to carry out profitable construction operations can be fulfilled. Construction projects require substantial funds, so contractors often utilize bank loan systems. A finance-based scheduling concept is needed to combine scheduling and funding in construction projects. This research seeks to optimize finance-based scheduling with the goal of minimizing interest on contractor loans. The optimization method used is the metaheuristic algorithm *Symbiotic Organisms Search* (SOS), and the case study used is the construction project of PT.X office building in Surabaya with the aim of providing alternative scheduling scenarios to contractors. The optimization process involves shifting the start time of activities (*shift value*) to generate new schedules. The results of the optimization process in three payment scenarios were able to produce smaller interest burdens on contractor loans. Additionally, after the optimization process, the contractor's largest loan also decreased, meeting the credit limit set by the bank. The best alternative scenario choices are scenarios 1 and 3, which result in the highest decrease in loan interest burden and the largest decrease in loan amount.

Keywords: *Finance*, *Finance-Based Scheduling*, *Optimization*, *Scheduling*, *Symbiotic Organisms Search*

1. PENDAHULUAN

Dalam aspek perencanaan biaya, kontraktor perlu memperhatikan kondisi keuangan perusahaan. Kemampuan kontraktor untuk menyediakan dana guna melaksanakan operasi konstruksi merupakan faktor penting untuk menjalankan bisnis yang menguntungkan (Elazouni & Metwally, 2007). Perusahaan konstruksi dapat gagal untuk melaksanakan proyek konstruksi yang menguntungkan apabila ketersediaan dana tidak tercukupi (Afshar & Fathi, 2009). Dalam setiap fase proyek konstruksi, kontraktor perlu meramalkan aliran kas untuk memastikan dana tersedia (Fathi & Afshar, 2010). Proyek konstruksi membutuhkan dana yang sangat besar, sehingga kontraktor jarang bergantung pada dana pribadi dan mencari sumber dana eksternal seperti pinjaman bank (Reynaldo & Prayogo, 2022). Fasilitas bank yang biasa digunakan oleh kontraktor untuk mendanai proyek disebut *bank overdraft*. Dengan demikian, konsep *finance-based scheduling* diperlukan untuk menggabungkan penjadwalan dan pendanaan pada proyek konstruksi.

Finance-based scheduling merupakan metode penjadwalan yang memastikan bahwa besarnya pinjaman dana kontraktor pada setiap tahap pelaksanaan proyek konstruksi tidak melebihi batasan kredit yang diberikan oleh pihak bank (Elazouni & Metwally, 2005). Konsep *finance-based scheduling* berusaha untuk memperhatikan keseimbangan antara ketepatan waktu penyelesaian proyek dan aliran keuangan kontraktor. Secara garis besar, terdapat tiga aspek yang menjadi perhatian dalam *finance-based scheduling* yaitu durasi proyek, besarnya pinjaman dana kontraktor dan besarnya bunga dari pinjaman dana kontraktor. Besarnya pinjaman dana kontraktor bergantung pada batasan kredit yang ditentukan oleh pihak bank (Elazouni & Metwally, 2007). Selain batasan kredit, pihak bank juga akan menentukan tingkat suku bunga dari pinjaman kontraktor. Dari perspektif kontraktor, kontraktor ingin meminimalkan bunga dari pinjaman dana yang dilakukan. Proses optimasi dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang optimal sehingga diperoleh bunga dari pinjaman dana kontraktor sekecil mungkin.

Dalam dunia konstruksi, terdapat banyak permasalahan optimasi yang telah diselesaikan dengan metode metaheuristik. Beberapa permasalahan optimasi di dunia konstruksi yang telah diselesaikan dengan metode metaheuristik diantaranya adalah optimasi *site layout* konstruksi (Abotaleb et al., 2016; Adrian et al., 2015; Xu et al., 2020), optimasi *resource levelling* pada sumber daya manusia (Benjaoran et al., 2015; El-Sayegh, 2018), optimasi *time-cost trade-off* (Geem, 2010; Toğan & Eirgash, 2019), dan lain-lain. Optimasi *finance-based scheduling* pertama kali diperkenalkan oleh Elazouni dan Gab Allah pada tahun 2004, yang dimulai dengan optimasi satu fungsi objektif yaitu meminimalkan besarnya pinjaman dana kontraktor dengan metode program linear (Elazouni & Gab-Allah, 2004). Penelitian *finance-based scheduling* terus mengalami perkembangan dengan berbagai penambahan fungsi objektif dan perubahan metode

optimasi yang digunakan. Pada penelitian ini, fungsi objektif yang ditinjau adalah berusaha untuk meminimalkan besarnya bunga dari pinjaman dana kontraktor. Metode metaheuristik yang digunakan adalah *Symbiotic Organisms Search* (SOS) yang dikembangkan oleh Cheng dan Prayogo pada tahun 2014. Keunggulan metode metaheuristik SOS adalah pengguna hanya perlu menentukan jumlah populasi dan iterasi untuk menggunakannya (Panda & Pani, 2016). Selain itu, SOS memiliki kelebihan dalam hal eksplorasi, eksploitasi, dan eliminasi solusi inferior (Ezugwu & Prayogo, 2019).

Studi kasus yang digunakan adalah proyek pembangunan gedung perkantoran PT. X di Surabaya. Jenis kontrak yang digunakan adalah *cost plus fee* yaitu kontraktor menerima pembayaran berdasarkan progres kemajuan proyek setiap bulannya beserta biaya jasa kontraktor tersebut. Kontraktor melakukan pendanaan proyek dengan mengandalkan keseluruhan pinjaman dari pihak bank untuk melaksanakan proyek tersebut. Pemilihan proyek pembangunan gedung perkantoran PT.X bertujuan untuk memberikan alternatif skenario penjadwalan kepada kontraktor yang lebih optimal. Dengan adanya skenario penjadwalan yang lebih optimal, maka kontraktor dapat meminimalkan bunga dari pinjaman dana yang dilakukan dan memperoleh keuntungan yang lebih besar.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur pada jurnal dan penelitian-penelitian terdahulu untuk memperoleh konsep *finance-based scheduling* dan metode metaheuristik *Symbiotic Organisms Search* (SOS). Proses selanjutnya adalah pengumpulan data dari proyek kantor PT. X yang meliputi aktivitas pekerjaan, durasi dan biaya setiap aktivitas, serta hubungan antar aktivitas tersebut. Selain itu, pengumpulan data parameter untuk perhitungan fungsi objektif meliputi batasan kredit, tingkat suku bunga, persentase retensi, dan persentase keuntungan juga diperlukan. Setelah memperoleh keseluruhan data proyek, maka dilakukan pengolahan data dengan *Microsoft Excel* dan pembuatan diagram CPM untuk memperoleh *early start* (ES), *early finish* (EF), *late start* (LS), *late finish* (LF), *total float* (TF), dan *free float* (FF) pada setiap aktivitas pekerjaan. Proses optimasi *finance-based scheduling* dilakukan dengan metode metaheuristik SOS dan menggunakan aplikasi MATLAB R2019b.

2.1. Perhitungan Durasi Proyek dan Pembuatan Diagram CPM dengan Konsep *Finance-Based Scheduling*

Konsep *finance-based scheduling* menghasilkan penjadwalan yang memastikan hutang kontraktor tidak melebihi batasan kredit pada setiap tahap pelaksanaan konstruksi (Elazouni & Metwally, 2007). Metode ini membantu untuk pengembangan jadwal yang layak secara finansial

sesuai dengan batasan kredit yang diberikan oleh pihak bank (Fathi & Afshar, 2010). Batasan kredit akan mempengaruhi besarnya bunga dari pinjaman dana yang dilakukan kontraktor, hal ini dikarenakan tingkat suku bunga pinjaman ditentukan berdasarkan besarnya batasan kredit. Metode *finance-based scheduling* akan memodifikasi waktu mulai aktivitas proyek sepanjang *total float* (TF) dan dapat memperpanjang durasi total proyek apabila diperlukan (Afshar & Fathi, 2009). Perpanjangan durasi total proyek dilakukan apabila batasan kredit yang dikehendaki masih belum dapat terpenuhi. Proses perpanjangan durasi total proyek adalah dengan menambahkan sejumlah durasi pada TF setiap aktivitas dan memperluasnya menjadi *boosted TF*. Perhitungan *boosted TF* disajikan dalam Persamaan 1.

$$J_k = TF_k + M \quad (1)$$

2.2. Perhitungan Arus Kas Proyek dan Besarnya Bunga dari Pinjaman Dana Kontraktor

Pada konsep *finance-based scheduling*, kontraktor tidak melakukan pendanaan untuk pelaksanaan proyek konstruksi dengan mengandalkan simpanan pribadi saja. Kontraktor juga melakukan peminjaman dana pada pihak bank dengan sistem plafon rekening koran (PRK). Nantinya kontraktor akan dikenakan bunga dari pinjaman dana tersebut yang bergantung pada faktor besarnya pinjaman dana, durasi peminjaman, dan tingkat suku bunga (Reynaldo & Prayogo, 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan proyeksi arus kas yang memungkinkan kontraktor untuk mengetahui saldo yang diterima dan dikeluarkan selama pelaksanaan proyek konstruksi.

Pengeluaran proyek konstruksi pada suatu periode (E_t) merupakan penjumlahan total biaya langsung dalam satu hari selama periode tertentu. Total biaya langsung dalam satu hari meliputi biaya langsung seluruh aktivitas yang berlangsung pada hari tersebut. Sebaliknya, pemasukan proyek konstruksi berasal dari pembayaran pemilik (P_t). Kontraktor akan menerima pembayaran dari pemilik pada setiap akhir periode yang telah ditentukan. Hal ini bergantung pada perjanjian termin pembayaran antara kontraktor dengan pemilik. Dalam setiap termin pembayaran, pemilik akan menahan sejumlah pembayaran sesuai dengan persentase retensi (R) sebagai jaminan penyelesaian proyek oleh kontraktor. Selain retensi, pemilik juga membayarkan keuntungan dan biaya *overhead* yang telah ditetapkan oleh kontraktor dalam persentase tertentu, disebut *profit and overhead markup* (POM). Setelah mengetahui proses arus kas keluar dan masuk, barulah kontraktor dapat menghitung besarnya bunga dari pinjaman dana (I_t) yang bergantung pada tingkat suku bunga (r). Tentunya, keputusan kontraktor untuk melakukan peminjaman dana dari bank dipengaruhi juga oleh arus kas bersih (N'_t) dan arus kas kumulatif (F'_t). Perhitungan arus kas proyek konstruksi disajikan dalam Persamaan 2 – 7.

$$y_i = \sum_{p=1}^{n_i} c_{pi} \quad (2)$$

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

$$P_t = (1 - R) \times (1 + POM) \times E_t \quad (4)$$

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

$$F'_t = F_t + I_t \quad (6)$$

$$N'_t = F'_t + P_t \quad (7)$$

2.3. Optimasi Penjadwalan Proyek dengan Metode Metaheuristik

2.3.1. Symbiotic Organisms Search (SOS)

SOS mensimulasikan interaksi simbiosis yang diadopsi oleh organisme untuk bertahan hidup dan berkembang biak dalam ekosistem (Cheng & Prayogo, 2014). Dalam algoritma SOS terdapat tiga fase yaitu fase mutualisme, fase komensalisme, dan fase parasitisme. Fase mutualisme berarti menguntungkan kedua belah pihak, yaitu organisme X_i berinteraksi dengan organisme X_j dan kedua organisme terlibat dalam hubungan mutualistik yang bertujuan meningkatkan kelangsungan hidup bersama dalam ekosistem. Fase komensalisme berarti hanya menguntungkan salah satu pihak tanpa memberikan dampak apapun terhadap pihak yang lain, yaitu organisme X_i berinteraksi dengan organisme X_j dan organisme X_i berusaha mengambil keuntungan dari interaksi tanpa memberikan keuntungan ataupun merugikan organisme X_j . Fase parasitisme berarti hanya menguntungkan salah satu pihak dan merugikan pihak yang lain, yaitu organisme X_i diberi peran untuk diduplikasi sebagai *Parasite_Vector* dan organisme X_j diberi peran sebagai tuan rumah dari *Parasite_Vector*. Secara umum, proses SOS dimulai dari proses inialisasi populasi, dilanjutkan proses iterasi meliputi ketiga fase, dan berlangsung terus hingga kriteria tercapai.

2.3.2. Variabel, Batasan, dan Fungsi Objektif dari Proses Optimasi

Optimasi *finance-based scheduling* melakukan pergeseran waktu mulai aktivitas (*shift value*) yang selanjutnya disebut sebagai variabel optimasi. Nilai *shift value* tersebut dibatasi dengan batas bawah (*lower bound*) bernilai nol dan batas atas (*upper bound*) bernilai *boosted total float*. *Lower bound* dan *upper bound* bertujuan untuk membatasi *shift value* agar hasil yang diperoleh tidak kurang dari nol dan tidak melebihi batasan total durasi proyek. Batasan *lower bound* dan *upper bound* dinyatakan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Batas Bawah dan Batas Atas untuk Nilai *Shift Value*

Variabel	Keterangan	Batas Bawah	Batas Atas
X_1	<i>Shift value</i> aktivitas 1	0	$J_1 = TF_1 + M$
X_2	<i>Shift value</i> aktivitas 2	0	$J_2 = TF_2 + M$
⋮	⋮	⋮	⋮
X_k	<i>Shift value</i> aktivitas k	0	$J_k = TF_k + M$

Batasan bertujuan membatasi nilai-nilai yang diperoleh sehingga tetap sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Dalam *finance-based scheduling*, batasan yang digunakan adalah batasan kredit dan total durasi proyek (Fathi & Afshar, 2010). Batasan kredit diperoleh dari hasil negosiasi dengan pihak bank untuk membatasi pinjaman dana kontraktor. Sebaliknya, batasan total durasi proyek diperoleh dari hasil kesepakatan bersama antara kontraktor dan pemilik. Persamaan untuk batasan kredit dinyatakan dengan Persamaan 8 dan persamaan untuk batasan total durasi proyek dinyatakan dengan Persamaan 9.

$$F'_t \leq F'_t \text{ max} \quad (8)$$

$$mF_k \leq T \quad (9)$$

Fungsi objektif (*objective function*) merupakan fungsi yang menjadi tujuan proses optimasi. Dalam *finance-based scheduling* tujuan proses optimasi yang ingin dicapai adalah meminimalkan bunga dari pinjaman dana kontraktor. Hasil dari perhitungan fungsi objektif akan dibandingkan dengan batasan yang telah ditetapkan sebelumnya dan apabila terdapat fungsi objektif yang tidak memenuhi maka akan diberikan nilai penalti sangat besar. Pemberian nilai penalti bertujuan agar solusi yang dihasilkan tidak terpilih menjadi solusi yang optimal. Proses optimasi yang dilakukan merupakan *single objective* sehingga hanya terdapat satu fungsi objektif saja yang dinyatakan dengan Persamaan 10.

$$FC = r|E_1| + \sum_{t=2}^{t_f} |r(E_t + N'_{t-1})| \quad (10)$$

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Studi Kasus Penelitian

Studi kasus pada penelitian ini adalah proyek pembangunan gedung perkantoran PT. X dengan total 9 lantai di Surabaya yang terdiri dari 79 aktivitas. Pengumpulan data proyek yang dilakukan meliputi durasi dan biaya setiap aktivitas, serta hubungan antar aktivitas. Pada pembangunan ini, kontraktor menggunakan pendanaan 100% dari pihak bank dengan sistem plafon rekening koran (PRK). Kontraktor akan diberikan batasan kredit oleh pihak bank dan akan meminjam apabila arus kas kontraktor bernilai negatif. Besar pinjaman dana kontraktor bergantung pada pengeluaran yang dibutuhkan pada periode tersebut dan bunga dari pinjaman yang dilakukan akan mulai berjalan saat kontraktor mulai melakukan pinjaman. Pada saat arus kas kontraktor bernilai positif, maka tidak akan ada peminjaman dana yang dilakukan oleh kontraktor. Data aktivitas proyek pembangunan gedung perkantoran PT. X dapat dilihat pada Tabel 2. Selain data proyek, terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk perhitungan fungsi objektif. Jumlah hari kerja (m) menunjukkan jumlah proyek berjalan dalam satu minggu, tingkat suku bunga (r) diperoleh dari pihak bank, persentase retensi (R) dan persentase keuntungan (POM) diperoleh dari pihak kontraktor. Jumlah hari penagihan hingga pembayaran

(t_p) merupakan periode waktu yang dibutuhkan oleh *owner* untuk melakukan pembayaran pada kontraktor dan denda keterlambatan (p) diberikan kepada kontraktor apabila durasi proyek melebihi kontrak yang telah ditetapkan. Data parameter untuk perhitungan fungsi objektif dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Data Proyek Pembangunan Gedung Perkantoran PT. X

No	Aktivitas	Durasi (Hari)	Biaya Aktivitas (Rupiah)	Successor
1	Pekerjaan <i>Bored Pile</i>	35	128.638.974,26	2,3,4
2	Galian Pile Cap Tower Crane	35	12.544.912,91	5
3	Galian Pile Cap Utama	49	77.979.113,77	6
4	Galian <i>Sloof</i>	49	24.953.253,77	7
5	Pile Cap Tower Crane	35	35.712.776,57	8
6	Pile Cap Utama	42	388.251.600,36	8
7	Tiebeam / Sloof	42	198.446.982,65	8,9
8	Pekerjaan Kolom Lt.1	14	280.317.495,10	10,13
9	Pekerjaan Plat Lt. 1	28	70.594.190,60	
10	Pekerjaan Balok Lt.2 (AREA 1)	14	209.687.800,81	11,12,71
11	Pekerjaan Plat Lt. 2 (AREA 1)	14	141.811.821,59	12
12	Pekerjaan Kolom Lt.2 (AREA 1)	7	104.077.778,21	16,17
13	Pekerjaan Balok Lt.2 (AREA 2)	7	104.843.900,41	14,15
14	Pekerjaan Plat Lt. 2 (AREA 2)	7	70.905.910,79	15
15	Pekerjaan Kolom Lt.2 (AREA 2)	7	104.077.778,21	19,20
16	Pekerjaan Balok Lt.3 (AREA 1)	14	222.140.491,71	17,18,72
17	Pekerjaan Plat Lt. 3 (AREA 1)	14	143.143.477,96	18
18	Pekerjaan Kolom Lt.3 (AREA 1)	7	93.262.206,67	22,23
19	Pekerjaan Balok Lt.3 (AREA 2)	7	111.070.245,85	20,21
20	Pekerjaan Plat Lt. 3 (AREA 2)	7	71.571.738,98	21
21	Pekerjaan Kolom Lt.3 (AREA 2)	7	93.262.206,67	25,26
22	Pekerjaan Balok Lt.4 (AREA 1)	14	234.765.526,13	23,24,73
23	Pekerjaan Plat Lt. 4 (AREA 1)	14	159.378.080,23	24
24	Pekerjaan Kolom Lt.4 (AREA 1)	7	86.133.350,16	28,29
25	Pekerjaan Balok Lt.4 (AREA 2)	7	117.382.763,07	26,27
26	Pekerjaan Plat Lt. 4 (AREA 2)	7	79.689.040,12	27
27	Pekerjaan Kolom Lt.4 (AREA 2)	7	86.133.350,16	31,32
28	Pekerjaan Balok Lt.5 (AREA 1)	14	210.690.449,35	29,30,74
29	Pekerjaan Plat Lt. 5 (AREA 1)	14	115.281.326,10	30
30	Pekerjaan Kolom Lt.5 (AREA 1)	7	77.398.647,27	34,35
31	Pekerjaan Balok Lt.5 (AREA 2)	7	105.345.224,67	32,33

No	Aktivitas	Durasi (Hari)	Biaya Aktivitas (Rupiah)	Successor
32	Pekerjaan Plat Lt. 5 (AREA 2)	7	57.640.663,05	33
33	Pekerjaan Kolom Lt.5 (AREA 2)	7	77.398.647,27	37,38
34	Pekerjaan Balok Lt.6 (AREA 1)	14	205.355.755,95	35,36,75
35	Pekerjaan Plat Lt. 6 (AREA 1)	14	115.281.326,10	36
36	Pekerjaan Kolom Lt.6 (AREA 1)	7	82.860.859,45	40,41
37	Pekerjaan Balok Lt.6 (AREA 2)	7	102.677.877,97	38,39
38	Pekerjaan Plat Lt. 6 (AREA 2)	7	57.640.663,05	39
39	Pekerjaan Kolom Lt.6 (AREA 2)	7	82.860.859,45	43,44
40	Pekerjaan Balok Lt.7 (AREA 1)	14	203.721.489,58	41,42,77
41	Pekerjaan Plat Lt. 7 (AREA 1)	14	115.281.326,10	42
42	Pekerjaan Kolom Lt.7 (AREA 1)	7	74.350.027,44	46,47
43	Pekerjaan Balok Lt.7 (AREA 2)	7	101.860.744,79	44,45
44	Pekerjaan Plat Lt. 7 (AREA 2)	7	57.640.663,05	45
45	Pekerjaan Kolom Lt.7 (AREA 2)	7	74.350.027,44	49,50
46	Pekerjaan Balok Lt.8 (AREA 1)	14	205.449.376,36	47,48,78
47	Pekerjaan Plat Lt. 8 (AREA 1)	14	115.877.391,14	48
48	Pekerjaan Kolom Lt.8 (AREA 1)	7	82.860.859,45	52,53
49	Pekerjaan Balok Lt.8 (AREA 2)	7	102.724.688,18	50,51
50	Pekerjaan Plat Lt. 8 (AREA 2)	7	57.938.695,57	51
51	Pekerjaan Kolom Lt.8 (AREA 2)	7	82.860.859,45	55,56
52	Pekerjaan Balok Lt.9 (AREA 1)	14	200.687.632,24	53,54,79
53	Pekerjaan Plat Lt. 9 (AREA 1)	14	115.281.326,10	54
54	Pekerjaan Kolom Lt.9 (AREA 1)	7	66.728.337,04	58,59
55	Pekerjaan Balok Lt.9 (AREA 2)	7	100.343.816,12	56,57
56	Pekerjaan Plat Lt. 9 (AREA 2)	7	57.640.663,05	57
57	Pekerjaan Kolom Lt.9 (AREA 2)	7	66.728.337,04	61,62
58	Pekerjaan Balok Lt.Atap (AREA 1)	14	89.905.391,70	59,60
59	Pekerjaan Plat Lt.Atap (AREA 1)	14	42.490.318,13	60
60	Pekerjaan Kolom Lt.Atap (AREA 1)	7	48.848.944,97	64,65
61	Pekerjaan Balok Lt.Atap (AREA 2)	7	44.952.695,85	62,63
62	Pekerjaan Plat Lt.Atap (AREA 2)	7	21.245.159,07	63
63	Pekerjaan Kolom Lt.Atap (AREA 2)	7	48.848.944,97	66,67
64	Pekerjaan Balok Talang (AREA 1)	14	80.477.492,84	65,69
65	Pekerjaan Plat Talang (AREA 1)	14	45.995.676,39	69
66	Pekerjaan Balok Talang (AREA 2)	7	40.238.746,42	67,69
67	Pekerjaan Plat Talang (AREA 2)	7	22.997.838,19	69

No	Aktivitas	Durasi (Hari)	Biaya Aktivitas (Rupiah)	Successor
68	Pekerjaan Fabrikasi Atap & <i>Finishing</i>	28	-	69
69	Pekerjaan <i>Erection</i> Atap	21	138.300.527,63	70
70	Pekerjaan <i>Finishing</i> Atap	21	120.294.022,76	-
71	Pekerjaan Tangga Lt.1	7	31.002.295,60	72
72	Pekerjaan Tangga Lt.2	7	29.558.703,09	73
73	Pekerjaan Tangga Lt.3	7	29.558.703,09	74
74	Pekerjaan Tangga Lt.4	7	29.558.703,09	75
75	Pekerjaan Tangga Lt.5	7	29.558.703,09	76
76	Pekerjaan Tangga Lt.6	7	29.558.703,09	77
77	Pekerjaan Tangga Lt.7	7	29.558.703,09	78
78	Pekerjaan Tangga Lt.8	7	29.558.703,09	79
79	Pekerjaan Tangga Lt.9	7	26.301.378,22	-

Tabel 3. Data Parameter untuk Perhitungan Fungsi Objektif

No	Parameter	Keterangan	Nilai
1	m	Jumlah hari kerja	7
2	r	Tingkat suku bunga (%/minggu)	0,173
3	R	Persentase retensi	5
4	POM	Persentase keuntungan	5
5	t_p	Jumlah hari dari penagihan hingga pembayaran (hari)	14
6	p	Denda keterlambatan (%/hari)	1

3.2. Hasil Penelitian

Proses optimasi *finance-based scheduling* dilakukan pada tiga skenario pembayaran yang berbeda, meliputi pembayaran dengan *down payment* 10%, dengan *down payment* 5%, dan tanpa *down payment*. Pada ketiga skenario pembayaran, setiap penagihan oleh kontraktor akan dibayarkan oleh pemilik dalam jangka waktu 2 minggu. Jumlah pembayaran akan disesuaikan dengan tingkat kemajuan proyek di lapangan setiap 1 bulan. Pada setiap skenario, akan diberikan penjelasan berupa perbandingan kondisi sebelum dilakukan optimasi dan setelah dilakukan optimasi.

3.2.1. Skenario 1: Pembayaran dengan *Down Payment* 10%

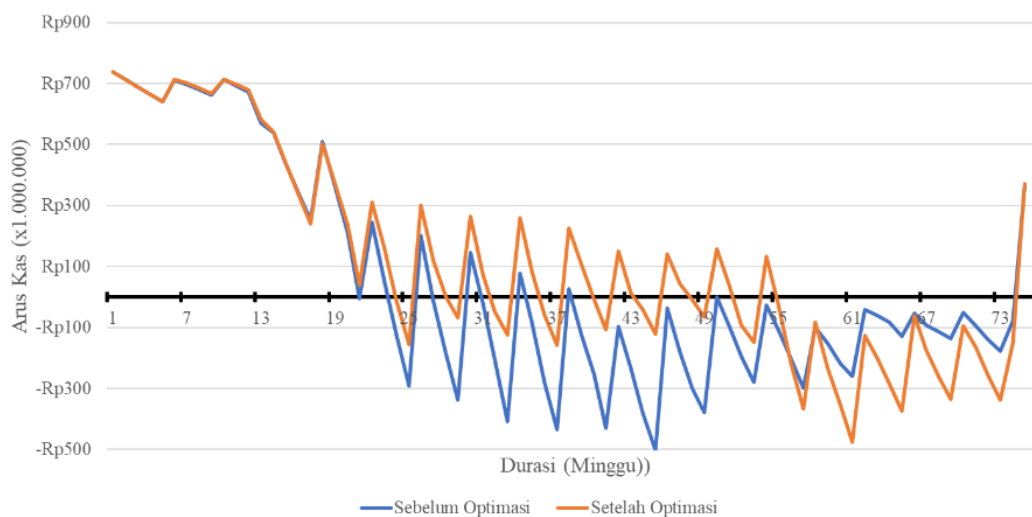
Pada skenario ini, terdapat dua kondisi yang ditinjau yaitu sebelum dilakukan optimasi dan setelah dilakukan optimasi. Batasan kredit yang diberikan pada kontraktor adalah sebesar Rp

500.000.000,00. Sebelum dilakukan proses optimasi, total durasi proyek adalah 525 hari atau 75 minggu. Selama proyek berlangsung, kontraktor baru akan melakukan pinjaman dana pada minggu ke-21. Setelah melakukan pinjaman pertama kali, kontraktor mengalami arus kas positif sehingga tidak memerlukan pinjaman dari pihak bank selama lima periode berikutnya. Beban bunga pinjaman yang perlu dibayarkan kontraktor sebesar Rp 14.667.984,00 dan keuntungan kontraktor pada akhir proyek adalah Rp 366.949.300,00. Nilai arus kas negatif kontraktor terbesar adalah Rp 503.087.655,00 pada minggu ke-45. Setelah dilakukan proses optimasi, yaitu dengan melakukan pergeseran waktu mulai aktivitas (*shift value*) maka diperoleh bahwa total durasi proyek tetap 525 hari atau 75 minggu. Hasil *shift value* setiap aktivitas dapat dilihat pada Tabel 4. Selama proyek berlangsung, kontraktor baru mulai melakukan pinjaman pada minggu ke-24. Setelah melakukan pinjaman pertama kali, kontraktor mengalami arus kas positif sehingga tidak memerlukan pinjaman dari bank selama 15 periode berikutnya. Beban bunga pinjaman yang perlu dibayarkan lebih kecil dari kondisi sebelum optimasi yaitu sebesar Rp 10.006.790,00 dan kontraktor memperoleh keuntungan yang lebih besar yaitu sebesar Rp 371.610.494,00. Nilai arus kas negatif kontraktor terbesar adalah Rp 475.799.363,00 pada minggu ke-61. Perbandingan kondisi sebelum optimasi dan setelah optimasi dapat dilihat pada grafik arus kas pada Gambar 1.

Tabel 4. *Shift Value* Setiap Aktivitas pada Skenario 1

Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)	Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)	Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)
1	0	31	63	61	133
2	15	32	63	62	140
3	0	33	77	63	140
4	0	34	0	64	0
5	15	35	0	65	0
6	0	36	0	66	140
7	0	37	77	67	140
8	0	38	84	68	393
9	371	39	84	69	0
10	0	40	0	70	0
11	0	41	0	71	0
12	0	42	0	72	224
13	0	43	84	73	245
14	1	44	84	74	224
15	1	45	84	75	196
16	0	46	0	76	168
17	0	47	0	77	140

Aktivitas	Shift Value (hari)	Aktivitas	Shift Value (hari)	Aktivitas	Shift Value (hari)
18	0	48	0	78	112
19	17	49	84	79	84
20	42	50	84		
21	42	51	112		
22	0	52	0		
23	0	53	0		
24	0	54	0		
25	42	55	112		
26	42	56	112		
27	63	57	112		
28	0	58	0		
29	0	59	0		
30	0	60	0		



Gambar 1. Grafik Arus Kas Kumulatif Proyek Skenario 1

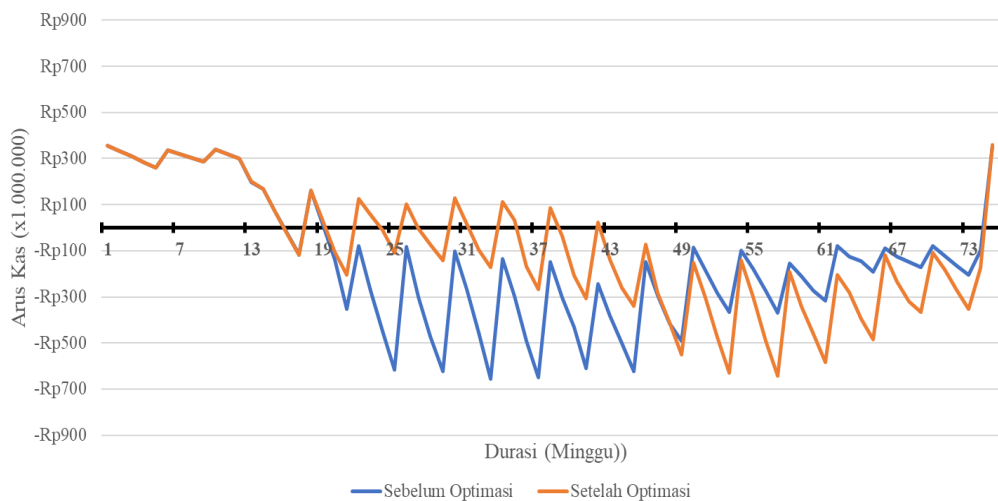
3.2.2. Skenario 2: Pembayaran dengan *Down Payment* 5%

Pada skenario ini, terdapat dua kondisi yang ditinjau yaitu sebelum dilakukan optimasi dan setelah dilakukan optimasi. Batasan kredit yang diberikan pada kontraktor adalah sebesar Rp 1.000.000.000,00. Sebelum dilakukan proses optimasi, total durasi proyek adalah 525 hari atau 75 minggu. Selama proyek berlangsung, kontraktor baru akan melakukan pinjaman dana pada minggu ke-16. Beban bunga pinjaman yang perlu dibayarkan kontraktor sebesar Rp 27.086.169,00 dan keuntungan kontraktor pada akhir proyek adalah Rp 354.531.115,00. Nilai arus kas negatif kontraktor terbesar adalah Rp 656.031.103,00 pada minggu ke-33. Setelah dilakukan proses optimasi, yaitu dengan melakukan pergeseran waktu mulai aktivitas (*shift value*)

maka diperoleh bahwa total durasi proyek tetap 525 hari atau 75 minggu. Hasil *shift value* setiap aktivitas dapat dilihat pada Tabel 5. Selama proyek berlangsung, kontraktor mengalami arus kas positif sebanyak 9 periode, sehingga besarnya pinjaman dana yang dibutuhkan lebih rendah. Hal ini berdampak pada beban bunga pinjaman yang perlu dibayarkan lebih kecil dari kondisi sebelum optimasi yaitu sebesar Rp 21.215.888,00 dan kontraktor memperoleh keuntungan yang lebih besar yaitu sebesar Rp 360.401.396,00. Nilai arus kas negatif kontraktor terbesar adalah Rp 643.068.014,00 pada minggu ke-57. Perbandingan kondisi sebelum optimasi dan setelah optimasi dapat dilihat pada grafik arus kas pada Gambar 2.

Tabel 5. *Shift Value* Setiap Aktivitas pada Skenario 2

Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)	Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)	Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)
1	0	31	140	61	140
2	2	32	140	62	140
3	0	33	140	63	140
4	0	34	0	64	0
5	2	35	0	65	0
6	0	36	0	66	140
7	0	37	140	67	140
8	0	38	140	68	393
9	371	39	140	69	0
10	0	40	0	70	0
11	0	41	0	71	287
12	0	42	0	72	273
13	105	43	140	73	245
14	119	44	140	74	224
15	119	45	140	75	196
16	0	46	0	76	168
17	0	47	0	77	140
18	0	48	0	78	112
19	133	49	140	79	84
20	133	50	140		
21	140	51	140		
22	0	52	0		
23	0	53	0		
24	0	54	0		
25	140	55	140		
26	140	56	140		
27	140	57	140		
28	0	58	0		
29	0	59	0		
30	0	60	0		



Gambar 2. Grafik Arus Kas Kumulatif Proyek Skenario 2

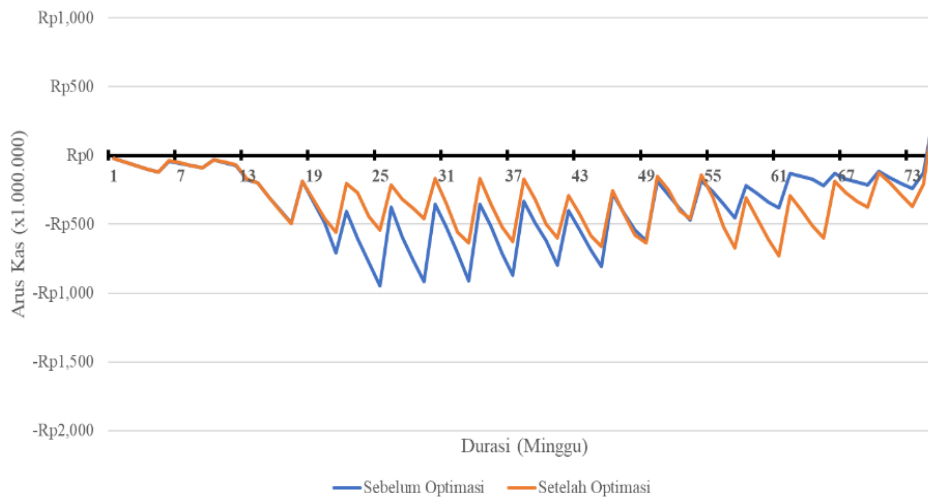
3.2.3. Skenario 3: Pembayaran tanpa Down Payment

Pada skenario ini, terdapat dua kondisi yang ditinjau yaitu sebelum dilakukan optimasi dan setelah dilakukan optimasi. Batasan kredit yang diberikan pada kontraktor adalah sebesar Rp 1.000.000.000,00. Sebelum dilakukan proses optimasi, total durasi proyek adalah 525 hari atau 75 minggu. Selama proyek berlangsung, kontraktor melakukan pinjaman dana pada pihak bank dari awal proyek dilaksanakan. Beban bunga pinjaman yang perlu dibayarkan kontraktor sebesar Rp 51.763.824,00 dan keuntungan kontraktor pada akhir proyek adalah Rp 329.853.460,00. Nilai arus kas negatif kontraktor terbesar adalah Rp 946.400.690,00 pada minggu ke-25. Setelah dilakukan proses optimasi, yaitu dengan melakukan pergeseran waktu mulai aktivitas (*shift value*) maka diperoleh bahwa total durasi proyek tetap 525 hari atau 75 minggu. Hasil *shift value* setiap aktivitas dapat dilihat pada Tabel 6. Selama proyek berlangsung, kontraktor akan terus mengalami arus kas negatif dikarenakan kontraktor melakukan peminjaman dari awal masa proyek. Proses optimasi menyebabkan beban bunga pinjaman yang perlu dibayarkan lebih kecil dari kondisi sebelum optimasi yaitu sebesar Rp 42.618.035,00 dan kontraktor memperoleh keuntungan yang lebih besar yaitu sebesar Rp 338.999.250,00. Nilai arus kas negatif kontraktor terbesar adalah Rp 729.926.171,00 pada minggu ke-61. Perbandingan kondisi sebelum optimasi dan setelah optimasi dapat dilihat pada grafik arus kas pada Gambar 3.

Tabel 6. *Shift Value* Setiap Aktivitas pada Skenario 3

Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)	Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)	Aktivitas	<i>Shift Value</i> (hari)
1	0	31	38	61	140
2	15	32	53	62	140
3	0	33	53	63	140
4	0	34	0	64	0

Aktivitas	Shift Value (hari)	Aktivitas	Shift Value (hari)	Aktivitas	Shift Value (hari)
5	15	35	0	65	0
6	0	36	0	66	140
7	0	37	69	67	140
8	0	38	123	68	421
9	371	39	140	69	0
10	0	40	0	70	0
11	0	41	0	71	308
12	0	42	0	72	280
13	0	43	140	73	252
14	3	44	140	74	224
15	3	45	140	75	196
16	0	46	0	76	168
17	0	47	0	77	140
18	0	48	0	78	112
19	3	49	140	79	84
20	11	50	140		
21	11	51	140		
22	0	52	0		
23	0	53	0		
24	0	54	0		
25	22	55	140		
26	22	56	140		
27	38	57	140		
28	0	58	0		
29	0	59	0		
30	0	60	0		

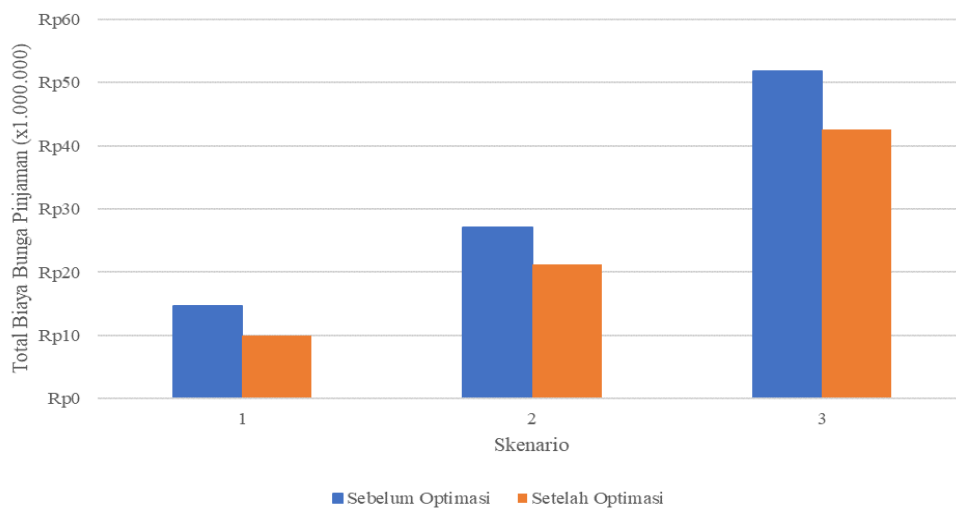


Gambar 3. Grafik Arus Kas Kumulatif Proyek Skenario 3

3.2.4. Perbandingan Hasil Optimasi pada Skenario Pembayaran

Setelah dilakukan proses optimasi pada setiap skenario, maka dilakukan perbandingan hasil optimasi. Perbandingan hasil optimasi dilakukan pada tingkat penurunan beban bunga pinjaman dan tingkat penurunan pinjaman terbesar pada satu periode. Secara umum pada setiap skenario, proses optimasi mampu untuk menghasilkan solusi untuk meminimalkan bunga dari

pinjaman dana kontraktor. Pada skenario 1, penurunan beban bunga pinjaman adalah sebesar 31,78% yaitu dari Rp 14.667.984,00 menjadi Rp 10.006.790,00. Selanjutnya pada skenario 2, penurunan beban bunga pinjaman adalah sebesar 21,67% yaitu dari Rp 27.086.169,00 menjadi Rp 21.215.888,00. Sebaliknya pada skenario 3, penurunan beban bunga pinjaman adalah sebesar 17,67% yaitu dari Rp 51.763.824,00 menjadi Rp 42.618.035,00. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa skenario 1 memiliki tingkat penurunan bunga yang paling signifikan sehingga merupakan solusi paling optimal. Perbandingan beban bunga pinjaman pada setiap skenario dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Beban Bunga Pinjaman pada Setiap Skenario

Selain berfokus pada beban bunga pinjaman, besarnya pinjaman dana terbesar yang dilakukan kontraktor selama masa proyek juga mengalami penurunan. Sebelum proses optimasi pada skenario 1, kontraktor melebihi batasan kredit yang diberikan oleh pihak bank sebesar Rp 500.000.000,00. Pinjaman dana terbesar yang perlu dilakukan kontraktor pada skenario 1 sebelum proses optimasi sebesar Rp 503.087.655,00 dan setelah proses optimasi, turun sebesar 5,42% menjadi Rp 475.799.363,00 sehingga dapat memenuhi batasan kredit dari pihak bank. Selanjutnya, pada skenario 2 pinjaman dana terbesar kontraktor juga mengalami penurunan sebesar 1,98% setelah proses optimasi meskipun sebelumnya telah memenuhi batasan kredit. Pada skenario 3, pinjaman dana terbesar kontraktor mengalami penurunan yang signifikan sebesar Rp 216.474.519,00 atau 22,87% sehingga kontraktor tidak perlu mempertimbangkan batasan kredit. Perbandingan pinjaman dana terbesar kontraktor pada setiap skenario dapat dilihat pada Tabel 7.

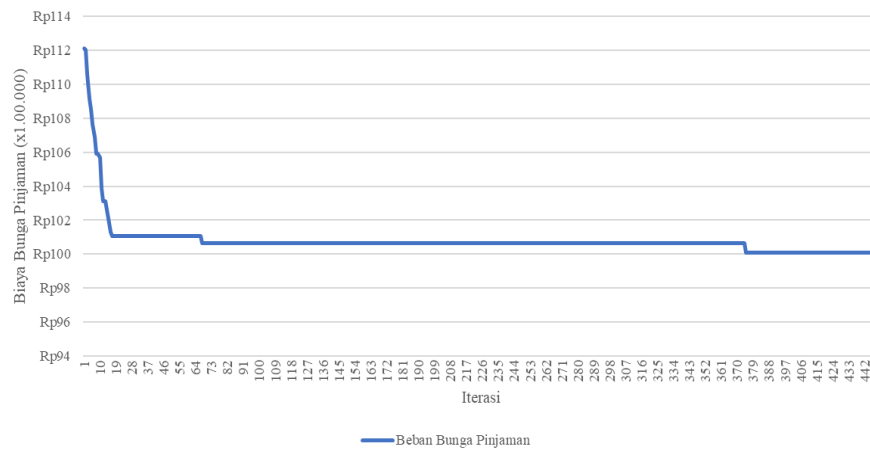
Tabel 7. Perbandingan Pinjaman Dana Terbesar Kontraktor pada Setiap Skenario

Perbandingan Hasil Optimasi dengan Batasan Kredit			
<i>Down Payment 10%</i>			
Skenario 1	Pinjaman Terbesar	Batasan Kredit	Kesimpulan
Sebelum Optimasi	Rp503.087.655,00	Rp500.000.000,00	TIDAK OK
Setelah Optimasi	Rp475.799.363,00	Rp500.000.000,00	OK
<i>Down Payment 5%</i>			
Skenario 2	Pinjaman Terbesar	Batasan Kredit	Kesimpulan
Sebelum Optimasi	Rp656.031.103,00	Rp1.000.000.000,00	OK
Setelah Optimasi	Rp643.068.014,00	Rp1.000.000.000,00	OK
<i>Down Payment 0%</i>			
Skenario 3	Pinjaman Terbesar	Batasan Kredit	Kesimpulan
Sebelum Optimasi	Rp946.400.690,00	Rp1.000.000.000,00	OK
Setelah Optimasi	Rp729.926.171,00	Rp1.000.000.000,00	OK

Perbandingan di atas menunjukkan dua alternatif terbaik bagi kontraktor dalam pemilihan skenario. Apabila kontraktor ingin mencapai tingkat penurunan beban bunga pinjaman terbesar maka skenario 1 merupakan alternatif terbaik dengan penurunan sebesar 31,78%. Sebaliknya, skenario 3 juga merupakan alternatif yang dapat dipilih kontraktor dikarenakan tingkat penurunan pinjaman dana terbesar kontraktor sebesar 22,87%. Namun, dengan memilih skenario 3 maka kontraktor perlu melakukan negosiasi dengan pihak bank untuk menyediakan plafon yang sangat besar. Skenario 1 dapat dipilih dengan melakukan negosiasi terhadap *owner* untuk memberikan *down payment* sebesar 10%.

3.2.5. Grafik Konvergensi Optimasi

Proses optimasi pada penelitian ini menggunakan metode SOS dengan 450 iterasi dengan fungsi objektif untuk meminimalkan beban bunga pinjaman. Pada setiap iterasi menghasilkan nilai beban bunga pinjaman kontraktor. Perkembangan nilai beban bunga pinjaman pada setiap iterasi dapat dilihat pada grafik Gambar 5. Grafik tersebut merupakan grafik konvergensi yang menunjukkan proses penurunan nilai fungsi objektif pada salah satu skenario. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa proses optimasi menunjukkan perubahan hasil beban bunga pinjaman yang cukup besar pada iterasi pertama hingga iterasi ke-51. Selanjutnya, proses optimasi mulai menurun secara perlahan hingga akhirnya konvergen setelah iterasi ke-37 dengan hasil fungsi objektif Rp 10.006.790,00.



Gambar 5. Grafik Konvergensi Optimasi

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil optimasi penjadwalan proyek pembangunan kantor PT.X dengan konsep *finance-based scheduling* dan metode metaheuristik, dapat disimpulkan bahwa:

1. Optimasi penjadwalan proyek pembangunan kantor PT.X dengan konsep *finance-based scheduling* dan metode metaheuristik SOS telah berhasil meminimalkan beban bunga pinjaman yang perlu dibayar kontraktor kepada pihak bank. Tingkat penurunan beban bunga pinjaman terbesar ada pada skenario 1 yaitu sebesar 31,78%.
2. Pada setiap skenario setelah dilakukan proses optimasi, pinjaman dana terbesar kontraktor juga mengalami penurunan dan tidak melebihi batasan kredit yang diberikan oleh pihak bank. Tingkat penurunan pinjaman dana terbesar ada pada skenario 3 yaitu sebesar 22,87%.
3. Skenario terbaik yang dipilih kontraktor untuk melaksanakan proyek memiliki dua alternatif yaitu skenario 1 dan skenario 3. Skenario 1 memiliki tingkat penurunan beban bunga pinjaman terbesar, sementara skenario 3 memiliki tingkat penurunan pinjaman dana terbesar. Apabila skenario 1 yang dipilih maka kontraktor perlu melakukan negosiasi dengan pihak *owner* agar memberikan *down payment* sebesar 10%, sebaliknya pemilihan skenario 3 menyebabkan kontraktor perlu bernegosiasi dengan pihak bank untuk menyediakan plafon anggaran yang sangat besar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abotaleb, I., Nassar, K., & Hosny, O. (2016). Layout Optimization of Construction Site Facilities with Dynamic Freeform Geometric Representations. *Automation in Construction*, 66, 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.007>

- Adrian, A. M., Utamima, A., & Wang, K.-J. (2015). A comparative study of GA, PSO and ACO for solving construction site layout optimization. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *19*(3), 520–527. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-1467-6>
- 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. <https://doi.org/10.1080/03052150902943004>
- Benjaoran, V., Tabyang, W., & Sooksil, N. (2015). Precedence relationship options for the resource levelling problem using a genetic algorithm. *Construction Management and Economics*, *33*(9), 711–723. <https://doi.org/10.1080/01446193.2015.1100317>
- Cheng, M.-Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures*, *139*, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2014.03.007>
- 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. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:1\(15\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(15))
- 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. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:4\(400\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:4(400))
- Elazouni, A. M., & Metwally, F. G. (2007). Expanding Finance-Based Scheduling to Devise Overall-Optimized Project Schedules. *Journal of Construction Engineering and Management*, *133*(1), 86–90. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:1\(86\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:1(86))
- El-Sayegh, S. (2018). Resource levelling optimization model considering float loss impact. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *25*(5), 639–653. <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2016-0229>
- Ezugwu, A. E., & Prayogo, D. (2019). Symbiotic organisms search algorithm: Theory, recent advances and applications. *Expert Systems with Applications*, *119*, 184–209. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.10.045>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12205-010-0849-2>
- Geem, Z. W. (2010). Multiobjective Optimization of Time-Cost Trade-Off Using Harmony Search. *Journal of Construction Engineering and Management*, *136*(6), 711–716. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000167](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000167)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.04.030>
- Reynaldo, A. M. J., & Prayogo, D. (2022). Penerapan Multi-Objective Particle Swarm Optimization untuk Optimasi Finance-Based Scheduling pada Proyek SOHO X di Surabaya. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, *9*(1), 18–29. <https://doi.org/10.9744/duts.9.1.18-29>
- Reynaldo, A. M. J., & Prayogo, D. (2024). Penggunaan Algoritma Metaheuristik untuk Optimasi Finance-Based Scheduling. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, *8*(2), 29. <https://doi.org/10.53712/rjrs.v8i2.2229>
- Toğan, V., & Eirgash, M. A. (2019). Time-Cost Trade-off Optimization of Construction Projects using Teaching Learning Based Optimization. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *23*(1), 10–20. <https://doi.org/10.1007/s12205-018-1670-6>
- Xu, M., Mei, Z., Luo, S., & Tan, Y. (2020). Optimization algorithms for construction site layout planning: A systematic literature review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *27*(8), 1913–1938. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2019-0457>