

## STRATEGI MANAJEMEN YANG DIOPTIMALKAN UNTUK PROJEK KONSTRUKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *TRADE-OFF* JADWAL DAN BIAYA PADA AKHIR PROYEK

Liem Stefani Meilia Gunawan<sup>1</sup> and Min-Yuan Cheng<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departement of Civil Engineering, Petra Christian University, Indonesia

<sup>2</sup> Departement of Civil and Construction Engineering,  
National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan

<sup>1</sup>stefanimeilia1994@gmail.com, <sup>2</sup>myc@mail.ntust.edu.tw

**ABSTRAK:** Minimalisasi waktu dan biaya proyek merupakan masalah penting dalam industri konstruksi. Akan tetapi, masalah ini sangatlah sulit untuk dipecahkan karena banyak faktor yang tak menentu. Dalam penelitian ini, *symbiotic organisms search - neural network - long short-term memory* digunakan sebagai model untuk memprediksi *estimate schedule to completion (ESTC)* dan *estimate cost to completion (ECTC)* berdasarkan kinerja pada waktu sekarang. Kemudian, model prediksi diintegrasikan dengan *multiple objective symbiotic organisms search (MOSOS)* untuk mendapatkan nilai prediksi yang optimal. Integrasi diperlukan karena tidak ada persamaan langsung untuk menghitung ESTC dan ECTC. Kurva Pareto diidentifikasi berdasarkan nilai prediksi MOSOS. Kurva Pareto digunakan untuk menentukan *trade-off* yang optimal antara waktu dan biaya. Kemudian, *indifference curve* digunakan untuk menyelesaikan masalah *trade-off* antara *estimate schedule at completion* dan *estimate cost at completion* yang memberikan preferensi bagi pembuat keputusan.

Kata kunci: waktu proyek, biaya proyek, *symbiotic organisms search - neural network - long short-term memory*, *multiple objective symbiotic organisms search*, kurva Pareto, *Indifference curve*, *estimate schedule to completion*, *estimate cost to completion*, *estimate schedule at completion*, *estimate cost at completion*

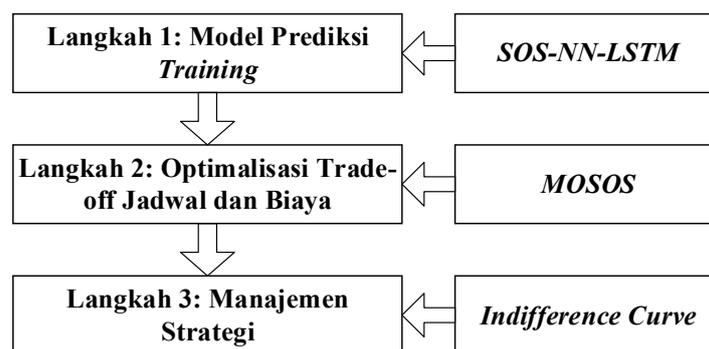
**ABSTRACT:** *Minimization of project time and cost is an important issue. In this research, the symbiotic organisms search - neural network - long short-term memory is employed to establish the estimate schedule to completion (ESTC) and estimate cost to completion (ECTC) prediction model based on present performance. Then, the prediction model will be integrated with the multiple objective symbiotic organisms search (MOSOS) to obtain an optimal prediction value. The integration is needed because there is no direct equation to calculate the ESTC and ECTC. The Pareto curve identified based on the prediction values of MOSOS. The Pareto curve is used to determine the optimal trade-off between project duration and project cost. Then, the indifference curve is used to solve the trade-off problem between estimate schedule at completion (ESAC) and estimate cost at completion (ECAC), which give the decision-maker preference.*

Keywords: *project time, project cost, symbiotic organisms search - neural network - long short-term memory, multiple objective symbiotic organisms search, Pareto curve, Indifference curve, estimate schedule to completion, estimate cost to completion, estimate schedule at completion, estimate cost at completion*

## 1 PENDAHULUAN

Pada proyek konstruksi minimalisasi waktu dan biaya merupakan masalah penting, kriteria mendasar, dan faktor kritis untuk menentukan keberhasilan proyek (Kim, An et al. 2004, Bayraktar, Hastak et al. 2011, Memon, Rahman et al. 2012, Cheng and Tran 2014, Zhang and Fan 2014). Masalah waktu dan biaya sangatlah sulit untuk diselesaikan, hal ini dikarenakan tidak memiliki solusi yang unik (Li and Love 1997); selain itu juga dipengaruhi oleh banyak faktor dan ketidakpastian yang bersifat dinamis (Akinci and Fischer 1998, Yang and Wei 2010, Bayraktar, Hastak et al. 2011, Marzouk and El-Rasas 2014, Cheng, Hoang et al. 2015, Korir 2017). Industri konstruksi selalu dianggap sebagai industri dengan kinerja buruk, hal ini dikarenakan selalu gagal dalam mencapai ketepatan waktu dan biaya (Memon, Rahman et al. 2012). Hal ini dapat menyebabkan keterlambatan dan pembengkakan biaya pada proyek (Kaming, Olomolaiye et al. 1997).

Penelitian ini meliputi tiga fase. Pada fase pertama, model *symbiotic organisms search - neural network - long short-term memory* (SOS-NN-LSTM) digunakan sebagai model prediksi *estimate schedule to completion* (ESTC) dan *estimate cost to completion* (ECTC). Kemudian pada fase kedua, model prediksi ini diintegrasikan dengan *multiple objective symbiotic organisms search* (MOSOS) untuk mendapatkan nilai prediksi yang optimal. Integrasi diperlukan karena tidak ada persamaan langsung untuk menghitung ESTC dan ECTC. Fase terakhir memberikan hasil optimal dari *trade-off* jadwal dan waktu yang dapat digunakan oleh pembuat keputusan. Konsep *indifference curve* diadopsi untuk menafsirkan hasil dari kurva Pareto. Kurva Pareto digunakan berdasarkan hasil prediksi dari MOSOS. Kurva Pareto digunakan untuk menentukan *trade-off* yang optimal antara waktu dan biaya. *Indifference curve* digunakan untuk menyelesaikan masalah *trade-off* antara *estimate schedule at completion* (ESAC) dan *estimate cost at completion* (ECAC). Hasil yang optimal antara *trade-off* biaya-waktu digunakan sebagai strategi manajemen berdasarkan hasil prediksi ESTC dan ECTC. Secara umum, ketiga fase terhubung secara berurutan satu sama lain seperti yang diilustrasikan dalam **Error! Reference source not found.**



Gambar 1. Diagram Langkah Kerja

## 2 MODEL

### 2.1 Langkah 1: Model Prediksi Training Menggunakan Symbiotic Organisms Search - Neural Network - Long Short-Term Memory (SOS-NN-LSTM)

Model SOS-NN-LSTM dikembangkan oleh Ghorman (2018). Model ini menggunakan kemampuan dari algoritma pencarian SOS untuk menemukan parameter yang terbaik dari model NN-LSTM. SOS-NN-LSTM digunakan untuk menghasilkan model prediksi ESTC dan ECTC yang akurat. Model prediksi ini juga akan memainkan peran penting dalam fase berikutnya, yaitu optimalisasi *trade-off* waktu dan biaya. ESTC dan ECTC berbagi hubungan *trade-off* yang akan dioptimalkan menggunakan MOSOS. Namun, dalam kebanyakan kasus optimisasi, fungsi objektif tertentu digunakan sebagai titik referensi untuk diminimalkan atau dimaksimalkan. Dalam kasus ESTC dan ECTC, fungsi-fungsi itu tidak pernah ada. Oleh karena itu, model prediksi dari SOS-NN-LSTM diintegrasikan ke dalam proses optimasi sebagai fungsi alternatif untuk mendapatkan nilai-nilai yang diperlukan untuk optimasi *trade-off* waktu dan biaya.

### 2.2 Langkah 2: Optimalisasi Trade-off Jadwal dan Biaya

Fase ini mengoptimalkan *trade-off* antara jadwal (ESTC) dan biaya (ECTC). *Multi-Objective Symbiotic Organisms Search (MOSOS)* digunakan sebagai pengoptimal *trade-off*. MOSOS dikembangkan berdasarkan pada algoritma SOS (Cheng and Tran 2014). MOSOS adalah suatu algoritma meta-heuristik yang berbasiskan pada jumlah populasi yang meniru interaksi biologis antara suatu organisme dalam suatu ekosistem. Algoritma yang direncanakan digunakan untuk memperoleh konvergensi cepat tanpa kehilangan keragaman solusi pada kurva Pareto. MOSOS juga memiliki kemampuan untuk memberikan solusi yang efisien untuk masalah yang kompleks dan untuk menemukan solusi yang tidak didominasi dari multi-objektif yang diberikan (Tran, Cheng et al. 2016).

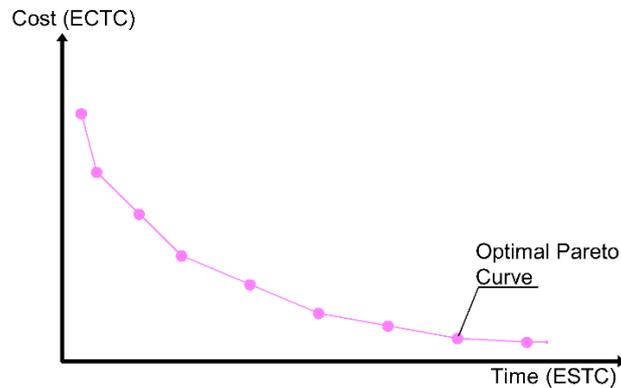
Selain itu, beberapa pendekatan, seperti SOS-NN-LSTM dan simulasi Monte Carlo juga diadaptasi untuk melakukan proses optimisasi. SOS-NN-LSTM bertindak sebagai model inferensi untuk mendapatkan model prediksi sementara Simulasi Monte Carlo diintegrasikan untuk meningkatkan kemampuan algoritma dalam mensimulasikan kasus baru yang serupa dengan dataset.

Sebelum proses optimasi, beberapa pengaturan parameter awal pada MOSOS telah ditetapkan. Parameter tersebut disediakan pada Tabel 1. Kondisi berhenti dari model adalah jumlah iterasi maksimum (*max\_iter*).

Tabel 1. Pengaturan Parameter Awal pada MOSOS

Parameter	Value
Jumlah ukuran populasi (NP)	1,000
Jumlah iterasi maksimum ( <i>max_iter</i> )	50
Jumlah variabel keputusan (D)	18
Jumlah fungsi objektif (M)	2
Batas atas (LB)	-5
Batas bawah (UB)	5

Proses iterasi akan dilakukan secara berulang-ulang hingga mencapai persyaratan untuk berhenti (iterasi maksimum). ESTC diatur pada sumbu X dan ECTC diatur pada sumbu Y. Contoh kurva Pareto yang dihasilkan oleh MOSOS hingga iterasi maksimum ditampilkan di Gambar 2.



Gambar 2. Solusi Optimal Kurva Pareto

### 2.3 Langkah 3: Manajemen Strategi dengan Menggunakan Indifference Curve

Untuk menyelesaikan masalah optimisasi pada kasus multi-objektif dari proyek konstruksi, fase ini mengembangkan waktu dan biaya *trade-off* yang optimal yang mempertimbangkan antara waktu (ESTC) dan biaya (ECTC). Dalam proyek konstruksi, waktu dan biaya keduanya merupakan tujuan kritis dalam proyek konstruksi. Namun, kedua tujuan ini sering bertentangan. Dengan demikian, pembuat keputusan harus memperoleh keseimbangan optimal antara dua tujuan yang saling bertentangan.

Preferensi memiliki peran penting untuk mendapatkan keseimbangan optimal antara jumlah fungsi objektif (waktu dan biaya). Pembuat keputusan dapat secara teratur untuk melakukan *trade-off* antara waktu (ESTC) dan biaya (ECTC). Studi penelitian ini mengadopsi teori *fuzzy* untuk menentukan fungsi preferensi pengambil keputusan sehubungan dengan waktu (ESTC) dan biaya (ECTC) dan kemudian menggabungkannya dengan *Indifference curve* untuk menghasilkan *planning weights*.

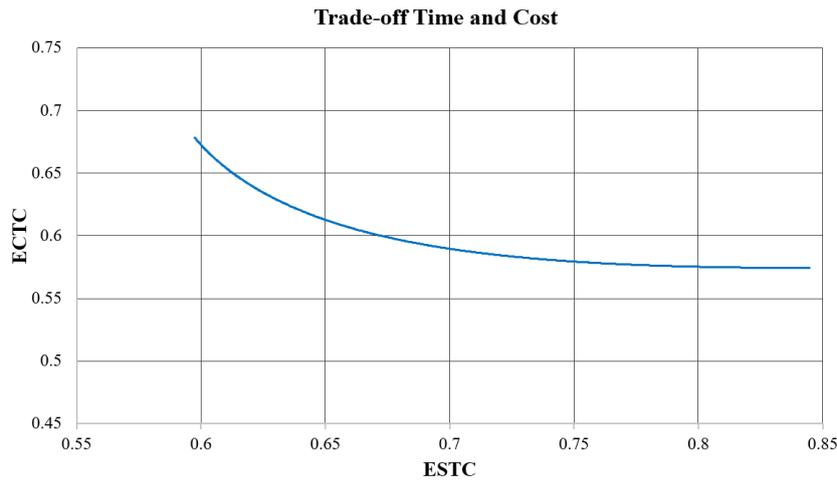
*Indifference curve* didefinisikan sebagai garis (atau kurva) yang menampilkan semua kombinasi yang mungkin dari waktu dan biaya yang optimal dan memiliki tingkat kepuasan yang sama bagi konsumen (Cheng and Chen 2011). *Indifference curve* digunakan untuk memecahkan masalah yang berhubungan dengan preferensi bagi pembuat keputusan. Preferensi memiliki peran penting untuk mencapai keseimbangan optimal antara waktu dan biaya. Dalam proyek konstruksi, preferensi mewakili keinginan untuk menentukan waktu dan biaya yang optimal oleh pembuat keputusan.

Studi penelitian ini juga menggunakan kurva Pareto untuk memperoleh waktu yang paling optimal (ESTC) dan biaya (ECTC) untuk dijadikan dasar bagi pembuat keputusan untuk menerapkan model ini. Solusi yang dihasilkan dari titik singgung *Indifference curve* dan kurva Pareto akan digunakan sebagai waktu dan hasil optimal biaya.

### 3 STRATEGI MANAJEMEN UNTUK WAKTU DAN BIAYA

#### 3.1 Hasil *Trade-off* Waktu dan Biaya dari MOSOS

Pembuat keputusan dapat mengevaluasi waktu dan biaya yang optimal untuk strategi manajemen. Model prediksi dari SOS-NN-LSTM diintegrasikan ke dalam optimalisasi *trade-off* waktu-biaya. MOSOS menghasilkan solusi yang tidak didominasi untuk masalah waktu dan biaya dengan mempertimbangkan optimalisasi durasi proyek dan biaya proyek. Solusi kurva Pareto yang optimal yang dihasilkan oleh MOSOS setelah *max\_iter* = 50 untuk periode ke-7 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Solusi Kurva Pareto yang Optimal yang Dihasilkan oleh MOSOS untuk Periode yang ke-7

#### 3.2 Studi Kasus

Proyek konstruksi untuk studi kasus dari sebuah perusahaan konstruksi di Taiwan. Informasi proyek konstruksi yang digunakan sebagai studi kasus ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Proyek untuk Studi Kasus

Projek	Total luasan (m <sup>2</sup> )	Jumlah lantai	Tanggal mulai	Tanggal selesai	Waktu (hari)	Jumlah kontrak (NTD)	Periode prediksi
B	7,707	16	2001-11-24	2003-10-20	695	153,500,000	21

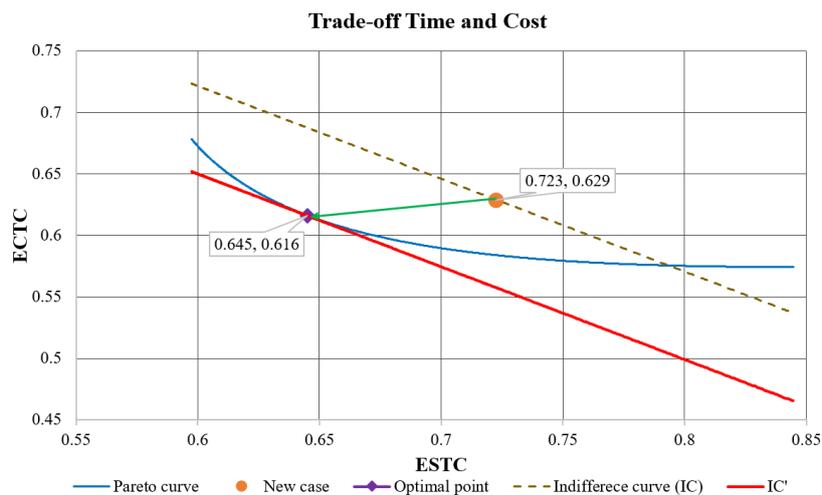
Studi kasus untuk ESTC and ECTC yang dikumpulkan selama 21 periode untuk projek B ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Studi Kasus untuk ESTC Dan ECTC

Perio	ESTC			ECTC		
	Actual Duration (AD)	Actu	Predicte	Actual Cost (A C)	Actual ECTC	Predicted ECTC
1	0.052	1.050	1.008	0.030	0.753	0.761
2	0.096	1.006	0.965	0.055	0.756	0.747
3	0.138	0.964	0.930	0.093	0.734	0.737
4	0.181	0.921	0.885	0.111	0.725	0.728
5	0.226	0.876	0.838	0.136	0.737	0.727
6	0.314	0.788	0.767	0.212	0.658	0.653
7	<b>0.357</b>	<b>0.745</b>	<b>0.723</b>	<b>0.235</b>	<b>0.620</b>	<b>0.629</b>
8	0.489	0.613	0.615	0.351	0.530	0.538
9	0.534	0.568	0.563	0.399	0.530	0.537
10	0.577	0.525	0.520	0.435	0.465	0.483
11	0.622	0.481	0.467	0.477	0.442	0.450
12	0.663	0.439	0.426	0.508	0.412	0.423
13	0.706	0.396	0.381	0.526	0.384	0.390
14	0.751	0.351	0.340	0.576	0.345	0.356
15	0.794	0.308	0.298	0.624	0.316	0.317
16	0.839	0.263	0.253	0.704	0.284	0.281

Perio	ESTC			ECTC		
	Actual Duration (AD)	Actu	Predicted	Actual Cost (A C)	Actual ECTC	Predicted ECTC
17	0.882	0.220	0.215	0.756	0.244	0.246
18	0.927	0.176	0.165	0.801	0.218	0.221
19	0.971	0.131	0.120	0.840	0.181	0.190
20	1.014	0.088	0.086	0.856	0.151	0.156
21	1.059	0.043	0.043	0.935	0.128	0.141

Dalam studi ini, hasil prediksi kasus baru diambil secara acak pada periode ke-7.  $X_p$  adalah prediksi waktu dan  $Y_p$  adalah prediksi biaya. Dan nilai  $(X_p, Y_p)$  adalah  $(0,723, 0,629)$ . Nilai  $(X_p, Y_p)$  dipindahkan ke titik  $(X_t, Y_t)$ . Dan nilai  $(X_t, Y_t)$  adalah  $(0,645, 0,616)$ . Dengan demikian, *Indifference curve* dan kurva Pareto bersinggungan dengan titik  $(0,678, 0,597)$  yang menggambarkan kombinasi yang *optimal* bagi waktu preferensi (ESTC) dan biaya (ECTC). Titik singgung  $(0,645, 0,616)$  dapat digunakan sebagai perhitungan berikutnya waktu (ESTC) dan strategi manajemen biaya (ECTC). *Trade-off* biaya waktu yang *optimal* pada periode ke-7 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Trade-Off Biaya Waktu yang *Optimal* pada Periode Ke-7

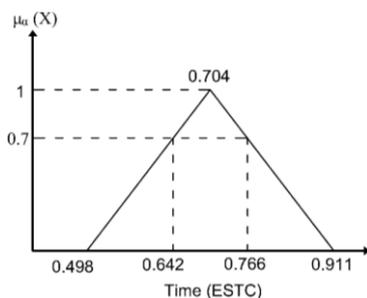
### 3.3 Indifference Curve Waktu dan Biaya

Tujuan utama dalam keberhasilan suatu proyek konstruksi adalah waktu dan biaya. Tujuan dari sub-bagian ini adalah untuk menentukan preferensi untuk waktu (ESTC) dan biaya (ECTC). ESTC dan ECTC pada periode ke-7 dari proyek konstruksi dirangkum dalam Tabel 4.

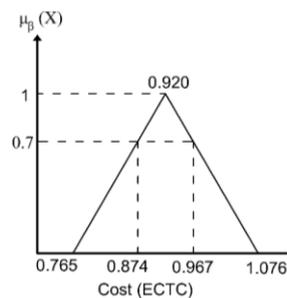
Tabel 4. ESTC dan ECTC di Proyek Konstruksi Periode Ke-7

Proyek	ESTC	ECTC
A	0.718	0.991
B	0.745	0.936
C	0.652	0.850
D	0.618	0.871
E	0.762	0.976
F	0.698	0.953
G	0.705	0.900
H	0.818	0.961
I	0.738	0.847
J	0.590	0.919
<b>Rata-rata (<math>\mu</math>)</b>	<b>0.704</b>	<b>0.920</b>
<b>Std. Dev (<math>\sigma</math>)</b>	<b>0.069</b>	<b>0.052</b>

Preferensi rata-rata untuk waktu (ESTC) adalah 0.704, dengan standar deviasi 0.069. Dan preferensi rata-rata untuk biaya (ECTC) adalah 0.920, dengan standar deviasi 0.052. Kemudian, preferensi untuk waktu (ESTC) atau biaya (ECTC) dihitung dengan nilai rata-rata minus tiga kali standar deviasi atau lebih besar dari nilai rata-rata ditambah tiga kali standar deviasi. Jika nilai preferensi perencanaan pembuat keputusan ( $\gamma$ ) diasumsikan 0.7, preferensi untuk waktu (ESTC) menjadi 0.642 dan 0.766, masing-masing sesuai dengan fungsi preferensi  $\mu_\alpha(x)$  waktu (ESTC) pada Gambar 5.a. Ini menunjukkan preferensi yang sama untuk waktu (ESTC) antara bangunan proyek konstruksi yang berbeda. Demikian juga, biaya konstruksi unit yang dihitung masing-masing adalah 0.874 dan 0.967, sesuai dengan fungsi preferensi  $\mu_\beta(x)$  biaya (ECTC) pada Gambar 5.b, yang menunjukkan preferensi serupa untuk biaya (ECTC) antara bangunan proyek konstruksi yang berbeda. Dengan demikian, titik pada *indifference curve* adalah (0.642, 0.967) dan (0.766, 0.874). Dan kemiringan dari *indifference curve* ( $m$ ) adalah -0.754.



a. Preferensi untuk Waktu (ESTC)



b. Preferensi untuk Biaya (ECTC)

Gambar 5. Preferensi untuk Waktu (ESTC) dan Biaya (ECTC)

### 3.4 Perhitungan untuk ESAC dan ECAC

Tujuan utama bagian ini adalah untuk mengembangkan strategi manajemen untuk ESAC dan ECAC dalam proyek konstruksi. Model prediksi disiapkan sebagai hasil ESTC dan ECTC yang diperoleh dari SOS-NN-LSTM dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. ESAC dan ECAC dihitung menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$ESAC = (AD + ESTC) \times CD \quad (1)$$

$$ECAC = (AC + ECTC) \times CA \quad (2)$$

di mana, AD adalah durasi aktual yang diberikan dalam informasi proyek, ESTC adalah perkiraan jadwal penyelesaian, CD adalah durasi kontrak, AC adalah biaya aktual yang diberikan dalam informasi proyek, ECTC adalah perkiraan biaya penyelesaian, dan CA adalah jumlah kontrak.

Untuk proyek yang dipilih dalam penelitian ini (ditentukan dalam Tabel 2), CD adalah 695 hari dan CA adalah 153.500.000 NTD. Variabel-variabel dari informasi yang dikumpulkan selama 21 periode menggunakan hasil dari model disajikan pada Tabel 3.

Prediksi ini diambil secara acak pada periode ke-7 dari proyek konstruksi. Menggunakan hasil dari SOS-NN-LSTM, perhitungan ESAC dan ECAC pada periode ke-7 setelah denormalisasi, sebagai berikut:

1. ESAC aktual =  $(0.357 + 0.745) \times 695 = 766$  hari,
2. ESAC prediksi =  $(0.357 + 0.723) \times 695 = 751$  hari,
3. ECAC aktual =  $(0.235 + 0.620) \times 153,500,000 = 131,290,112.19$  NTD, and
4. ECAC prediksi =  $(0.235 + 0.629) \times 153,500,000 = 132,605,868.14$  NTD.

Dan ringkasan ESAC dan ECAC pada periode ke-7 setelah denormalisasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ringkasan Hasil ESAC dan ECAC dari Proyek B

Jenis	ESAC	Perbedaan antara ESAC dan kontrak	ECAC	Perbedaan antara ECAC dan kontrak
Kontrak	695		153,500,000	
Aktual	766	71	131,290,112	22,209,888
Prediksi	751	56	132,605,868	20,894,132

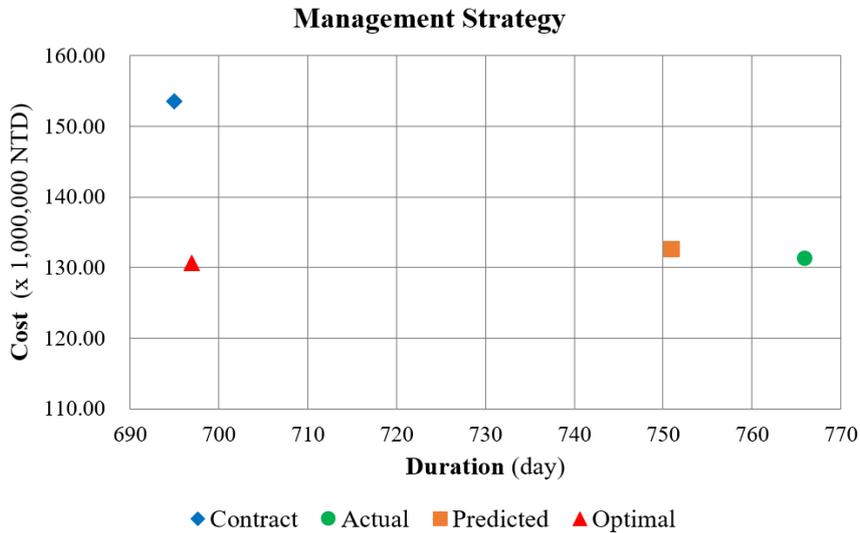
### 3.5. Perkembangan Strategi Manajemen

Durasi proyek diperkirakan akan mengalami keterlambatan dari kontrak selama 56 hari dan biayanya tidak melebihi anggaran. Dengan demikian, tindakan diperlukan untuk menghindari keterlambatan. Namun, ada kemungkinan untuk menekan biaya. Karena *trade-off* biaya waktu digunakan untuk menentukan durasi proyek terpendek (mengurangi durasi) dan menyelesaikan pekerjaan dengan total biaya proyek minimum. Pembuat keputusan masih

dapat mempertimbangkan *trade-off* untuk menekan durasi dan biaya. Perhitungannya ditunjukkan di bawah ini:

1. Waktu optimal setelah *trade-off* biaya waktu =  $(0.357 + 0.645) \times 695 = 697$  hari,
2. Biaya optimal setelah *trade-off* biaya waktu =  $(0.235 + 0.616) \times 153,500,000 = 130,639,808.57$  NTD.

Grafik perbandingan untuk solusi waktu dan biaya ditunjukkan pada Gambar 6.



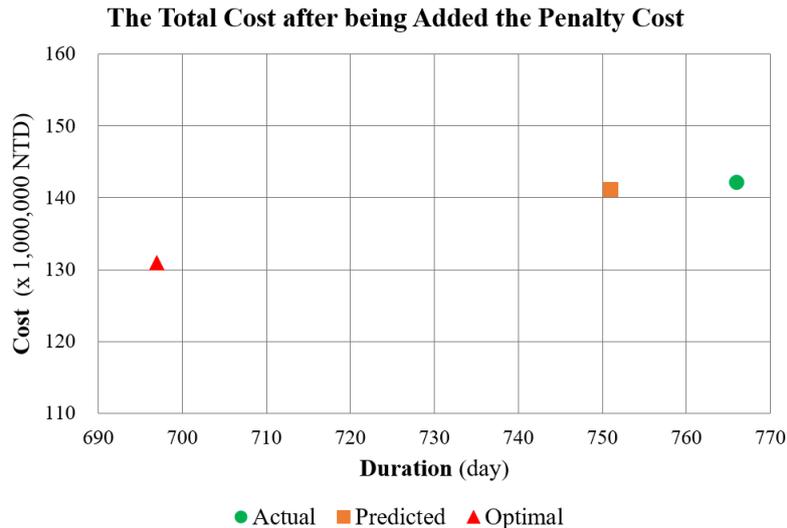
Gambar 6. Perbandingan Strategi Manajemen untuk Waktu dan Biaya

### 3.5 Denda

Pada penelitian ini, denda diasumsikan 0,1% dari jumlah kontrak untuk setiap hari keterlambatan. Ringkasan waktu dan biaya setelah ditambahkan dengan denda ditunjukkan pada Tabel 6. Grafik perbandingan waktu dan pengeluaran biaya total setelah ditambahkan dengan denda disajikan pada Gambar 7.

Tabel 6. Perbandingan Waktu dan Biaya *Trade-Off* dengan Mempertimbangkan Denda

Jenis	Waktu	Biaya Total	Denda	Biaya Total + Denda	Keuntungan
Kontrak	695	153,500,000	-	-	-
Aktual	766	131,290,112	10,898,500	142,188,612	11,311,387
Prediksi	751	132,605,868	8,596,000	141,201,868	12,298,132
Optimalisasi <i>trade-off</i> waktu dan biaya	697	130,639,809	307,000	130,946,809	22,553,191



Gambar 7. Perbandingan Strategi Manajemen untuk Waktu dan Biaya dengan Mempertimbangkan Denda

#### 4 KESIMPULAN

ESTC dan ECTC adalah tujuan penting dalam proyek konstruksi. Meskipun ESTC dan ECTC seringkali bermasalah, bagaimanapun juga, ESTC dan ECTC saling memiliki kegantungan yang signifikan untuk melakukan *trade-off*. Pembuat keputusan harus memperoleh keseimbangan optimal ESTC dan ECTC. Dalam studi ini, untuk menyelesaikan ESTC dan ECTC dalam proyek konstruksi, MOSOS digunakan untuk memberikan solusi efisien untuk masalah yang kompleks dan menemukan solusi bagi ESTC dan ECTC yang tidak didominasi. Kurva Pareto diperoleh dari MOSOS saat ia menghasilkan set yang tidak didominasi.

Kemudian, solusi *trade-off* optimal untuk waktu dan biaya dapat dicapai dengan garis singgung *indifference curve* dan kurva Pareto. Titik singgung mewakili strategi manajemen untuk preferensi pengambil keputusan di bidang konstruksi. Model ini diterapkan dalam studi kasus nyata yang diambil secara acak pada periode ke-7, di mana durasi proyek adalah 695 hari dan jumlah kontrak adalah 153.500.000 NTD.

*Trade-off* waktu dan biaya adalah alat yang tepat bagi pengambil keputusan sebagai strategi manajemen untuk mengompres waktu dan biaya secara bersamaan. Dengan melakukan *trade-off* waktu dan biaya, pembuat keputusan memiliki opsi untuk mengharapkan jadwal proyek yang optimal adalah 697 hari dengan mengurangi durasi yang diprediksi 54 hari, biaya proyek yang optimal adalah 130.639.808,57 NTD dengan mengurangi biaya prediksi 1.966.059.57 NTD, biaya penalti adalah 307.000 NTD, dan masih menghasilkan keuntungan 22.553.191,43 NTD, setelah dikurangi dengan denda.

#### 5 DAFTAR REFERENSI

- Akinci, B. And M. Fischer (1998). "Factors Affecting Contractors' Risk of Cost Overburden." *Journal of Management in Engineering* 14(1): 67-76.
- Bayraktar, M. E., M. Hastak, S. Gokhale And B. Safi (2011). "Decision Tool for Selecting the Optimal Techniques for Cost and Schedule Reduction in Capital Projects." *Journal of Construction Engineering and Management* 137(9): 645-655.

- Cheng, M.-Y. And C.-S. Chen (2011). "Optimal Planning Model for School Buildings Considering The Tradeoff of Seismic Resistance and Cost Effectiveness: A Taiwan Case Study." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 43(6): 863-879.
- Cheng, M.-Y., N.-D. Hoang And Y.-W. Wu (2015). "Cash Flow Prediction for Construction Project Using A Novel Adaptive Time-Dependent Least Squares Support Vector Machine Inference Model." *Journal of Civil Engineering and Management* 21(6): 679-688.
- Cheng, M.-Y. And D.-H. Tran (2014). "Two-Phase Differential Evolution for The Multiobjective Optimization of Time–Cost Tradeoffs on Resource-Constrained Construction Projects." *IEEE Transactions on Engineering Management* 61(3): 450-461.
- Ghoman, J. H. (2018). "SOS Turned NN-LSTM Inference Model for Construction Cash Flow Forecasting Considering Complexity of The Project." Master Thesis, NTUST, Department of Civil and Engineering and Construction Engineering.
- Kaming, P. F., P. O. Olomolaiye, G. D. Holt And F. C. Harris (1997). "Factors Influencing Construction Time and Cost Overruns on High-Rise Projects in Indonesia." *Construction Management & Economics* 15(1): 83-94.
- Kim, G.-H., S.-H. An And K.-I. Kang (2004). "Comparison of Construction Cost Estimating Models Based on Regression Analysis, Neural Networks, and Case-Based Reasoning." *Building and Environment* 39(10): 1235-1242.
- Korir, D. (2017). "Novel Deep Learning Approach for Schedule Estimate to Completion In Construction Project Using NN-LSTM." Master Thesis, NTUST, Department of Civil and Engineering and Construction Engineering.
- Li, H. And P. Love (1997). "Using Improved Genetic Algorithms to Facilitate Time-Cost Optimization." *Journal of Construction Engineering and Management* 123(3): 233-237.
- Marzouk, M. M. And T. I. El-Rasas (2014). "Analyzing Delay Causes in Egyptian Construction Projects." *Journal of Advanced Research* 5(1): 49-55.
- Memon, A. H., I. A. Rahman And A. A. A. Azis (2012). "Time and Cost Performance Construction Projects in Southern and Central Regions of Peninsular Malaysia." *International Journal of Advances in Applied Sciences* 1(1): 45-52.
- Tran, D.-H., M.-Y. Cheng And D. Prayogo (2016). "A Novel Multiple Objective Symbiotic Organisms Search (MOSOS) for Time–Cost–Labor Utilization Tradeoff Problem." *Knowledge-Based Systems* 94: 132-145.
- Yang, J.-B. And P.-R. Wei (2010). "Causes of Delay in the Planning and Design Phases for Construction Projects." *Journal of Architectural Engineering* 16(2): 80-83.
- Zhang, Y. And Z.-P. Fan (2014). "An Optimization Method for Selecting Project Risk Response Strategies." *International Journal of Project Management* 32(3): 412-422.