

# DAMPAK PENGGUNAAN *FLOAT* AKTIVITAS NONKRITIS PADA PROYEK KONSTRUKSI

## *THE IMPACT OF NON CRITICAL ACTIVITY FLOAT IMPLEMENTATION IN CONSTRUCTION PROJECT*

<sup>1</sup>Esab Rachmat Tama, <sup>2</sup>Ida Ayu Angreni

<sup>1,2</sup> Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas Gunadarma

<sup>1</sup>esabrachmattama@gmail.com. <sup>2</sup>idaayu@staff.gunadarma.ac.id

### Abstrak

Permasalahan dalam proyek salah satunya yaitu penentuan waktu yang tidak akurat. Total durasi dan biaya proyek terhadap pengaruh penundaan suatu aktivitas nonkritis sulit diidentifikasi melalui pendekatan deterministik. Penelitian ini menyajikan metode yang memungkinkan perencana penjadwalan untuk mengukur dampak penundaan aktivitas nonkritis dimana tanggal penyelesaiannya lebih terlambat dari tanggal yang sudah direncanakan sebelumnya. Multiple simulation analysis technique digunakan pada penelitian ini untuk menghasilkan biaya dan durasi proyek yang dapat diandalkan pada nilai yang berbeda dari nilai kehilangan float pada aktivitas terkait. Monte carlo simulation yang diimplementasikan pada program aplikasi @Risk digunakan untuk menghasilkan rangkaian biaya dan durasi proyek. Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa menunda suatu aktivitas nonkritis mempengaruhi total durasi proyek dan dapat menyebabkan peningkatan total biaya proyek. Hal ini disebabkan dengan semakin lama penundaan aktivitas nonkritis, semakin meningkat durasi probabilitiknya, semakin tinggi biaya tidak langsungnya, dan menyebabkan semakin tinggi juga total biaya proyek yang diperlukan.

**Kata kunci:** aktivitas nonkritis, float, multiple simulation analysis technique, monte carlo simulation

### Abstract

Inaccurate time arrangement is one of the problem occurred in a project. Total duration and project cost influenced by non-critical activity delay are difficult to be identified by deterministic approach. This study will present a method offering probability for a scheduler to calculate the non-critical activity delay impacts towards planned duration. Multiple simulation analysis technique is used for generating reliable project cost and duration at different value compared to float loss value from related activities. Monte carlo simulation is implemented in @Risk Program to generate project cost and duration series. The result of this study shows that delaying a non-critical activity will increase total project duration and cost. Hence, the longer the delay of non-critical activity will increase its probabilistic duration, indirect cost, and total cost.

**Keywords:** float, multiple simulation analysis technique, monte carlo simulation, non-critical activity

## PENDAHULUAN

Dalam bidang konstruksi, manajemen proyek bertujuan untuk menyelesaikan ruang lingkup pekerjaan sesuai dengan waktu, biaya, serta mutu yang diharapkan. Permasalahan dalam proyek salah satunya yaitu penentuan waktu yang tidak akurat, ketidaktepatan waktu dari salah satu kegiatan tentu saja menyebabkan jadwal kegiatan lain harus berubah, hal ini menunjukkan akurasi penentuan waktu penyelesaian kegiatan merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan manajemen suatu proyek. Total durasi dan biaya proyek terhadap pengaruh penundaan suatu aktivitas nonkritis sulit diidentifikasi melalui pendekatan deterministik, kekurangan tersebut menginspirasi banyak peneliti untuk mengembangkan teknik penjadwalan baru untuk mengatasi ketidakpastian dalam suatu penjadwalan proyek (Sakka & El-Sayegh, 2007). Keterlambatan atau penundaan aktivitas nonkritis tidak akan mengakibatkan proyek menjadi terlambat selama keterlambatan atau penundaan tersebut tidak melebihi *float* aktivitas yang bersangkutan.

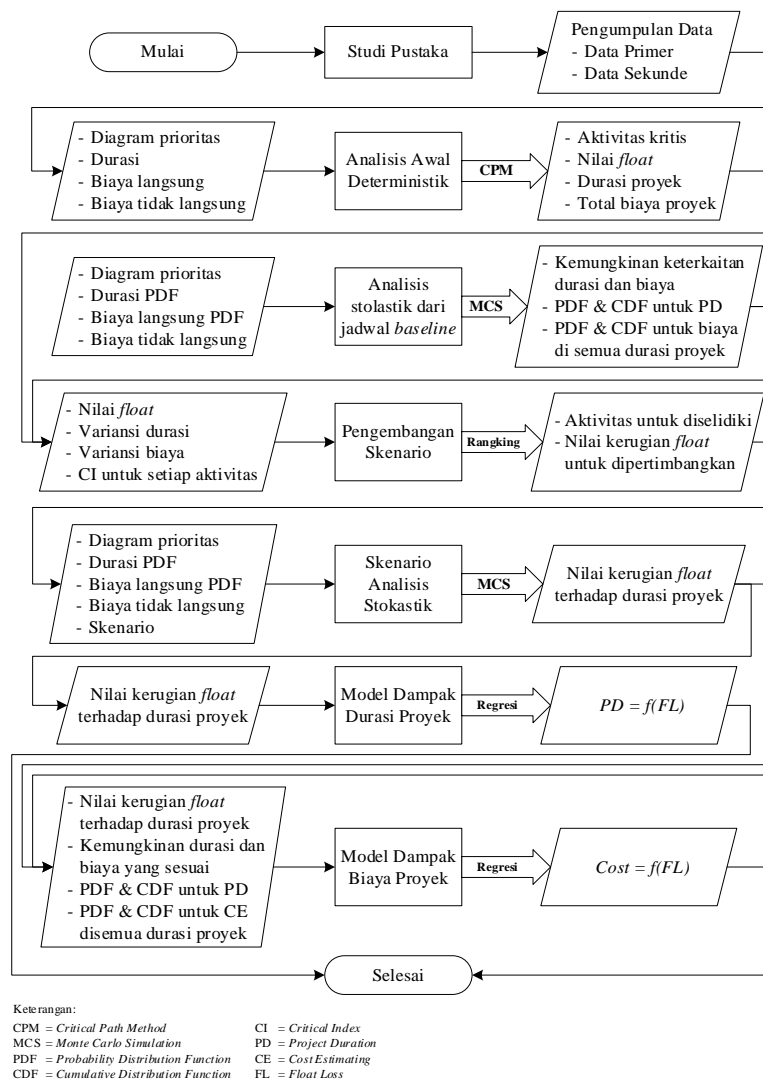
Pengertian ini terkadang digunakan oleh pihak pemilik proyek sebagai dasar argumentasi menolak klaim kompensasi biaya atau perpanjangan waktu yang diajukan oleh kontraktor karena beranggapan bahwa durasi total proyek tidak akan berpengaruh meskipun kesalahan pihak pemilik yang mengakibatkan aktivitas nonkritis menjadi terlambat

(Wibowo, 2010). Parameter baru berupa *float loss cost* diperkenalkan dan dimanfaatkan, dimana menghasilkan dampak kerugian dari penggunaan *float* aktivitas, parameter tersebut bertindak sebagai penalti tambahan bagi kontraktor karena mempersingkat rencana jadwal proyek (El-Sayegh & Rabie, 2016).

Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini menyajikan metode yang memungkinkan perencanaan penjadwalan untuk mengukur dampak penundaan aktivitas nonkritis dimana tanggal penyelesaiannya lebih terlambat dari tanggal yang sudah direncanakan sebelumnya. *Multiple Simulation Analysis Technique* (MSAT) digunakan pada penelitian ini untuk menghasilkan biaya dan durasi proyek yang dapat diandalkan pada nilai yang berbeda dari nilai kehilangan *float* pada aktivitas terkait. *Monte Carlo Simulation* (MCS) yang diimplementasikan pada program aplikasi *@Risk* digunakan untuk menghasilkan rangkaian biaya dan durasi proyek.

## METODOLOGI PENELITIAN

Studi kasus yang diteliti pada penelitian ini adalah proyek renovasi gedung Lintasarta Technopark Data Center Kota Tangerang Selatan. Oleh karena jadwal yang sangat ketat, maka perencanaan ruang untuk Data Center tersebut harus segera dilakukan dalam waktu yang tidak terlalu lama. Tahapan analisis yang perlu dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir seperti Gambar 1.



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Metode analisis yang dikembangkan terdiri dari enam tahapan utama. Tahapan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

1. Analisa awal deterministik

Dalam tahap ini jadwal pelaksanaan yang didapatkan dari proyek akan diolah, dan akan dibuat jaringan kerja yang memiliki ketergantungan antar aktivitas, kemudian dibuatkan jalur kritis dengan *Critical Path Method* (CPM) dan memperhitungkan nilai *float* dari proyek tersebut. Durasi dan biaya proyek yang dihasilkan pada tahap ini dijadikan *baseline* pada proyek tersebut.

2. Analisis stokastik dari jadwal *baseline*

Pada tahap ini dianalisis menggunakan MCS dengan data jadwal rentang estimasi dari metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) yang dilakukan pada program aplikasi *@Risk*, dimana *baseline* biaya dan jadwal proyek tersebut akan disimulasikan beberapa iterasi sehingga menghasilkan beragam perkiraan total biaya dan total durasi proyek yang dihasilkan.

3. Pengembangan skenario

Tahap ini akan memperhitungkan *critical index* dimana nilai tersebut merupakan probabilitas suatu aktivitas untuk berada dijalur kritis. Semakin besar nilai *critical*

*index* maka besar peluang aktivitas tersebut berada di jalur kritis (berpengaruh pada total durasi proyek). Aktivitas yang berada di luar jalur kritis (nonkritis) yang memiliki nilai *critical index* tertinggi adalah aktivitas yang akan diteliti.

#### 4. Analisis stokastik dari skenario

Tahap ini akan fokus pada aktivitas nonkritis yang memiliki nilai *critical index* tertinggi. Jadi aktivitas nonkritis ini akan dianalisis kembali menggunakan MCS, aktivitas tersebut akan dibuatkan skenario penundaan mulai dari nol sampai *float* maksimum yang diizinkan tanpa mengakibatkan aktivitas ini menjadi kritis.

#### 5. Model dampak durasi proyek

Dihasilkannya nilai kerugian *float* terhadap durasi proyek menggunakan skenario yang dilakukan pada Tahap 4, dengan analisis regresi didapatkan persamaan polinomial sederhana yang bisa menjelaskan berapa lama durasi proyek yang dibutuhkan jika menggunakan *float* pada aktivitas nonkritis.

#### 6. Model dampak biaya proyek

Pada tahap ini akan menggunakan metode MSAT, tahap ini diharapkan didapatkan persamaan polinomial sederhana yang bisa menjelaskan berapa besar biaya tambahan yang akan dikeluarkan jika menggunakan *float* pada aktivitas nonkritis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada studi kasus proyek yang diteliti ini, total biaya proyek dihasilkan dari dua jenis biaya utama, yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Biaya langsung terdiri dari biaya semua tenaga kerja, bahan, dan peralatan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan keseluruhan proyek. Biaya tidak langsung terdiri dari biaya *overhead*,

biaya tak terduga, keuntungan/profit, pajak dan lainnya, yang tidak secara langsung berhubungan dengan konstruksi di lapangan. Biaya tidak langsung pada proyek ini sebesar Rp.2.000.000,-/hari.

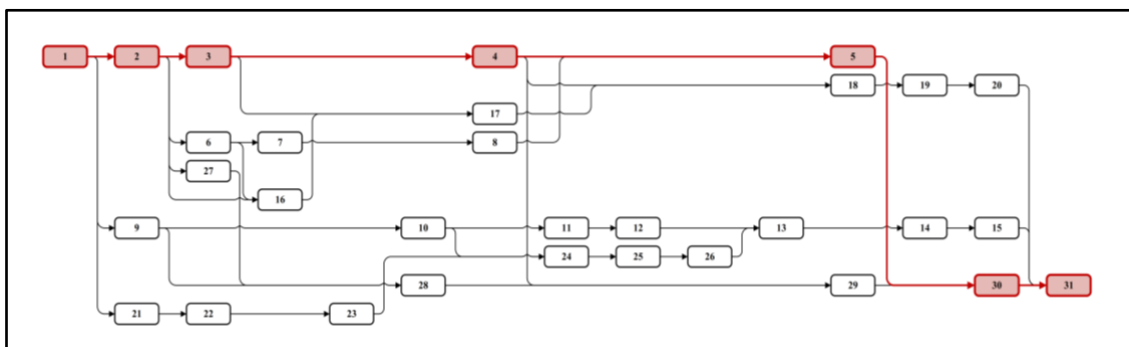
## Analisa Awal Deterministik

Berdasarkan perhitungan CPM diperoleh satu jalur kritis yang terdapat pada aktivitas 1-2-3-4-5-30-31 dengan total durasi 168 hari dan total biaya sebesar Rp.9.346,66×10<sup>6</sup>. Tabel 1 memperlihatkan total *float* yang dihasilkan dari perhitungan CPM tanpa adanya penundaan (*delay*), sedangkan jaringan kerja deterministik pada proyek yang diteliti dapat dilihat pada Gambar 2.

Proyek bangunan gedung rawat inap RSUD Abdul Manap Kota Jambi (Saputra et al., 2021), pembangunan rumah tinggal di Desa Amahusu Kota Ambon (Ilwaru et al., 2018), proyek pembangunan jembatan alun-alun Kota Kuningan (Pangestu et al., 2021), pembuatan jembatan timbang di gudang PPGK milik PT GARAM (Aggraini & Kartini, 2021), proyek pembangunan kantor Kel. Kerten Kec. Laweyan Kota Surakarta (Qomariyah & Hamzah, 2013), proyek pembangunan gedung ruang bersalin dan pembangunan instalasi bedah sentral RSUD Ambarawa (Siregar & Iffiginia, 2019), pembangunan gedung perpustakaan SMKN 1 XX Gresik (Agustiar & Handrianto, 2018), pembangunan mapolsek danau teluk (Dwiretnani & Kurnia, 2018), proyek-proyek tersebut baseline perencanaan proyeknya masih menggunakan perhitungan deterministik. Oleh karena itu, nilai total float berdasarkan hasil perhitungan CPM tanpa adanya penundaan disemua aktivitas akan dijadikan acuan untuk pengembangan skenario penundaan aktivitas nonkritis pada tahap-tahap berikutnya.

**Tabel 1. Total *Float* untuk Semua Aktivitas Menurut CPM**

ID	Aktivitas	Pred.	Durasi (hari)	Biaya (Rp ×10 <sup>6</sup> )	Total <i>Float</i> (hari)
1	Pek. Persiapan, Prasarana & Penunjang	-	14	389,75	0
2	Pek. Struktur	1	42	707,30	0
3	Pek. Lift	2	32	193,91	0
4	Pek. Koridor	3	36	1.273,27	0
5	Pek. Canopy	4;8	30	750,23	0
6	Pek. Walkway Cooling Tower	2	7	13,04	26
7	Pek. Smoking Area	6	28	266,24	26
8	Pek. Penggantian Pintu Besi	7	7	354,46	26
9	Pek. Pagar Keliling	1	60	1.555,30	10
10	Pek. Pagar Depan	9	21	184,72	10
11	Pek. Pintu Pagar	10	7	112,51	10
12	Pek. Pagar Besi	11	14	53,04	10
13	Pek. Perbaikan Groundtank Solar	12;26	21	738,33	10
14	Pek. Perbaikan Koridor MEP	13	14	92,83	10
15	Pek. Perbaikan Jalan Aspal	14	7	130,91	10
16	Pek. Arsitektur	2;6	14	81,28	39
17	Pek. Penutup Tray Kabel	3;16	14	52,94	28
18	Pek. Louvre Koridor	4;17	10	49,17	6
19	Pek. Perapihan Kembali Koridor	18	14	15,13	6
20	Pek. Pengecatan	19	14	211,45	6
21	Perbaikan Atap	1	42	800,22	30
22	Pek. Plafond Area Trafo	21	14	64,92	30
23	Pek. Covering Panel FO	22	7	45,85	30
24	Pek. Green Wall	10;23	10	295,31	12
25	Pek. Taman & Pos Keamanan	24	5	32,83	12
26	Pek. Signage	25	4	34,09	12
27	MEP Area Bangunan Coolling Tower	2	14	138,83	64
28	MEP Area Pagar Keliling	9;27	10	172,27	60
29	MEP Area Bangunan Existing	4;28	10	418,64	20
30	MEP Area Canopy & Gerbang	5;29	14	117,91	0
31	Selesai	15;20;30	0	0,00	0



**Gambar 2. Jaringan Kerja Deterministik**

**Analisa Stokastik Dari Jadwal *Baseline***

*Monte carlo simulation* menggunakan program aplikasi @Risk dengan mempertimbangkan dugaan angka estimasi durasi dan biaya proyek, dijalankan sesuai

jadwal *baseline* tanpa penundaan pada aktivitas manapun. Proses simulasi yang dijalankan terdiri dari 1.000 iterasi.

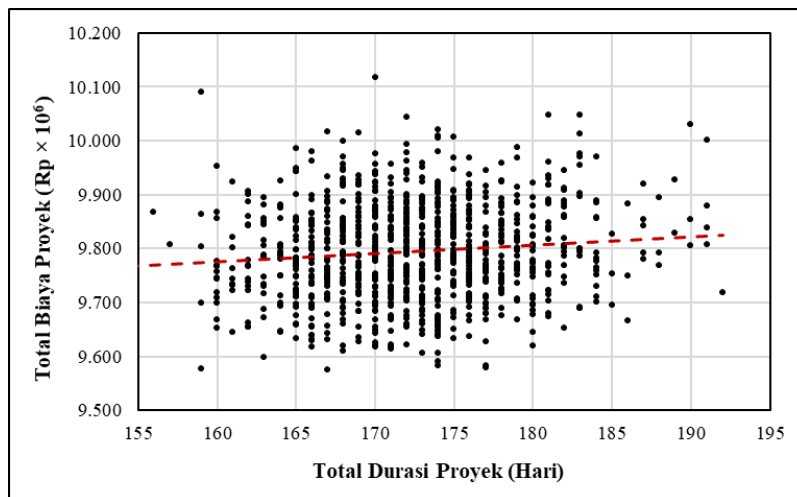
Hasil simulasi untuk proyek *baseline* menunjukkan bahwa total durasi proyek rata-

rata adalah 171,869 hari dengan standar deviasi 6,083 hari dan total biaya proyek rata-rata sebesar Rp.9.794,00×10<sup>6</sup> dengan deviasi standar Rp.88,03×10<sup>6</sup>. Simulasi yang telah dijalankan pada proyek *baseline* menghasilkan serangkaian durasi berbeda dengan total biaya yang terkait. Gambar 3 memperlihatkan hubungan secara langsung durasi yang telah dibulatkan dengan biaya yang sesuai. Tabel 2 menjelaskan bahwa jalur 1-2-3-4-5-30-31 memiliki probabilitas tertinggi untuk berada di jalur kritis. Aktivitas 2 (pekerjaan struktur) memiliki probabilitas 74,30% untuk berada di jalur kritis yang berarti ada kemungkinan 25,70% aktivitas tersebut bisa menjadi tidak kritis. Kemungkinan aktivitas 2 tidak menjadi kritis dikarenakan permasalahan sewaktu pelaksanaan proyek, seperti fabrikasi dan instalasi konstruksi baja. Oleh karena itu, sangat penting mempertimbangkan ketidakpastian yang terjadi dilapangan, seperti kondisi cuaca, keterampilan tenaga kerja, material, dan manajemen. Faktor-faktor tersebut memiliki pengaruh dengan derajat yang beragam terhadap suatu aktivitas.

### Pengembangan Skenario

Untuk mengurangi risiko pada proyek konstruksi, sangat penting untuk mempertimbangkan skenario penundaan suatu aktivitas yang mungkin terjadi diproyek konstruksi.

Analisis stokastik menggunakan MCS menunjukkan bahwa jalur kritis yang mungkin terjadi adalah aktivitas 1-2-3-4-5-30-31, namun aktivitas 9 memiliki nilai *critical index* sebesar 25,80% untuk menjadi aktivitas kritis. Oleh karena itu, keterlambatan pada aktivitas 9 perlu diselidiki dengan cara mengembangkan model untuk mengukur dampak keterlambatan penggunaan *float* terhadap total durasi dan total biaya proyek. Analisis deterministik menggunakan CPM (lihat Tabel 1) menunjukkan bahwa aktivitas 9 merupakan aktivitas nonkritis dengan memiliki nilai total *float* sebesar 10 hari. Skenario yang akan dilakukan adalah penundaan pada aktivitas 9 mulai dari nol sampai dengan *float* maksimum yang diizinkan yaitu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 hari.



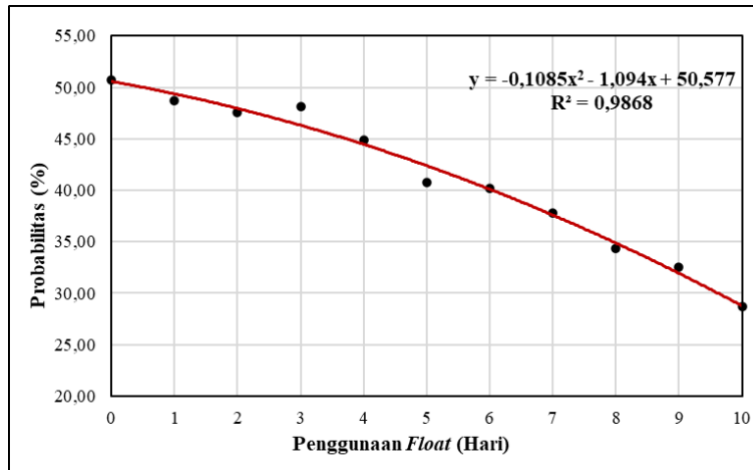
Gambar 3. Hubungan Durasi Proyek dengan Biaya Proyek Hasil MCS

**Tabel 2. Critical Index Berdasarkan Jadwal Baseline Proyek**

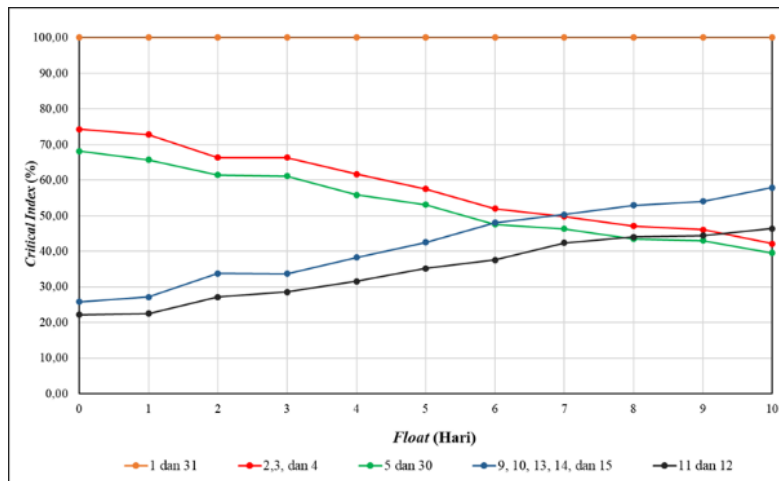
ID	Aktivitas	Critical index (%)
1	Pek. Persiapan, Prasarana & Penunjang	100,00
2	Pek. Struktur	74,30
3	Pek. Lift	74,30
4	Pek. Koridor	74,30
5	Pek. Canopy	68,10
6	Pek. Walkway Cooling Tower	0,00
7	Pek. Smoking Area	0,00
8	Pek. Penggantian Pintu Besi	0,00
9	Pek. Pagar Keliling	25,80
10	Pek. Pagar Depan	25,80
11	Pek. Pintu Pagar	22,20
12	Pek. Pagar Besi	22,20
13	Pek. Perbaikan Groundtank Solar	25,80
14	Pek. Perbaikan Koridor MEP	25,80
15	Pek. Perbaikan Jalan Aspal	25,80
16	Pek. Arsitektur	0,00
17	Pek. Penutup Tray Kabel	0,00
18	Pek. Louvre Koridor	6,30
19	Pek. Perapihan Kembali Koridor	6,30
20	Pek. Pengecatan	6,30
21	Perbaikan Atap	0,00
22	Pek. Plafond Area Trafo	0,00
23	Pek. Covering Panel FO	0,00
24	Pek. Green Wall	3,60
25	Pek. Taman & Pos Keamanan	3,60
26	Pek. Signage	3,60
27	MEP Area Bangunan Coolling Tower	0,00
28	MEP Area Pagar Keliling	0,00
29	MEP Area Bangunan Existing	0,00
30	MEP Area Canopy & Gerbang	68,10
31	Selesai	100,00

**Tabel 3. Dampak Penggunaan *Float* pada Aktivitas 9 terhadap Waktu Penyelesaian Proyek**

Penggunaan <i>Float</i> Aktivitas 9 (hari)	Total Durasi Rata-rata (hari)	Standar Deviasi	Probabilitas Pada Durasi 171,869 Hari (%)
0	171,869	6,083	50,70
1	172,388	6,087	48,70
2	172,394	6,126	47,60
3	172,597	6,257	48,10
4	172,893	6,407	44,90
5	173,469	6,348	40,80
6	173,887	6,460	40,20
7	174,194	6,550	37,80
8	174,897	6,664	34,40
9	175,457	6,753	32,50
10	176,191	7,159	28,70



**Gambar 4. Hubungan Penggunaan *Float* pada Aktivitas 9 terhadap Probabilitas Penyelesaian Proyek 171,869 Hari**



**Gambar 5. *Critical index* untuk Berbagai Penggunaan *Float* pada Aktivitas 9**

### Skenario Analisis Stokastik

Skenario penundaan pada aktivitas 9 akan dipertimbangkan dan dianalisis menggunakan MCS dengan 1.000 iterasi untuk setiap nilai penggunaan *float* yang berbeda. Tabel 3 memperlihatkan dampak penggunaan *float* pada aktivitas 9 terhadap waktu penyelesaian proyek sebagai berikut.

Gambar 4 menjelaskan bahwa jika dibatasi waktu penyelesaian proyek sesuai analisis stokastik yaitu selama 171,869 hari (total durasi proyek rata-rata dari jadwal *baseline*), maka dengan bertambah lamanya penundaan pada aktivitas 9 mengakibatkan menurunnya probabilitas tercapainya waktu

penyelesaian sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya. Jika penundaan pada aktivitas 9 kurang dari 3 hari, penurunan probabilitas waktu penyelesaian proyek masih tidak begitu berpengaruh. Namun, ketika penundaan pada aktivitas 9 melebihi dari 3 hari, penurunan yang cukup signifikan pada probabilitas penyelesaian proyek sesuai rencana perlu diperhatikan. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas 9 memiliki tingkat penggunaan *float* yang aman sebesar 30% (3 hari) dari nilai total *float* nya. *Critical index* untuk semua aktivitas dihitung kembali pada tingkat penggunaan *float* yang berbeda di aktivitas 9. Gambar 5 memperlihatkan perubahan *critical index*



untuk semua aktivitas. Gambar 5 menjelaskan bahwa nilai *critical index* pada Aktivitas 9-10-11-12-13-14-15 meningkat dengan peningkatan penggunaan *float* pada Aktivitas 9 itu sendiri. Disisi lain, nilai *critical index* pada Aktivitas 2-3-4-5-30 menurun dengan meningkatnya penggunaan *float* pada Aktivitas 9. Nilai *critical index* pada Aktivitas 1 dan 31 (*milestone*) menunjukkan nilai yang tinggi secara konstan. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatkan penundaan atau penggunaan *float* pada aktivitas 9 akan meningkatkan kemungkinan jalur kritis baru yang terbentuk yaitu 1-9-10-11-12-13-14-15-31.

### Model Dampak Durasi Proyek

Skenario analisis stokastik yang telah dilakukan pada sub-bab sebelumnya menghasilkan nilai kerugian penggunaan *float* pada aktivitas 9 terhadap total durasi proyek rata-rata.

Dalam penelitian ini hasil analisis yang rumit secara stokastik akan diubah menjadi persamaan polinomial sederhana yang bisa menjelaskan berapa lama waktu penyelesaian proyek yang dibutuhkan jika menggunakan

*float* dengan nilai tertentu pada aktivitas 9. Gambar 6 memperlihatkan bagaimana hubungan antara penggunaan *float* pada aktivitas 9 terhadap total durasi proyek rata-rata. Hasil regresi polinomial orde 2 menghasilkan

**Persamaan 1.**

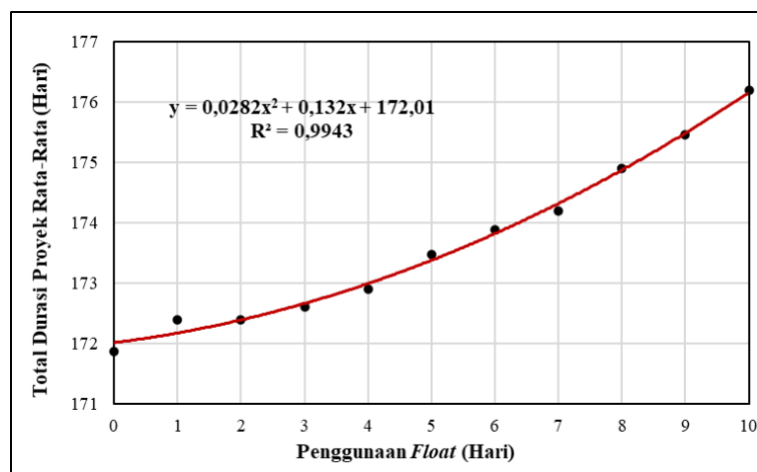
$$PD_{mean\ value} = 0,0282(F_{L_9})^2 + 0,132(F_{L_9}) + 172,01 \quad (1)$$

Dimana:

$PD_{mean\ value}$  = total durasi proyek rata-rata [hari]

$F_{L_9}$  = penggunaan *float* pada aktivitas 9 [hari]

Koefisien determinasi  $R^2$  sebesar 0,9943 didapatkan dari hubungan regresi menunjukkan bahwa penggunaan *float* pada aktivitas 9 membantu menjelaskan hampir 100% variabilitas dalam total durasi proyek rata-rata. Persamaan 1 menghubungkan total durasi proyek rata-rata dengan penggunaan *float* pada aktivitas 9. Persamaan serupa dapat diturunkan tingkat kepercayaan lain yang dipilih dari durasi proyek.



**Gambar 6. Critical index untuk Berbagai Penggunaan Float pada Aktivitas 9**

**Tabel 4. Dampak Penggunaan *Float* pada Aktivitas 9 terhadap Waktu Penyelesaian Proyek yang Disesuaikan**

Penggunaan <i>Float</i> Aktivitas 9 (hari)	Total Durasi Rata-rata (hari)	<i>Rounded up</i> Total Durasi Rata-rata (hari)
0	171,869	172
1	172,388	173
2	172,394	173
3	172,597	173
4	172,893	173
5	173,469	174
6	173,887	174
7	174,194	175
8	174,897	175
9	175,457	176
10	176,191	177

### Model Dampak Biaya Proyek

Analisis stokastik telah menghasilkan total durasi proyek rata-rata pada aktivitas 9 dengan tingkat penggunaan *float* yang berbeda, hasil yang didapatkan akan dibulatkan nilainya untuk mempermudah proses analisisnya.

Tabel 4 menjelaskan bahwa total durasi proyek rata-rata yang dibulatkan 172 hari pada penggunaan *float* 0 hari, 173 hari pada penggunaan *float* 1, 2, 3, dan 4 hari, 174 hari pada penggunaan *float* 5 dan 6 hari, 175 hari pada penggunaan *float* 7 dan 8 hari, 176 hari pada penggunaan *float* 9 hari, dan 177 hari pada penggunaan *float* 10 hari.

MSAT akan diterapkan pada penelitian ini untuk memperkirakan nilai biaya baru yang terkait secara langsung dengan kerugian akibat penggunaan *float* pada aktivitas 9. Teknik ini digunakan untuk menghubungkan hasil analisis range estimating dan probabilistic scheduling sehingga nilai tingkat kepercayaan yang tinggi dapat dipilih biaya dan durasi proyek. Dalam penelitian ini, penerapan teknik MSAT akan diperluas untuk mengukur dampak keterlambatan akibat penggunaan *float* pada aktivitas nonktiris.

Proyek yang telah disimulasikan pada analisis stokastik menggunakan *monte carlo simulation* pada Gambar 3, disimulasikan kembali hingga 25 kali dengan menggunakan

330 iterasi per simulasinya, dan untuk masing-masing simulasi, total durasi proyek yang dipilih dan perkiraan biaya yang terkait secara langsung dikumpulkan dan dicatat.

Teknik MSAT yang diperluas dan dikembangkan terdiri dari enam tahapan utama, tahapan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

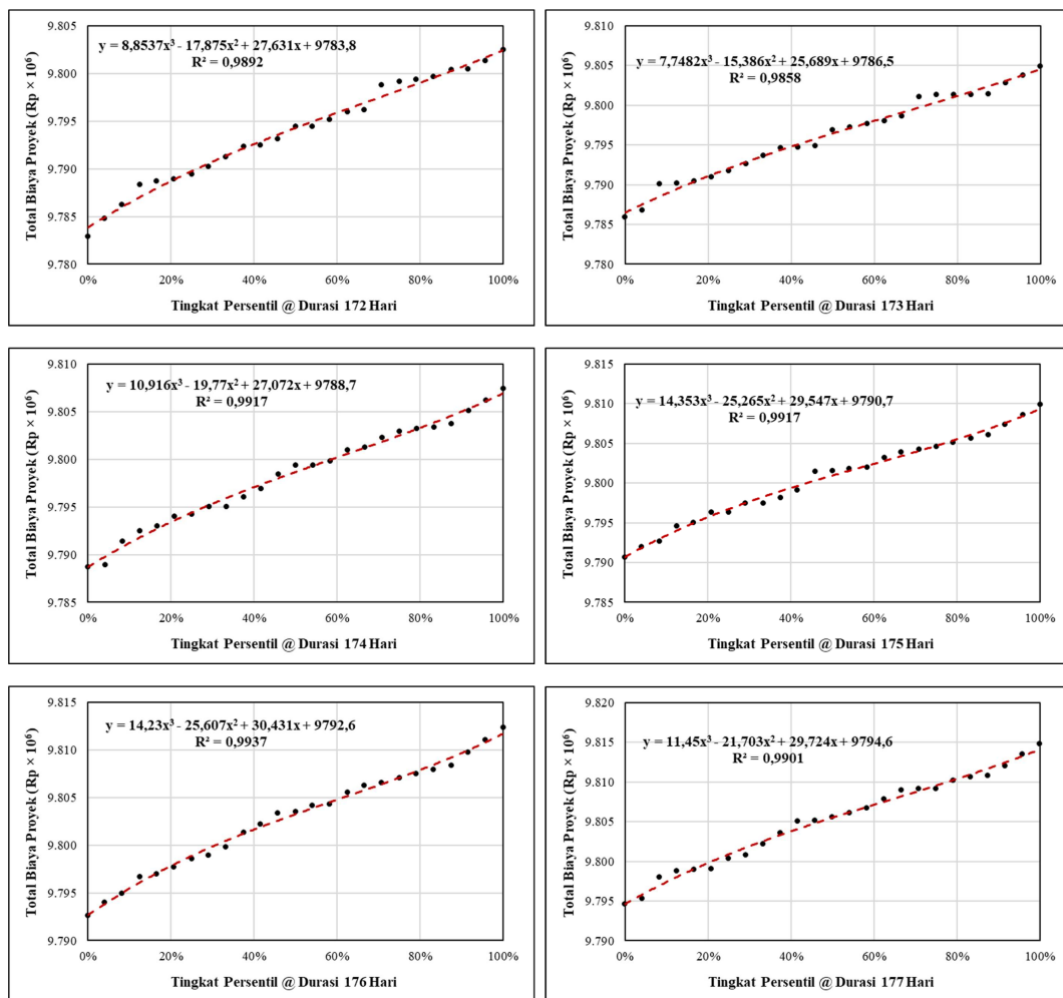
1. Memilih dan mengumpulkan data perkiraan biaya hasil dari semua simulasi yang telah dilakukan sesuai dengan perkiraan waktu penyelesaian proyek akibat berbagai penggunaan *float* pada aktivitas 9 (172, 173, 174, 175, 176, dan 177 hari).
2. Setiap simulasi menghasilkan sebuah durasi dengan satu set kemungkinan biaya proyek. Oleh karena itu, perlu memprediksi sementara nilai perkiraan biaya yang terkait secara langsung terhadap total durasi yang dipilih dengan persamaan regresi dari sekumpulan data berdasarkan minimalisasi *least-squares*.
3. Menyortir dataset prediksi perkiraan biaya pada semua simulasi untuk setiap durasi proyek yang dipilih dan menentukan peringkat persentil bersyarat dari setiap nilai biaya (*conditonal cost estimate percentile*). Tabel 5 memperlihatkan daftar sebagian prediksi biaya dan peringkat persentil bersyarat terkait untuk durasi proyek 173 hari.

4. Menyesuaikan nilai prediksi perkiraan biaya dan tingkat persentil terkait disemua durasi proyek. Gambar 7 memperlihatkan

grafik untuk durasi proyek 172, 173, 174, 175, 176, dan 177 hari.

**Tabel 5. Daftar Parsial Peringkat Persentil Perkiraan Biaya yang Diperoleh Dari 25 Simulasi**

Simulasi	Total Durasi (hari)	Prediksi Total Biaya (Rp × 10 <sup>6</sup> )	Peringkat Persentil Bersyarat Total Biaya (%)
1	173	9.790,41	16,60
2	173	9.794,68	41,60
12	173	9.801,07	70,80
13	173	9.790,95	20,80
24	173	9.792,62	29,10
25	173	9.797,68	58,30



**Gambar 7. Biaya pada Durasi 172, 173, 174, 175, 176, dan 177 hari**

Hasil yang sesuai dengan hubungan nilai prediksi perkiraan biaya dan

tingkat persentil terkait dinyatakan dalam sebuah persamaan regresi

polinomial, dimana persamaan ini memberikan total biaya pada tingkat persentil yang diperlukan.

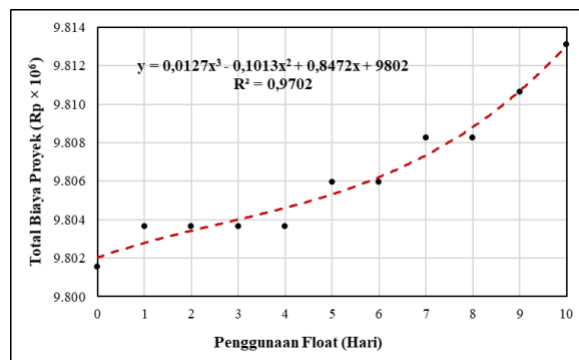
- Menentukan *Percentile Level* (PL) atau tingkat persentil menjadi *Confidence Level* (CL) atau tingkat kepercayaan yang akan digunakan untuk prediksi biaya. Dalam penelitian ini dipilih tingkat kepercayaan 95%, (hanya 5% kemungkinan nilai tersebut akan terlampaui). Tabel 6 memperlihatkan biaya proyek pada tingkat kepercayaan 95% untuk semua nilai penggunaan *float* pada aktivitas 9. Tabel 6 menunjukkan bahwa jika penggunaan

*float* pada aktivitas 9 digunakan seluruhnya (terjadi keterlambatan selama 10 hari) akan berpotensi mengalami pembengkakan biaya sebesar 0,195% dari biaya rencana. Pembengkakan biaya ini mungkin membahayakan sebagian besar margin keuntungan diberbagai proyek konstruksi.

- Menyesuaikan biaya proyek dan nilai penggunaan *float* dalam model linier atau nonlinier. Hasil yang sesuai dengan hubungan nilai tersebut ditampilkan pada Gambar 8 dan Persamaan 2.

**Tabel 6. Daftar parsial peringkat persentil perkiraan biaya yang diperoleh dari 25 simulasi**

Penggunaan <i>Float</i> Aktivitas 9 (hari)	Total Durasi (hari)	Tingkat Kepercayaan	Total Biaya (Rp × 10 <sup>6</sup> )
0	172	0,95	9.801,54
1	173	0,95	9.803,65
2	173	0,95	9.803,65
3	173	0,95	9.803,65
4	173	0,95	9.803,65
5	174	0,95	9.805,95
6	174	0,95	9.805,95
7	175	0,95	9.808,27
8	175	0,95	9.808,27
9	176	0,95	9.810,65
10	177	0,95	9.813,11



**Gambar 8. Hubungan Penggunaan *Float* pada Aktivitas 9 terhadap Total Biaya Proyek**

$$Cost_{(95\%CL)} = 0,0127 (FL_9)^3 + 0,1013 (FL_9)^2 + 0,8472 (FL_9) + 9802 \quad (2)$$

Dimana:

$Cost_{(95\%CL)}$  = biaya proyek pada tingkat kepercayaan 95% [Rp × 10<sup>6</sup>]

$FL_9$  = penggunaan *float* pada aktivitas 9 [hari]

Persamaan 2 digunakan untuk mengetahui total biaya proyek terhadap penggunaan *float* pada aktivitas 9. Koefisien determinasi  $R^2$  sebesar 0,9702 menunjukkan bahwa penggunaan *float* pada aktivitas 9 membantu menjelaskan 97,02% variabilitas dalam total biaya proyek pada tingkat kepercayaan 95%. Gambar 8 memperlihatkan hasil pemodelan dampak biaya proyek terhadap penggunaan *float* pada aktivitas 9 dengan menggunakan MSAT, hal tersebut menyatakan bahwa dengan penundaan atau penggunaan *float* pada aktivitas nonkritis dapat menyebabkan peningkatan total biaya proyek. Hal ini disebabkan dengan semakin lama penundaan aktivitas nonkritis, semakin meningkat durasi probabilitiknya, semakin tinggi biaya tidak langsungnya, dan menyebabkan semakin tinggi juga total biaya proyek yang diperlukan.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan *float* merupakan salah satu risiko yang perlu diperhatikan dalam perencanaan ataupun pelaksanaan suatu proyek. Menunda aktivitas nonkritis akan mempengaruhi total durasi proyek tersebut, hal ini dibuktikan dengan menunda aktivitas nonkritis (pekerjaan pagar keliling) mengakibatkan meningkatnya total durasi proyek rata-rata dari 171,869 hari menjadi 176,191 hari dan juga menurunnya standar deviasi. Ini menyebabkan menurunnya probabilitas penyelesaian proyek tersebut sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan. Penundaan atau penggunaan *float* pada aktivitas nonkritis dapat menyebabkan peningkatan total biaya proyek dari Rp.9.801,54 $\times$ 10<sup>6</sup> menjadi Rp.9.813,11 $\times$ 10<sup>6</sup> atau mengalami pembengkakan biaya sebesar 0,195% dari biaya rencana. Hal ini disebabkan dengan semakin lama penundaan aktivitas nonkritis, semakin meningkat durasi probabilitiknya, semakin tinggi biaya tidak langsungnya, dan menyebabkan semakin tinggi juga total biaya proyek yang diperlukan.

Metode dan informasi yang diberikan pada pemodelan ini diharapkan dapat membantu para pelaku dunia konstruksi untuk dapat menilai dan mengukur dampak dari setiap perubahan atau penundaan pada durasi dan biaya proyek. Hal ini dapat mengurangi konflik perselisihan dan tuntutan hukum antar semua pemangku kepentingan konstruksi. Terutama karena evaluasi subjektif digantikan dengan identifikasi objektif dan kuantifikasi nilai probabilitas yang dihasilkan akibat penggunaan *float* pada aktivitas nonkritis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aggraini, N., & Kartini, I. A. N. (2021). Penerapan Waktu Penyelesaian Proyek Dengan Metode CPM (Critical Path Method)” Studi Kasus: Pembuatan Jembatan Timbang Di Gudang PPGK Milik PT GARAM (PERSERO). *JEM17: Jurnal Ekonomi Manajemen*, 6(1), 13–26. <https://doi.org/10.30996/jem17.v6i1.5273>
- Agustiar, I., & Handrianto, R. (2018). Evaluasi Penjadwalan Proyek Menggunakan Metode CPM dan Kurva S (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Perpustakaan SMK N 1 “XX”, Gresik). *Wahana Teknik*, 07(02), 99–105.
- Al Haj, R. A., & El-Sayegh, S. M. (2015). Time–Cost Optimization Model Considering *Float*-Consumption Impact. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000966](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000966)
- Ballesteros-Pérez, P. (2017). M-PERT: Manual Project-Duration Estimation Technique for Teaching Scheduling Basics. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(9). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001358](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001358)
- Dwiretnani, A., & Kurnia, A. (2018). Optimalisasi Pelaksanaan Proyek Dengan Metode Cpm (Critical Path Methode). *Jurnal Talenta Sipil*, 1(2), 58
- El-Sayegh, S. (2018). Resource levelling optimization model considering *float*

- loss impact. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(5). <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2016-0229>
- El-Sayegh, S. M., & Rabie, M. M. (2016). Modified price plus time bi-parameter bidding model incorporating *float* loss impact. *International Journal of Construction Management*, 16(4). <https://doi.org/10.1080/15623599.2016.1176728>
- Fadjar, A. (2008). Aplikasi Simulasi Monte Carlo dalam Estimasi Biaya Proyek. *SMARTek*, 6(4).
- Hanna, M., & Ruwanpura, J. Y. (2007). Simulation tool for manpower forecast loading and resource leveling. *Proceedings–Winter Simulation Conference*. <https://doi.org/10.1109/WSC.2007.4419842>
- Ilwaru, V. Y. I., Rahakbauw, D. L., & Tetimelay, J. (2018). Penjadwalan Waktu Proyek Pembangunan Rumah dengan Menggunakan CPM (Critical Path Method). *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 12(2), 061–068. <https://doi.org/10.30598/vol12iss2pp061-068ar617>
- Isidore, L. J., & Back, W. E. (2002). Multiple Simulation Analysis for Probabilistic Cost and Schedule Integration. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2002\)128:3\(211\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2002)128:3(211))
- Jun-yan, L. (2012). Schedule Uncertainty Control: A Literature Review. *Physics Procedia*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.05.293>
- Pangestu, N. F., Zahra, A. F. A., & Sutrisno, S. (2021). Penerapan Metode Critical Parth Method (CPM) dalam Proyek Pembangunan Jembatan Alun-Alun Kota Kuningan. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 5(2), 100–106. <https://doi.org/10.31289/jime.v5i2.4925>
- Qomariyah, S., & Hamzah, F. (2013). Analisis Network Planning Dengan CPM (Critical Path Method) Dalam Rangka Efisiensi Waktu Dan Biaya Proyek. 1(4), 408–416.
- Sakka, Z. I., & El-Sayegh, S. M. (2007). *Float* Consumption Impact on Cost and Schedule in the Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2007\)133:2\(124\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2007)133:2(124))
- Saputra, N., Handayani, E., & Dwiretnani, A. (2021). Analisa Penjadwalan Proyek dengan Metode Critical Path Method (CPM) Studi Kasus Pembangunan Gedung Rawat Inap RSUD Abdul Manap Kota Jambi. *Jurnal Talenta Sipil*, 4(1), 44. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v4i1.48>
- Siregar, A. C., & Iffiginia, I. (2019). Penggunaan critical path method (CPM) untuk evaluasi waktu dan biaya pelaksanaan proyek. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 15(2), 102. <https://doi.org/10.36055/tjst.v15i2.6816>
- Setiawan, D., & Simatupang, R. (2019). Pengembangan Model Simulasi Integrasi Biaya dan Jadwal Proyek Konstuksi di Bawah Ketidakpastian. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 165–192. <https://doi.org/10.28932/jts.v6i2.1334>
- Wibowo, A. (2008). Discussion of “*Float* Consumption Impact on Cost and Schedule in the Construction Industry” by Zafer I. Sakka and Sameh M. El-Sayegh. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(10). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2008\)134:10\(828\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2008)134:10(828))
- Wibowo, A. (2010). Perbandingan Kinerja Pendekatan Simulasi dan Analitis pada Kasus Perhitungan Dampak Konsumsi *Float* Aktivitas Nonkritis dalam Penjadwalan Proyek. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(2). <https://doi.org/10.5614/jts.2007.14.2.2>