

Analisis Kinerja Waktu dan Biaya Proyek Revitalisasi RCC RU VI Balongan dengan Metode *Probabilistic Earned Value*

Muhammad Rofiq Dewaji, Christiono Utomo, dan Supani
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
email: christiono@ce.its.ac.id

Abstrak—Proyek Revitalisasi RCC RU VI Balongan direncanakan selesai dalam waktu 363 hari dengan biaya sebesar Rp201.635.083.031. Dalam pelaksanaannya, proyek ini memiliki banyak kendala yang memungkinkan pelaksanaan proyek tersebut mengalami keterlambatan dan kerugian. Oleh karena itu, diperlukan analisis kinerja waktu dan biaya, serta memprediksi waktu dan biaya agar dapat menentukan langkah apa yang dilakukan jika terjadi keterlambatan dan pengeluaran yang berlebih dari suatu proyek. Salah satu cara untuk mengetahui kinerja proyek adalah dengan menggunakan pendekatan Probabilistic. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Probabilistic Earned Value. Metode ini bertujuan untuk mengurangi hambatan atau gangguan pada kegiatan proyek, sehingga prediksi kondisi menjadi lebih akurat. Data yang dibutuhkan antara lain rincian anggaran biaya, time schedule, laporan bulanan, dan biaya aktual. Dari data yang didapatkan tersebut kemudian dilakukan analisis waktu, biaya, varians dan indikator kinerja proyek, serta estimasi biaya untuk menyelesaikan proyek tanpa dan dengan pendekatan probabilistic. Prakiraan biaya penyelesaian sisa pekerjaan atau Estimate to Complete (ETC) dan biaya penyelesaian proyek atau Estimate at Complete (EAC) ditinjau dari tiga kondisi yang berbeda yaitu dalam kondisi optimistic, most likely, dan pessimistic. Hasil perhitungan Time Estimated (TE) diperoleh waktu perkiraan akhir adalah 405 hari, dimana proyek mengalami keterlambatan dari jadwal yang direncanakan yaitu 363 hari. Hasil perhitungan Estimate to Complete (ETC) Probabilistic adalah Rp75.555.411.474, serta hasil perhitungan Estimate at Completion (EAC) Probabilistic adalah Rp197.022.299.560 yang menunjukkan bahwa biaya lebih kecil dari nilai kontrak proyek yaitu Rp201.635.083.030. Hasil perbandingan menunjukkan terdapat beberapa nilai ETC dan EAC Probabilistic yang lebih besar dari ETC dan EAC Deterministic. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlunya memperhitungkan unsur ketidakpastian dalam melakukan pengendalian proyek agar perhitungan prediksi biaya penyelesaian proyek lebih akurat, serta meminimalisir terjadinya gangguan keuangan proyek.

Kata Kunci—Earned Value Analysis, Kinerja Biaya, Kinerja Waktu, Probabilistic Earned Value.

I. PENDAHULUAN

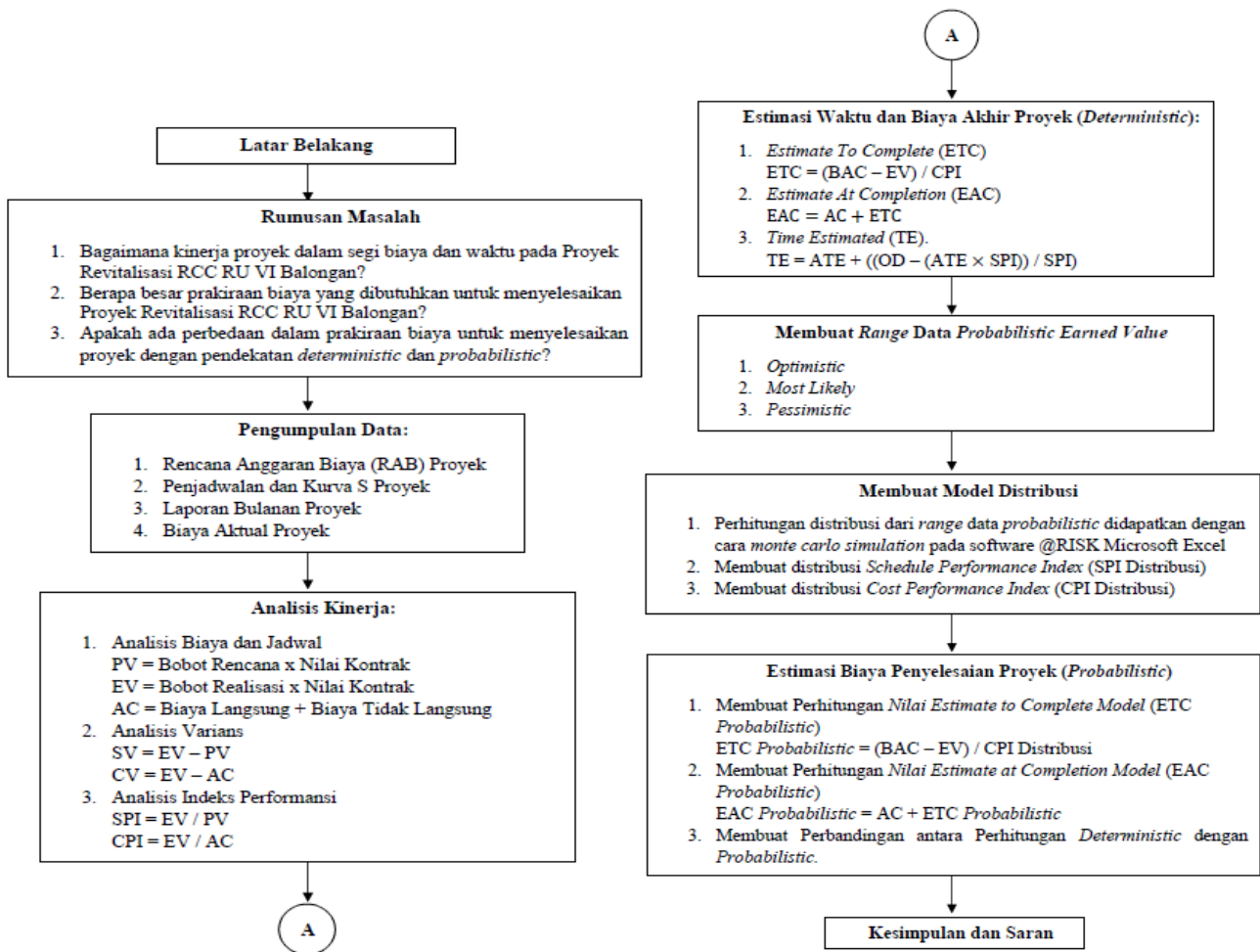
SEIRING berjalannya waktu, perkembangan infrastruktur dan proyek konstruksi di Indonesia semakin meningkat. Perkembangan konstruksi yang semakin kompleks menuntut para pelaku usaha konstruksi untuk meminimalisir adanya kesalahan atau kegagalan dalam menyelesaikan proyek konstruksi. Dalam pelaksanaannya, sebuah proyek dapat mengalami keterlambatan, percepatan, ataupun tepat waktu sesuai jadwal rencana proyek. Biaya pelaksanaan suatu proyek pun bisa mengalami keuntungan ataupun kerugian. Oleh karena itu, diperlukan analisis kinerja waktu dan biaya, serta memprediksi waktu dan biaya agar dapat menentukan

langkah apa yang dilakukan jika terjadi keterlambatan dan pengeluaran yang berlebih dari suatu proyek.

Pengukuran kinerja dan prediksi waktu dan biaya proyek akan dilakukan pada proyek Unit RCC RU (*Residue Catalytic Cracking Refinery*) VI Balongan. Saat ini, PT. Pertamina (Persero) melalui PT. Kilang Pertamina Internasional (KPI) sedang meningkatkan progress revitalisasi atau peremajaan peralatan di unit RCC untuk meningkatkan kapabilitas dan keandalan operasinya. Unit RCC merupakan fasilitas yang penting dalam menunjang optimasi produksi BBM di Kilang Balongan, karena berfungsi untuk meningkatkan nilai produk dengan bantuan katalis. Proyek revitalisasi RCC memiliki tiga kegiatan utama, yaitu turn around, penggantian dan perawatan sejumlah peralatan, seperti *reactor assy*, *orifice chamber*, serta pembangunan *jetty*. Proyek Revitalisasi RCC RU VI Balongan direncanakan akan selesai dengan biaya sebesar Rp201.635.083.031,- dan waktu pengerjaan selama 363 hari. Proyek tersebut dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya (Persero) selaku konsultan sekaligus kontraktor.

Dalam pelaksanaannya, proyek ini mengalami keterlambatan dari jadwal yang telah direncanakan. Kinerja pekerjaan tidak sesuai dengan apa yang diharapkan karena tidak mampu mencapai target yang sudah direncanakan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode pengendalian proyek untuk menganalisis kinerja waktu dan biaya, serta memprediksi waktu dan biaya. Metode *Earned Value* adalah suatu metode pengendalian yang digunakan untuk mengendalikan waktu dan biaya proyek. Metode ini mengukur apakah kinerja biaya proyek sesuai dengan anggaran yang direncanakan, dan apakah kinerja waktu sudah sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan. Selain itu, unsur ketidakpastian atau risiko yang terdapat dalam pekerjaan proyek konstruksi juga harus diperhatikan agar pada saat pengukuran kinerja dan prediksi waktu dan biaya didapatkan hasil analisis yang lebih akurat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Probabilistic Earned Value*. Hal ini dikarenakan metode ini dapat mengakomodasi ketidakpastian dibandingkan dengan metode lainnya. Metode ini memperhatikan unsur probabilitas dengan menyajikan tiga kondisi yaitu *optimistic*, *most likely*, dan *pessimistic*. Analisis kinerja waktu dan biaya menggunakan metode *Probabilistic Earned Value* diperlukan karena proyek ini telah mengalami mengalami keterlambatan dan kinerja pekerjaan tidak sesuai dengan apa yang diharapkan karena tidak mampu mencapai target yang sudah direncanakan.

Dengan demikian, pengukuran kinerja proyek, prakiraan biaya penyelesaian sisa pekerjaan atau *Estimate to Complete (ETC)*, biaya penyelesaian proyek atau *Estimate At*



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian.

Completion (EAC), dan waktu penyelesaian proyek atau *Time Estimate* (TE) dapat teridentifikasi. Hasil dari pengukuran kinerja proyek dengan memperhatikan unsur probabilitas tersebut dapat digunakan sebagai *early warning* apabila terdapat inefisiensi kinerja dalam penyelesaian proyek sehingga dapat dilakukan kebijakan-kebijakan manajemen dan perubahan metode pelaksanaan agar pembengkakan biaya dan keterlambatan penyelesaian proyek dapat dicegah dalam Proyek Revitalisasi RCC RU VI Balongan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengendalian Proyek

Pengendalian merupakan usaha yang sistematis dalam menentukan standar pengendalian proyek. Standar yang dimaksud yaitu sesuai dengan perencanaan, perancangan sistem informasi, perbandingan pelaksanaan dengan analisis kemungkinan adanya penyimpangan, serta pengambilan tindakan koreksi dalam rangka mencapai sasaran agar sumber daya yang digunakan efektif dan efisien [1].

Pada dasarnya upaya pengendalian merupakan proses pengukuran, evaluasi, dan memperbaiki kinerja proyek. Pengendalian kinerja dalam pelaksanaan proyek konstruksi secara umum terdiri dari 3 langkah pokok, yaitu:

1. Menetapkan standar kinerja, seperti biaya anggaran dan jadwal proyek.
2. Mengukur kinerja terhadap standar. Hal ini dilakukan dengan membandingkan antara performansi aktual dengan standar performansi. Hasil pekerjaan dan

pengeluaran yang telah diaplikasikan dibandingkan dengan jadwal dan biaya yang telah direncanakan.

3. Melakukan tindakan koreksi apabila terjadi penyimpangan terhadap ketetapan standar agar pekerjaan sesuai dengan yang telah direncanakan

Pengendalian proyek ada 3 macam, yaitu: pengendalian biaya proyek, pengendalian waktu/jadwal proyek, dan pengendalian kinerja proyek.

1) Pengendalian Biaya Proyek

Prakiraan anggaran biaya yang telah direncanakan dapat digunakan sebagai pedoman dalam mengendalikan biaya proyek. Pengendalian biaya proyek diperlukan agar proyek dapat terlaksana sesuai dengan biaya awal yang telah direncanakan. Biaya proyek pada proyek konstruksi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu Biaya Langsung dan Biaya Tak Langsung.

2) Pengendalian Waktu Proyek

Pengendalian waktu digunakan agar waktu pelaksanaan konstruksi dapat berlangsung seperti yang dijadwalkan. Penjadwalan proyek dapat dibuat menggunakan bar chart. Ini bertujuan untuk mengidentifikasi unsur waktu dan urutan dalam merencanakan suatu kegiatan, terdiri dari waktu mulai, waktu selesai, dan pada saat pelaporan. Penggambaran bar chart terdiri dari kolom dan baris. Selain menggunakan metode bar chart dapat juga dipakai metode kurva S yang merupakan hasil plot dari bar chart. Kurva S akan menggambarkan kemajuan volume pekerjaan yang diselesaikan sepanjang siklus proyek.

Tabel 1.

Item Pekerjaan bulan Maret 2022		
Pekerjaan	Biaya	
Preliminary Work	Rp	341.322.772
Detailed Engineering Design	Rp	53.976.624
Pekerjaan Tiang Pancang	Rp	20.095.179.771
Pekerjaan Beton	Rp	3.384.651.862
Mob & Demob Equipment	Rp	1.079.532.489
Biaya Nonoperasional	Rp	519.371.310
Pekerjaan Aksesoris	Rp	2.309.723.262
Pekerjaan Struktur Tambahan	Rp	1.247.653.799
Pekerjaan Pondasi Tower Conveyor	Rp	276.233.313
Biaya Tak Terduga	Rp	563.851.762
Biaya Lain-lain	Rp	2.564.277.141
Pekerjaan Konstruksi Jetty Sulfur	Rp	2.633.741.763
Pekerjaan Dredging dan Dumping	Rp	27.385.199.167
Sarana Bantu Navigasi Pelayaran	Rp	317.509.556
Total	Rp	62.772.224.593

Tabel 2.

Rekapitulasi Perhitungan SPI Distribusi (Probabilistic)		
Bulan	SPI	SPI Distribusi (Probabilistic)
Jan-22	0,811	0,839
Feb-22	0,872	0,859
Mar-22	0,874	0,860
Apr-22	0,896	0,867

Tabel 3.

Rekapitulasi Perhitungan CPI Distribusi (Probabilistic)		
Bulan	CPI	CPI Distribusi (Probabilistic)
Jan-22	1,037	1,027
Feb-22	1,007	1,017
Mar-22	1,031	1,02
Apr-22	1,024	1,023

B. Konsep Earned Value Analysis

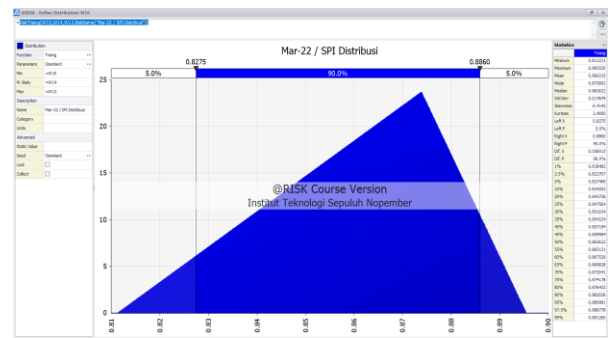
Earned Value adalah metode evaluasi kinerja dan jadwal proyek dengan mengintegrasikan ruang lingkup, jadwal, dan biaya proyek [2]. Konsep Earned Value Analysis (Analisis Nilai Hasil) merupakan bagian dari konsep Analisis Varians, dimana dalam Analisis Varians hanya menunjukkan perbedaan hasil kerja pada waktu pelaporan dibandingkan dengan anggaran atau jadwalnya.

Konsep earned value analysis dibandingkan manajemen biaya tradisional. Manajemen biaya tradisional menyajikan dua dimensi yaitu hubungan yang sederhana antara biaya aktual dengan biaya rencana, sehingga status kinerja tidak dapat diketahui. Sedangkan, konsep earned value memberikan dimensi selain biaya aktual dan biaya rencana, yaitu besarnya pekerjaan secara fisik yang telah diselesaikan atau disebut earned value/percent complete. Dengan demikian, kinerja yang dihasilkan dari sejumlah biaya yang telah dikeluarkan dapat dipahami oleh seorang manajer proyek.

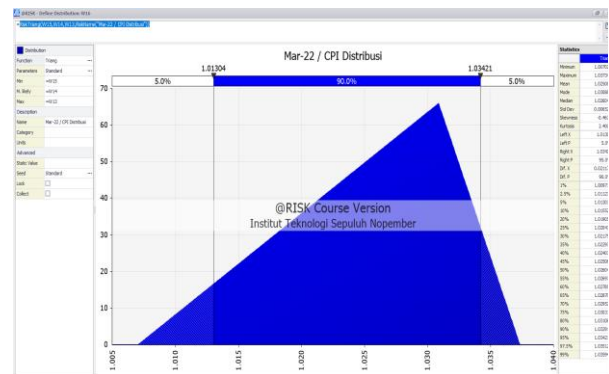
Konsep Earned Value bertujuan untuk memprediksi keadaan proyek di masa depan. Prediksi tersebut berguna untuk mempertimbangkan kebijakan yang perlu ditempuh untuk menghadapi masalah yang diprediksi dan masalah yang mungkin terjadi di masa mendatang, sehingga dapat mencapai tujuan proyek.

1) Analisis Biaya dan Jadwal

Planned Value (PV) merupakan anggaran biaya yang didasarkan rencana kerja yang telah disusun terhadap waktu tertentu atau dapat disebut juga dengan BCWS (Budget Cost of Work Scheduled). Perhitungan PV didapatkan dari hasil akumulasi anggaran biaya yang direncanakan untuk pekerjaan dalam periode waktu tertentu.



Gambar 2. Perhitungan SPI Distribusi (Probabilistic) bulan Maret 2022.



Gambar 3. Perhitungan CPI Distribusi (Probabilistic) bulan Maret 2022.

$$PV = \text{Bobot Rencana} \times \text{Nilai Kontrak} \tag{1}$$

Earned Value EV merupakan nilai hasil dari penyelesaian pekerjaan selama periode waktu tertentu atau dapat disebut juga dengan BCWP (Budget Cost of Work Performed). Perhitungan EV didapatkan dari hasil akumulasi dari pekerjaan-pekerjaan yang telah diselesaikan.

$$EV = \text{Bobot Realisasi} \times \text{Nilai Kontrak} \tag{2}$$

Actual Cost (AC) merupakan nilai hasil dari seluruh pengeluaran yang dikeluarkan untuk menyelesaikan pekerjaan dalam periode waktu tertentu atau disebut juga dengan ACWP (Actual Cost of Work Performed). AC dapat berupa kumulatif hingga periode perhitungan kinerja atau jumlah biaya pengeluaran dalam waktu tertentu

$$AC = \text{Biaya Langsung} + \text{Biaya Tak Langsung} \tag{3}$$

2) Analisis Varians

Schedule Variance digunakan untuk menghitung penyimpangan antara PV dengan EV. Hasil dari Schedule Variance ini memperlihatkan pelaksanaan pekerjaan proyek. Harga SV sama dengan nol (SV = 0) saat proyek telah tuntas dikarenakan seluruh Planned Value sudah dihasilkan. Nilai positif menunjukkan bahwa paket-paket pekerjaan proyek yang terlaksana lebih banyak dibanding rencana. Sebaliknya, nilai negative menunjukkan kinerja pekerjaan yang buruk karena paket-paket pekerjaan yang terlaksana lebih sedikit dari jadwal yang direncanakan.

$$SV = EV - PV \tag{4}$$

Cost Variance digunakan untuk menghitung penyimpangan antara EV dengan AC. Nilai CV positif menunjukkan biaya yang dikeluarkan lebih rendah dari anggaran. Nilai CV negatif menunjukkan biaya yang

Tabel 4.
Rekapitulasi Perhitungan Estimate at Completion (EAC)

Bulan	ETC Probabilistic	AC Kumulatif	EAC Probabilistic
Jan	Rp174.130.298.048	Rp 21.942.838.502	Rp196.073.136.549
Feb	Rp154.895.671.853	Rp 43.778.569.180	Rp198.674.241.032
Mar	Rp 89.547.412.417	Rp106.550.793.773	Rp196.098.206.189
Apr	Rp 75.555.411.475	Rp121.466.888.086	Rp197.022.299.560

Tabel 5.
Rekapitulasi perbandingan ETC Deterministic dengan ETC Probabilistic

Bulan	ETC Deterministic	ETC Probabilistic	Perbandingan ETC
Jan	Rp172.433.906.262	Rp174.130.298.048	0,9903%
Feb	Rp156.450.108.674	Rp154.895.671.853	1,0100%
Mar	Rp 89.043.516.316	Rp 89.547.412.417	0,9944%
Apr	Rp 75.474.134.005	Rp 75.555.411.475	0,9989%

Tabel 6.
Rekapitulasi perbandingan EAC Deterministic dengan EAC Probabilistic

Bulan	EAC Deterministic	EAC Probabilistic	Perbandingan EAC
Jan	Rp194.376.744.763	Rp196.073.136.549	0,9913%
Feb	Rp200.228.677.854	Rp198.674.241.032	1,0078%
Mar	Rp195.594.310.088	Rp196.098.206.189	0,9974%
Apr	Rp196.941.022.091	Rp197.022.299.560	0,9996%

dikeluarkan lebih tinggi dari anggaran atau disebut *cost overrun*.

$$CV = EV - AC \tag{5}$$

3) Analisis Indeks Performansi

Schedule Performance Index (SPI) merupakan Faktor efisiensi kinerja dalam menyelesaikan pekerjaan. SPI didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai pekerjaan yang secara fisik telah diselesaikan (EV) dengan rencana pengeluaran biaya yang dikeluarkan berdasar rencana pekerjaan (PV)..

$$SPI = \frac{EV}{PV} \tag{6}$$

Dimana,

SPI = 1 : proyek tepat waktu

SPI > 1 : proyek lebih cepat

SPI < 1 : proyek terlambat

Cost Performance Index (CPI) merupakan faktor efisiensi biaya yang telah dikeluarkan. CPI didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai pekerjaan yang secara fisik telah diselesaikan (EV) dengan biaya yang telah dikeluarkan dalam periode yang sama (AC).

$$CPI = \frac{EV}{AC} \tag{7}$$

Dimana,

CPI = 1 : biaya sesuai rencana

CPI > 1 : biaya lebih kecil/hemat

CPI < 1 : biaya lebih besar/boros

4) Estimasi Waktu dan Penyelesaian Proyek

Metode *Earned Value* juga dapat digunakan untuk memperkirakan biaya akhir proyek dan waktu penyelesaian proyek. Prakiraan dihitung berdasarkan kecenderungan kinerja dan asumsi bahwa kecenderungan tersebut tidak akan berubah sampai akhir proyek. Prakiraan ini berguna untuk memberikan gambaran ke depan kepada pihak kontraktor, sehingga dapat melakukan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan [1].

ETC merupakan prakiraan biaya untuk pekerjaan tersisa, dengan asumsi bahwa kecenderungan kinerja proyek akan tetap (konstan) sampai akhir proyek.

$$ETC = \frac{BAC - EV}{CPI} \tag{8}$$

EAC Merupakan prakiraan biaya total pada akhir proyek. Perhitungan EAC didapatkan dari biaya aktual (AC) ditambahkan dengan biaya Estimate to Complete (ETC).

$$EAC = AC + ETC \tag{9}$$

5) Time Estimated (TE)

TE merupakan prediksi total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas dalam sebuah proyek dengan mengasumsikan bahwa tren angka kinerja kemajuan akan terus berlanjut hingga akhir proyek seperti yang dilaporkan.

$$TE = ATE + \left(\frac{OD - (ATE \times SPI)}{SPI} \right) \tag{10}$$

Keterangan :

TE (*Time Estimated*) : Prakiraan waktu penyelesaian.

ATE (*Actual Time Expended*): Waktu yang telah ditempuh.

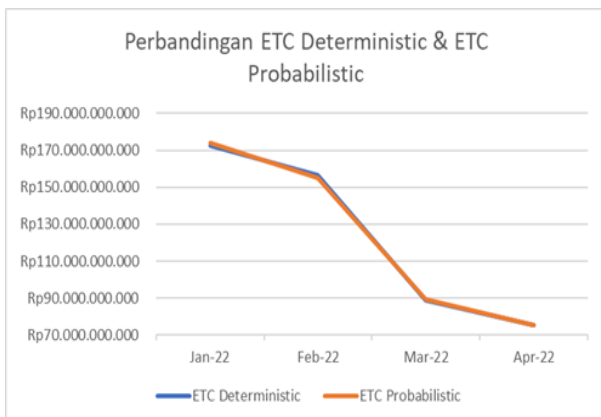
OD (*Original Duration*) : Waktu yang direncanakan

C. Metode Probabilistic Earned Value

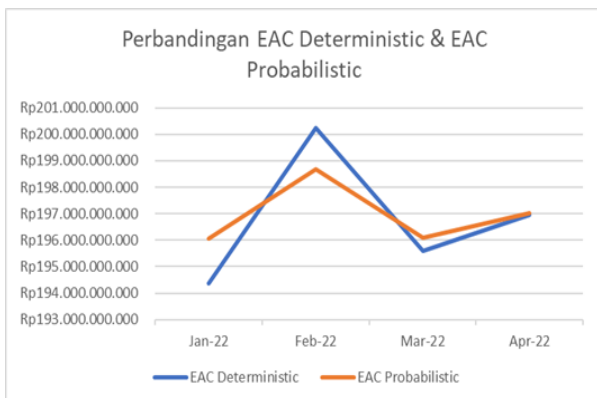
Probabilistic Earned Value merupakan metode yang bertujuan untuk mengurangi hambatan atau gangguan pada kegiatan proyek, sehingga prediksi kondisi menjadi lebih akurat. Metode *Probabilistic Earned Value* mengasumsikan rentang kondisi suatu aktivitas bergantung pada banyak faktor dan variasi, sehingga metode ini menggunakan tiga jenis estimasi kondisi aktivitas dengan menggunakan distribusi data earned value. Terdapat 3 kondisi aktivitas pada metode ini, yaitu *Optimistic*, *Most Likely*, dan *Pessimistic* [3].

1) Optimistic (a)

Kondisi ini merupakan prakiraan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan, yaitu jika kegiatan berjalan sesuai dengan rencana awal dan tidak adanya penyimpangan terjadi atau sudah dalam kondisi ideal.



Gambar 4. Grafik Perbandingan ETC *Deterministic* dengan ETC *Probabilistic*.



Gambar 5. Grafik Perbandingan EAC *Deterministic* dengan EAC *Probabilistic*.

2) *Most Likely (m)*

Kondisi ini merupakan prakiraan waktu yang paling mungkin untuk menyelesaikan suatu kegiatan, yaitu jika suatu kegiatan dilakukan dalam kondisi normal dengan batas tertentu yang dapat diterima.

3) *Pessimistic (b)*

Kondisi ini merupakan prakiraan waktu untuk dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan, yaitu jika kegiatan terjadi kendala atau dalam kondisi yang tidak menguntungkan.

D. *Monte Carlo Simulation*

Simulasi Monte Carlo merupakan sebuah teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif. Simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk menghitung biaya dan waktu akhir sebuah proyek dengan memperhatikan unsur ketidakpastian atau probabilitas [4]. Dalam simulasi Monte Carlo, setiap variable memiliki nilai dengan probabilitas yang berbeda yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas atau probability distribution function (pdf) biaya dan waktu yang mungkin terjadi. Pengolahan data dengan monte carlo simulation ini dapat menggunakan program bantu berupa software aplikasi *Risk*.

III. METODOLOGI

Metode yang diusulkan pada penelitian ini adalah metode *Probabilistic Earned Value*. Metode ini digunakan agar biaya dan waktu pengerjaan proyek dapat dikendalikan dan proyek

dapat diselesaikan tepat waktu dan biaya yang dikeluarkan sesuai dengan anggaran proyek jika terdapat penyimpangan. Metode ini juga dapat mengurangi hambatan atau gangguan pada kegiatan proyek, sehingga prediksi kondisi menjadi lebih akurat. Dalam menganalisis pekerjaan penelitian ini, diperlukan tahapan penelitian sesuai dengan bagan alir Gambar 1.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dijabarkan terkait perhitungan Analisis Kinerja Waktu dan Biaya. Penerapan metode *Probabilistic Earned Value* dilakukan pada Proyek Revitalisasi RCC RU VI Balongan. Data umum proyek diambil dari hasil permohonan data kepada pihak pemilik proyek yaitu PT. Pertamina (Persero). Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan, yaitu pada bulan Januari 2022 – April 2022

A. *Perhitungan Analisis Biaya dan Jadwal*

Berdasarkan *Earned Value*, terdapat tiga indikator capaian kerja dalam analisis kinerja biaya dan jadwal, yaitu *Planned Value*, *Earned Value*, dan *Actual Cost*. Variabel data tersebut diperoleh dari hasil permohonan data kepada pihak pemilik proyek Revitalisasi RCC RU VI Balongan yaitu PT. Pertamina (Persero).

1) *Planned Value (PV)*

Perhitungan PV didapatkan dengan mengalikan presentase kumulatif bobot rencana tiap bulan dengan nilai kontrak. Presentase kumulatif bobot rencana didapat dari grafik kurva S yang didalamnya terdapat uraian pekerjaan, dan presentase bobot rencana. Data yang diperlukan dalam perhitungan didapatkan dari RAB dan kurva S Proyek. Berikut ini merupakan contoh perhitungan PV bulan Maret 2022.

$$\begin{aligned}
 PV &= \text{Bobot Rencana} \times \text{Nilai Kontrak} & (11) \\
 &= 37,25\% \times \text{Rp}201.635.083.030,592 \\
 &= \text{Rp}75.106.648.808
 \end{aligned}$$

2) *Earned Value (EV)*

Perhitungan EV didapatkan dari hasil akumulasi dari pekerjaan-pekerjaan yang telah diselesaikan. EV dapat dihitung dengan mengalikan presentase kumulatif bobot realisasi dengan nilai kontrak. Presentase kumulatif bobot realisasi ialah kumulatif progress pekerjaan yang telah dicapai setiap bulan. Data yang diperlukan dalam perhitungan didapatkan dari RAB dan kurva S Proyek. Berikut ini merupakan contoh perhitungan EV bulan Maret 2022.

$$\begin{aligned}
 EV &= \text{Bobot Realisasi} \times \text{Nilai Kontrak} & (12) \\
 &= 32,61\% \times \text{Rp}201.635.083.030,592 \\
 &= \text{Rp}65.755.459.716
 \end{aligned}$$

3) *Actual Cost (AC)*

Perhitungan Actual Cost (AC) diperoleh dengan menjumlahkan biaya langsung dan biaya tidak langsung sampai dengan periode peninjauan. Berikut ini merupakan data item pekerjaan untuk bulan Maret 2022 pada Tabel 1. Berikut ini merupakan AC pada bulan Maret 2022 yang didapatkan dari data item pekerjaan proyek.

$$AC = \text{Biaya Langsung} \times \text{Biaya Tak Langsung} \quad (13)$$

$$= \text{Rp}62.772.224.593$$

B. Perhitungan Analisis Varians

1) Cost Variance (CV)

Cost Variance digunakan untuk menghitung penyimpangan antara EV dengan AC. Nilai CV positif menunjukkan biaya yang dikeluarkan lebih rendah dari anggaran. Nilai CV negatif menunjukkan biaya yang dikeluarkan lebih tinggi dari anggaran atau disebut cost overrun. Perhitungan Cost Variance diperoleh dengan cara mengurangkan Earned Value dengan Actual Cost. Berikut ini merupakan contoh perhitungan CV bulan Maret 2022.

$$CV = EV \text{ Kumulatif} - AC \text{ Kumulatif} \quad (14)$$

$$= \text{Rp}109.841.529.335 - \text{Rp}106.550.793.773$$

$$= \text{Rp}3.290.735.562$$

2) Cost Variance (CV)

Schedule Variance digunakan untuk menghitung penyimpangan antara PV dengan EV. Nilai positif menunjukkan bahwa paket-paket pekerjaan proyek yang terlaksana lebih banyak dibanding rencana. Sebaliknya, nilai negative menunjukkan kinerja pekerjaan yang buruk karena paket-paket pekerjaan yang terlaksana lebih sedikit dari jadwal yang direncanakan. Perhitungan Schedule Variance diperoleh dengan cara mengurangkan earned value dengan Planned value. Berikut ini merupakan contoh perhitungan SV bulan Maret 2022.

$$SV = EV \text{ Kumulatif} - PV \text{ Kumulatif} \quad (15)$$

$$= \text{Rp}109.841.529.335 - \text{Rp}125.690.842.088$$

$$= -\text{Rp}15.849.312.753$$

C. Perhitungan Analisis Indeks Performansi

1) Schedule Performance Index (SPI)

Schedule Performance Index (SPI) didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai pekerjaan yang secara fisik telah diselesaikan (EV) dengan rencana pengeluaran biaya yang dikeluarkan berdasar rencana pekerjaan (PV). Berikut ini merupakan contoh perhitungan SPI bulan Maret 2022.

$$SPI = \frac{EV \text{ Kumulatif}}{PV \text{ Kumulatif}} \quad (16)$$

$$= \frac{\text{Rp}109.841.529.335}{\text{Rp}125.690.842.088}$$

$$= 0,874$$

Keterangan:

SPI = 1 : proyek tepat waktu

SPI > 1 : proyek lebih cepat

SPI < 1 : proyek terlambat

2) Cost Performance Index (CPI)

Cost Performance Index (CPI) didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai pekerjaan yang secara fisik telah diselesaikan (EV) dengan biaya yang telah dikeluarkan dalam

periode yang sama (AC). Berikut ini merupakan contoh perhitungan CPI bulan Maret 2022.

$$CPI = \frac{EV \text{ Kumulatif}}{AC \text{ Kumulatif}} \quad (17)$$

$$= \frac{\text{Rp}109.841.529.335}{\text{Rp}106.550.793.773}$$

$$= 1,031$$

Keterangan:

CPI = 1 : biaya sesuai rencana

CPI > 1 : biaya lebih kecil/hemat

CPI < 1 : biaya lebih besar/boros

D. Perhitungan Estimasi Waktu dan Biaya Penyelesaian Proyek

1) Estimate to Complete (ETC)

Estimate to Complete (ETC) merupakan prakiraan biaya untuk pekerjaan tersisa, dengan asumsi bahwa kecenderungan kinerja proyek akan tetap (konstan) sampai akhir proyek. Estimate to Complete (ETC) didapatkan dari hasil perbandingan antara biaya total proyek yang telah dianggarkan (BAC) dikurangi nilai pekerjaan yang secara fisik telah diselesaikan (EV) dengan Cost Performance Index (CPI). Berikut ini merupakan contoh perhitungan ETC bulan Maret 2022.

$$ETC = \frac{(BAC - EV \text{ Kumulatif})}{CPI} \quad (18)$$

$$= \frac{(\text{Rp}201.635.083.031 - \text{Rp}109.841.529.335)}{1,031}$$

$$= \text{Rp}89.043.516.315,722$$

2) Estimate at Completion (EAC)

Estimate at Completion (EAC) merupakan prakiraan biaya total pada akhir proyek. Perhitungan EAC didapatkan dari biaya aktual (AC) ditambahkan dengan biaya Estimate to Complete (ETC). Estimate at Completion (EAC) didapatkan dari hasil akumulasi biaya yang telah dikeluarkan dalam periode yang sama (AC) dengan prakiraan biaya untuk pekerjaan tersisa (ETC). Berikut ini merupakan contoh perhitungan ETC bulan Maret 2022.

$$EAC = ETC + AC \text{ Kumulatif} \quad (19)$$

$$= \text{Rp}89.043.516.316 + \text{Rp}106.550.793.773$$

$$= \text{Rp}195.594.310.088$$

3) Time Estimated (TE)

Time Estimated (TE) merupakan prediksi total waktu perkiraan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek. Berikut ini merupakan contoh perhitungan TE bulan Maret 2022.

$$TE = ATE + \frac{((OD - (ATE \times SPI))}{SPI} \quad (20)$$

$$= 213 + \frac{((363 - (216 \times 0,874))}{0,874}$$

$$= 415 \text{ hari}$$

E. Perhitungan Probabilistic Earned Value

Probabilistic Earned Value merupakan metode yang bertujuan untuk mengurangi hambatan atau gangguan pada kegiatan proyek, sehingga prediksi kondisi menjadi lebih akurat. Metode *Probabilistic Earned Value* mengasumsikan rentang kondisi suatu aktivitas bergantung pada banyak faktor dan variasi, sehingga metode ini menggunakan tiga jenis estimasi kondisi aktivitas dengan menggunakan distribusi data earned value. Terdapat 3 kondisi aktivitas pada metode ini, yaitu *Optimistic*, *Most Likely*, dan *Pessimistic*. Data yang dibutuhkan dalam metode ini yaitu perhitungan SPI dan CPI sebelumnya.

Perhitungan *Schedule Performance Index* (SPI) distribusi dan *Cost Performance Index* (CPI) distribusi yang didapatkan dari range data *optimistic* yang diambil dari nilai SPI dan CPI terbesar, *most likely* yang diambil dari nilai SPI dan CPI yang sering muncul/terjadi pada setiap bulan, dan *pessimistic* yang diambil dari nilai SPI dan CPI terkecil diperoleh dengan membuat *Triangle Distribution Monte Carlo Simulation* pada software aplikasi *Risk*. Tujuan dari perhitungan SPI dan CPI distribusi tersebut adalah untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan untuk menghitung ETC dan EAC *Probabilistic* [4].

1) Perhitungan Distribusi Schedule Performance Index (SPI) Probabilistic

Nilai distribusi SPI ditentukan oleh range dari tiga indikator probabilistic yaitu *optimistic time* (a) yang diambil dari nilai SPI tertinggi, *most likely time* (m) yang diambil dari nilai SPI yang sering terjadi pada setiap bulan, dan *pessimistic time* (b) yang diambil dari nilai SPI terendah. Berikut rincian data range SPI *Probabilistic* pada bulan Maret 2022:

1. SPI *optimistic* (a) = 0,896
2. SPI *most likely* (m) = 0,874
3. SPI *pessimistic* (b) = 0,811

Dengan demikian, didapatkan perhitungan SPI Distribusi (*Probabilistic*) menggunakan distribusi *triangle* pada software aplikasi *Risk*.

Hasil rekapitulasi SPI Distribusi (*Probabilistic*) dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan SPI Distribusi (*Probabilistic*) bulan Januari 2022 – April 2022 yang tertera pada Gambar 2 dengan menggunakan software aplikasi *Risk* dengan keyakinan 95% diperoleh hasil semua kurang dari 1. Hasil kurang dari 1 menunjukkan bahwa waktu pelaksanaan proyek lebih lambat dari jadwal yang telah direncanakan

2) Perhitungan Distribusi Cost Performance Index (CPI) Probabilistic

Nilai distribusi CPI ditentukan oleh range dari tiga indikator probabilistic yaitu *optimistic time* (a) yang diambil dari nilai CPI tertinggi, *most likely time* (m) yang diambil dari nilai CPI yang sering terjadi setiap bulan, dan *pessimistic time* (b) yang diambil dari nilai CPI terendah. Berikut rincian data range CPI Distribusi (*Probabilistic*) pada bulan Januari 2022.

1. CPI *optimistic* (a) = 1,037
2. CPI *most likely* (m) = 1,031
3. CPI *pessimistic* (b) = 1,025

Gambar 3 merupakan perhitungan CPI Distribusi (*Probabilistic*) menggunakan distribusi *triangle* pada software aplikasi *Risk*. Hasil rekapitulasi CPI Distribusi

(*Probabilistic*) dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan CPI Distribusi (*Probabilistic*) bulan Januari 2022 – April 2022 dengan menggunakan software aplikasi *Risk* dengan keyakinan 95% diperoleh hasil semua lebih dari 1. Hasil lebih dari 1 menunjukkan bahwa biaya pelaksanaan proyek lebih hemat dari anggaran yang telah direncanakan.

F. Perhitungan Estimasi Biaya Penyelesaian Proyek

1) Perhitungan Estimate to Complete (ETC) Probabilistic

Estimate to Complete (ETC) *Probabilistic* merupakan prakiraan biaya untuk pekerjaan tersisa dengan menggunakan nilai distribusi hasil simulasi yang telah didapatkan. *Estimate to Complete* (ETC) *Probabilistic* didapatkan dari hasil perbandingan antara biaya total proyek yang telah dianggarkan (BAC) dikurangi nilai pekerjaan yang secara fisik telah diselesaikan (EV) dengan *Cost Performance Index* (CPI) Distribusi. Perhitungan ini bertujuan sebagai perbandingan antara ETC *Probabilistic* dengan ETC *Deterministic*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan ETC *Probabilistic* bulan Maret 2022.

$$\begin{aligned} ETC \text{ Probabilistic} &= \frac{(BAC - EV \text{ Kumulatif})}{CPI \text{ Distribusi}} & (21) \\ &= \frac{(Rp201.635.083.031 - Rp109.841.529.335)}{1,025} \\ &= Rp89.547.412.416 \end{aligned}$$

2) Perhitungan Estimate at Completion (EAC) Probabilistic

Estimate at Completion (EAC) *Probabilistic* merupakan prakiraan biaya total pada akhir proyek. Perhitungan EAC *Probabilistic* didapatkan dari biaya aktual (AC) ditambahkan dengan *Estimate to Complete* (ETC) *Probabilistic*. Perhitungan ini bertujuan sebagai perbandingan antara EAC *Probabilistic* dengan EAC *Deterministic*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan ETC *Probabilistic* bulan Februari 2022.

$$\begin{aligned} EAC \text{ Probabilistic} &= ETC \text{ Probabilistic} + AC \text{ Kumulatif} & (22) \\ &= Rp89.547.412.417 + Rp106.550.793.773 \\ &= Rp196.098.206.189 \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi *Estimate at Completion* (EAC) bulan Januari 2022 – April 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.

3) Perbandingan ETC dan EAC Deterministic dengan ETC dan EAC Probabilistic

Perbandingan ETC dan EAC *deterministic* dengan ETC dan EAC *probabilistic* ialah untuk menentukan apakah ETC dan EAC *probabilistic* dapat digunakan sebagai *forecast*. Hasil perbandingan ETC *Deterministic* dengan ETC *Probabilistic* dihitung dalam presentase. Syarat dari hasil perbandingan tersebut ialah jika kurang dari 5% maka ETC dan EAC *Probabilistic* adalah *valid*. Jika hasil perbandingan tersebut *valid*, maka ETC *Probabilistic* tersebut dapat digunakan untuk *forecast*. Di dalam distribusi normal dikenal suatu aturan yang disebut aturan empiris. Berikut perhitungan perbandingan ETC *Deterministic* dengan ETC *Probabilistic* bulan Maret 2022.

$$\begin{aligned} \%Perbandingan ETC &= \frac{ETC Deterministic}{ETC Probabilistic} & (23) \\ &= \frac{89.043.516.316}{89.547.412.417} \\ &= 0,9944\% \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi perbandingan ETC *Deterministic* dengan ETC *Probabilistic* bulan Januari 2022 – April 2022 dapat dilihat pada Tabel 5. Gambar 4 merupakan tampilan grafik Perbandingan ETC *Deterministic* dengan ETC *Probabilistic*. Berikut perhitungan perbandingan EAC *Deterministic* dengan EAC *Probabilistic* bulan Maret 2022.

$$\begin{aligned} \%Perbandingan ETC &= \frac{ETC Deterministic}{ETC Probabilistic} & (24) \\ &= \frac{195.594.310.088}{196.098.206.190} \\ &= 0,9974\% \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi perbandingan EAC *Deterministic* dengan EAC *Probabilistic* bulan Januari 2022 – April 2022 dapat dilihat pada Tabel 6. Gambar 5 merupakan tampilan grafik Perbandingan EAC *Deterministic* dengan EAC *Probabilistic*.

Berdasarkan hasil rekapitulasi perbandingan ETC dan EAC *Deterministic* dengan ETC dan EAC *Probabilistic* bulan Januari 2022 – April 2022 diperoleh hasil di bawah 5%. Sesuai dengan syarat empiris dalam distribusi normal, data tersebut dapat digunakan menjadi data prakiraan atau prediksi biaya penyelesaian proyek. Dari hasil tersebut juga dapat diketahui bahwa terdapat nilai ETC dan EAC *Probabilistic* yang menunjukkan lebih besar dari ETC dan EAC *Deterministic*. Hal tersebut diartikan bahwa estimasi biaya penyelesaian proyek dengan memperhitungkan unsur probabilitas/ketidaktastian memungkinkan terjadinya kenaikan biaya. Oleh karena itu diperlukan untuk memperhitungkan unsur probabilitas agar perhitungan estimasi biaya penyelesaian proyek lebih akurat.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dengan memperhitungkan tiga indikator *probabilistic*, yaitu *Optimistic*, *Most Likely*, dan *Pessimistic* didapatkan hasil rekapitulasi perhitungan SPI *Probabilistic* dengan

menggunakan *software* aplikasi *Risk*, yaitu diperoleh hasil semua kurang dari 1 yang menunjukkan bahwa proyek mengalami keterlambatan dari perencanaan awal. Sedangkan hasil rekapitulasi perhitungan CPI *Probabilistic* diperoleh hasil semua lebih dari 1 yang menunjukkan bahwa biaya pelaksanaan proyek lebih hemat dari perencanaan awal.

Hasil rekapitulasi perhitungan Time Estimated (TE) diperoleh waktu perkiraan akhir adalah 405 hari, dimana proyek mengalami keterlambatan dari jadwal yang direncanakan yaitu 363 hari. Hasil rekapitulasi perhitungan *Estimate to Complete (ETC) Probabilistic* menunjukkan bahwa biaya penyelesaian sisa proyek adalah Rp75.555.411.474, serta hasil rekapitulasi perhitungan *Estimate at Completion (EAC) Probabilistic* adalah Rp197.022.299.560 yang menunjukkan bahwa biaya lebih kecil dari nilai kontrak proyek yaitu Rp201.635.083.030.

Berdasarkan hasil perbandingan ETC dan EAC *Deterministic* dengan ETC dan EAC *Probabilistic* menunjukkan bahwa terdapat beberapa nilai ETC dan EAC *Probabilistic* yang lebih besar dari ETC dan EAC *Deterministic*. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlunya memperhitungkan unsur ketidakpastian dalam melakukan pengendalian proyek agar perhitungan prediksi biaya penyelesaian proyek lebih akurat, serta meminimalisir terjadinya gangguan keuangan proyek. Dengan demikian, ETC *Probabilistic* lebih dapat mengakomodasi permasalahan ketidakpastian dibandingkan ETC *Deterministic* karena dapat mengakomodasi unsur ketidakpastian

B. Saran

Saran dari penelitian ini adalah perlu dilakukan peninjauan dengan jumlah durasi yang lebih banyak agar unsur perhitungan ketidakpastian/probabilitas lebih akurat dan lebih *valid*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Husen Abrar, *Manajemen Proyek Perencanaan Penjadwalan Dan Pengendalian Proyek*. Yogyakarta: Andi, 2009.
- [2] S. Chen and X. Zhang, "An Analytic Review of Earned Value Management Studies in the Construction Industry," in *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*. 2012.
- [3] R. Vargas, "Earned value probabilistic using monte carlo simulation," *AACE Int. Trans.*, 2004.
- [4] K. Prasetyo, "Analisis Kinerja Waktu dan Biaya Proyek Pembangunan Grand Kumala Lagoon Tower Victoria dengan Metode Earned Value Probabilistic," Departemen Teknik Informatika: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2021.