



ANALISIS METODE NILAI HASIL (*EARNED VALUE*) MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO UNTUK MONITORING PROYEK PEMBANGUNAN JALAN

Kamila Salsabila Iman¹, Zetta Rasullia Kamandang^{2*}

^{1,2*}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
Jl. Rungkut Madya No.1, Gunung Anyar, Kec. Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294
Telp. (031) 870 6369
Alamat E-mail: zerasullia.ts@upnjatim.ac.id

Info Artikel

Abstrak

Sejarah Artikel:

Diterima: Des 2023
Disetujui: Feb 2024
Dipublikasikan: Des 2024

Keywords:

Performance; Earned Value Concept, Monte Carlo Simulation, Merit Review

Kinerja proyek dinilai berdasarkan jadwal, biaya, dan kualitas. Pengukuran waktu dan biaya harus dilakukan secara teratur untuk mengidentifikasi apabila terdapat ketidaksesuaian terhadap rencana. Pada proyek pembangunan jalan XYZ di Provinsi Jawa Timur ditemukan adanya deviasi sebesar 20,707% pada minggu ke-19, sehingga diperlukan analisis konsep nilai hasil untuk mengetahui perkembangan proyek di masa mendatang. Untuk menganalisis penyebaran ketidakpastian proyek, digunakan simulasi Monte Carlo dengan memodelkan sistem dengan bilangan acak. Angka random yang dihasilkan merupakan angka diantara RAB minimum dan maksimum untuk setiap jenis pekerjaan yang ada pada proyek. Setelah dilakukan pengulangan sesuai jumlah iterasi yang didapatkan dengan nilai *relative error* 2%. Kemudian dianalisis grafik frekuensi dan distribusi normalnya, sehingga dapat diketahui bahwa proyek harus menyediakan biaya sebesar Rp 11.031.591.805,11, Rp 16.742.117.603,03, dan Rp 21.981.246.725,01 untuk evaluasi kinerja pada tinjauan prestasi 50%, 75%, dan 100%. Hasil perhitungan SPI di minggu ke-19 yakni sebesar 0,409, menunjukkan bahwa proyek terlambat dari jadwal. Selain itu, perhitungan TE menunjukkan proyek ini dapat diselesaikan dalam 508 hari atau 73 minggu.

Kata Kunci: Kinerja, Konsep Nilai Hasil, Simulasi Monte Carlo, Tinjauan Prestasi.

Abstract

Project performance is assessed based on schedule, cost, and quality. Time and cost measurements must be carried out regularly to identify if there is a discrepancy with the plan. In the XYZ road construction project in East Java Province, a deviation of 20.707% was found in the 19th week, so it is necessary to analyze the concept of the value of results to determine the future development of the project. To analyze the spread of project uncertainty, Monte Carlo simulation is used by modeling the system with random numbers. The random number generated is the number between the minimum and maximum RAB for each type of work in the project. After repetition according to the number of iterations obtained with a relative error value of 2%. Then the frequency graph and normal

distribution are analyzed, so it can be seen that the project must provide costs of Rp 11,031,591,805.11, Rp 16,742,117,603.03, and Rp 21,981,246,725.01 for performance evaluation at 50%, 75%, and 100% performance reviews. The SPI calculation result in week 19 is 0.409, indicating that the project is behind schedule. In addition, the TE calculation shows this project can be completed in 508 days or 73 weeks.

©2024

Universitas Abdurrab

✉ Alamat korespondensi:

Kampus UPN "Veteran" Jawa Timur, Jl. Rungkut Madya No.1,
Kec. Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294
E-mail: zerasullia.ts@upnjatim.ac.id

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Perencanaan waktu dan pengendalian biaya adalah bagian dari keseluruhan manajemen proyek konstruksi. Kinerja sebuah proyek tidak hanya dapat diukur dari segi kualitas, tetapi juga dari segi biaya dan waktu. Biaya yang dikeluarkan dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan sebuah proyek harus terus dipantau untuk mendeteksi penyimpangan terhadap rencana [1]. Salah satu metode yang paling tepat untuk menganalisis kinerja proyek adalah Konsep Nilai Hasil. Metode ini dapat memberikan informasi tentang keadaan proyek pada periode berikutnya dalam hal biaya dan waktu untuk menyelesaikan proyek, juga dapat menentukan pada setiap awal periode pelaporan apakah ada penyimpangan dalam biaya dan waktu pelaksanaan [2]. Tindakan korektif kemudian dapat diambil untuk tahap selanjutnya.

Untuk mencari indikator yang lebih komprehensif dan untuk mengoptimalkan analisis perkiraan biaya dan waktu maka digunakan simulasi Monte Carlo [3]. Simulasi Monte Carlo adalah metode sampling yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah kuantitatif. Simulasi ini digunakan untuk mengintegrasikan waktu data, seperti proyek atau yang lainnya, menggunakan nilai yang dipilih secara acak dari distribusi probabilitas waktu yang mungkin terjadi.

Pengaplikasian simulasi Monte Carlo pada konsep nilai hasil masih belum mendapat tumpuan yang kuat pada dunia manajemen proyek. Oleh karena itu penelitian ini harus dilakukan dengan tujuan menghasilkan metode alokasi durasi yang dapat digunakan untuk membantu dalam pengambilan keputusan dan mengelola risiko yang terkait dengan durasi pekerjaan.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Nilai Hasil

Konsep nilai hasil dapat memperkirakan biaya dan waktu penyelesaian proyek dengan menggabungkan elemen biaya, jadwal, dan tenaga kerja berdasarkan pelaksanaan pembangunan di lapangan. Metode ini dapat mengidentifikasi apakah suatu proyek pembangunan akan mengalami penundaan atau pembengkakan biaya. Sehingga dapat ditemukan solusi agar proyek selesai tepat waktu dan menghemat biaya yang tersisa [4]. Berikut adalah indikator yang ada pada konsep nilai hasil:

- 1) *Budgeted Cost for Work Schedule (BCWS)* adalah anggaran biaya yang telah direncanakan yang mengacu pada jadwal pelaksanaan proyek [5].

$$BCWS = \% \text{ Rencana} \times \text{Nilai Kontrak} \quad (1)$$

- 2) *Budgeted Cost of Work Performance (BCWP)* adalah anggaran biaya untuk seluruh pekerjaan yang sudah dilaksanakan selama periode konstruksi [5].

$$BCWP = \% \text{ Realisasi} \times \text{Nilai Kontrak} \quad (2)$$

- 3) *Actual Cost of Work Performed (ACWP)* adalah biaya aktual yang dikeluarkan untuk menyelesaikan pekerjaan dalam jangka waktu tertentu [5].

- 4) *Schedule Variance (SV)* digunakan untuk menentukan variasi antara BCWP dan BCWS [6].

$$SV = BCWP - BCWS \quad (3)$$

- 5) *Cost Variance (CV)* adalah selisih antara biaya yang diperoleh setelah menyelesaikan pekerjaan dengan biaya aktual selama pelaksanaan proyek [6].

$$CV = BCWP - ACWP \quad (4)$$

- 6) *Schedule Performance Index (SPI)* adalah perbandingan nilai pekerjaan yang secara fisik telah diselesaikan (BCWP) dengan rencana pengeluaran biaya yang dikeluarkan berdasarkan rencana pekerjaan (BCWS) [6].

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} \quad (5)$$

- 7) *Cost Performance Index (CPI)* adalah perbandingan nilai pekerjaan yang secara fisik telah diselesaikan (BCWS) dengan biaya yang telah dikeluarkan dalam periode yang sama (ACWP) [6]

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \quad (6)$$

- 8) *Estimate to Complete (ETC)* adalah prediksi biaya untuk pekerjaan yang masih tersisa. Dengan asumsi bahwa perkembangan angka kalender terus berlanjut seperti yang ditunjukkan hingga proyek selesai [6].

$$ETC = \frac{(\text{Anggaran Total} - EV)}{CPI} \quad (7)$$

9) *Estimate at Completion* (EAC) adalah prediksi biaya pada akhir pengerjaan proyek.

$$EAC = AC + ETC \quad \text{atau} \quad (8)$$

$$EAC = ACWP + \frac{(BAC-BCWP)}{(CPI \times SPI)} \quad (9)$$

10) *Time Estimated* (TE) adalah total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek.

Dengan asumsi bahwa perkembangan angka kalender terus berlanjut seperti yang ditunjukkan hingga proyek selesai [6].

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

Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo digunakan untuk memodel dan menganalisis sistem yang mengandung resiko dan ketidakpastian [7]. Metode ini memungkinkan penghitungan distribusi pada node terminal yang dibuat oleh proyek dengan menggunakan angka acak [8]. Angka acak tersebut kemudian disimulasikan berulang kali oleh sistem, mungkin ratusan bahkan ribuan kali, tergantung pada sistem yang ditinjau. Hasil simulasi ini adalah distribusi probabilitas dari nilai sistem secara keseluruhan [7].

METODE

Pada penelitian ini digunakan data sekunder yang terdiri dari laporan mingguan, Rencana Anggaran Biaya (RAB), kurva S dan HSPK Provinsi Jawa Timur Tahun 2022. Untuk metode yang digunakan adalah konsep nilai hasil (*earned value*) yang kemudian disimulasikan menggunakan metode Monte Carlo dengan bantuan *software* Crystall Ball.

Untuk dapat menerapkan simulasi Monte Carlo dibutuhkan data nilai minimum dan nilai maksimum. Pada penelitian ini untuk nilai minimum digunakan harga RAB proyek. Dan untuk nilai maksimum didapat dari persentase kenaikan harga satuan pekerjaan minimum ke harga satuan pekerjaan maksimum yang terdapat pada HSPK. Kemudian hasil persentase tersebut diimplementasikan kedalam perhitungan RAB proyek. Berikut adalah contoh perhitungan pada pekerjaan Mobilisasi:

$$\begin{aligned} \% \text{ Kenaikan Harga} &= \frac{\text{Harga Max HSPK} - \text{Harga Min HSPK}}{\text{Harga Max HSPK}} \times 100 \quad (11) \\ &= \frac{\text{Rp } 217.195.000,00 - \text{Rp } 177.705.330,00}{\text{Rp } 217.195.000,00} \times 100 \\ &= 22,22 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Sat. Max} &= \text{Harga Sat. Min} + (\text{Harga Sat. Min} \times \% \text{ Kenaikan Harga}) \quad (12) \\ &= \text{Rp } 110.675.000,00 + (\text{Rp } 110.675.000,00 \times 22,22 \%) \\ &= \text{Rp } 135.269.193,25 \end{aligned}$$

Pada pekerjaan mobilisasi diketahui HSPK minimum sebesar Rp 177.705.330,00 dan untuk HSPK maksimum sebesar Rp 217.195.000,00. Setelah dilakukan perhitungan diketahui

persentase kenaikan harga minimum ke harga maksimum pada pekerjaan mobilisasi adalah sebesar 22,22%. Kemudian dari persentase kenaikan tersebut dapat diketahui harga satuan maksimum pekerjaan mobilisasi adalah sebesar Rp 135.269.193,25.

Setelah harga RAB minimum dan RAB maksimum diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung tinjauan prestasi proyek pada persentase pekerjaan 50%, 75% dan 100%. Kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan simulasi Monte Carlo. Berikut adalah tahapan-tahapan yang digunakan untuk mengolah data pada simulasi Monte Carlo:

1) Menentukan Nilai Standar Deviasi dan *Absolute Error*

Digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel dan seberapa dekat titik data individu ke mean dari nilai sampel.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum x_i^2 - n\bar{x}^2)} \tag{13}$$

$$\varepsilon = (\text{Relative error}) \times (\text{nilai yang diukur}) \tag{14}$$

2) Menentukan Jumlah Iterasi

Untuk mendapatkan nilai iterasi, sebelumnya harus sudah didapat hasil nilai standar deviasi dan *absolute error*. Untuk *relative error* yang diharapkan adalah sebesar 2%.

$$N = \left(\frac{3\sigma}{\varepsilon}\right)^2 \tag{15}$$

3) Peramalan Data

Dilakukan iterasi sebanyak jumlah yang didapat pada perhitungan. Setelah itu didapat output yang berupa grafik frekuensi dan distribusi normal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Tinjauan Prestasi 50%, 75% dan 100%

Pada penelitian ini, tinjauan prestasi proyek dilakukan pada saat proyek berjalan 50%, 75%, dan 100%. Berdasarkan presentase pekerjaan yang disajikan dalam Kurva S proyek, data harga per pekerjaan diolah melalui analisis sehingga menghasilkan RAB minimum dan RAB maksimum, yang akan digunakan sebagai data awal untuk perhitungan Monte Carlo. Data yang diperlukan untuk memulai simulasi Monte Carlo adalah data RAB minimum dan RAB maksimum untuk setiap pekerjaan pada tinjauan prestasi 50% yang bisa dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengelompokkan RAB Minimum – Maksimum untuk tinjauan prestasi pekerjaan 50%

No.	Jenis pekerjaan	Harga Minimum	Harga Maksimum
1	Divisi 1. UMUM	Rp 431,129,697.53	Rp 541,757,371.67
2	Divisi 2. DRAINASE	Rp 490,274,752.36	Rp 616,079,019.27

3	Divisi 3. PEKERJAAN TANAH DAN GEOSINTETIK	Rp 3,956,035,142.47	Rp 4,971,151,867.45
4	Divisi 5. PERKERASAN BERBUTIR	Rp 3,122,914,824.06	Rp 3,924,253,273.90
5	Divisi 7. STRUKTUR	Rp 1,681,733,005.79	Rp 2,113,264,890.54
6	Divisi 9. PEKERJAAN HARIAN DAN PEKERJAAN LAIN-LAIN	Rp 122,754,372.80	Rp 154,253,086.14
TOTAL		Rp 9,804,841,795.01	Rp 12,320,759,508.97
PEMBULATAN		Rp 9,804,842,000.00	Rp 12,320,760,000.00

Setelah didapat harga total RAB Minimum – Maksimum untuk tinjauan prestasi 50% yang terdapat pada Tabel 1, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai standar deviasi, absolute error dan mencari jumlah iterasi.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}(\sum x_i^2 - n\bar{x}^2)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2-1}\{2,47936037E + 20 - (2 \times 11.062.800.651,99^2)\}}$$

$$\sigma = \text{Rp } 1.779.022.476,44$$

Dari perhitungan diatas diketahui untuk nilai n adalah jumlah jenis data yang diinput, pada simulasi Monte Carlo data yang diinputkan adalah data minimum dan maksimum. x_i^2 merupakan kuadrat dari total nilai RAB minimum dan maksimum. Jumlah total RAB minimum adalah Rp 9.804.841.795,02 dan jumlah total RAB maksimum adalah Rp 12.320.759.508,96 sehingga jumlah nilai kuadrat dari RAB minimum – maksimum adalah Rp 2,47936037E+20. Nilai \bar{x}^2 merupakan total harga minimum dan maksimum dari RAB kemudian dibagi 2 sehingga didapat hasil Rp 11.062.800.651,99. Sehingga didapat nilai standar deviasi awal sebesar Rp 1.779.022.476,44. Sedangkan nilai absolute error yang terjadi untuk tinjauan prestasi pekerjaan 50% adalah sebagai berikut:

$$\varepsilon = (\text{Relative error}) \times (\text{nilai yang diukur})$$

$$\varepsilon = 0,02 \times 11.062.800.651,99$$

$$\varepsilon = \text{Rp } 221.256.013,04$$

Untuk persen *relative error* diharapkan sebesar 2% [9] dan nilai yang diukur merupakan total harga minimum dan maksimum dari RAB kemudian dibagi 2 sehingga didapat hasil Rp 11.062.800.651,99 sehingga nilai *absolute error* didapatkan sebesar Rp 221.256.013,04. Nilai standar deviasi dan *absolute error* yang didapatkan untuk tinjauan prestasi 50%, 75% dan 100% ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Standar Deviasi dan *Absolute Error* (Hasil Penelitian, 2023)

Untuk Tinjauan Prestasi	Standar Deviasi	Absolute Error
50%	Rp 1,779,022,476.44	Rp 221,256,013.04
75%	Rp 2,696,555,895.84	Rp 335,369,122.29
100%	Rp 3,411,598,267.28	Rp 439,751,194.42

Pada Tabel 2 diketahui pada tinjauan prestasi 50% nilai standar deviasi sebesar Rp 1.779.022.476,44 dan untuk nilai *absolute error* sebesar Rp 221.256.013,04. Pada tinjauan prestasi 75% nilai standar deviasi sebesar Rp 2.696.555.895,84 dan untuk nilai *absolute error* sebesar Rp 335.369.122,29. Dan pada tinjauan prestasi 100% nilai standar deviasi sebesar Rp 3.411.598.267,28 dan untuk nilai *absolute error* sebesar Rp 439.751.194,42.

Untuk menghitung nilai iterasi pada setiap tinjauan prestasi pekerjaan, digunakan rumus perhitungan seperti berikut:

$$N = \left(\frac{3\sigma}{\epsilon}\right)^2$$

$$N = \left(\frac{3 \times 1.779.022.476,44}{221.256.013,04}\right)^2$$

$$N = \left(\frac{5.337.067.429,31}{221.256.013,04}\right)^2$$

N = 582 iterasi

Dimana σ merupakan standar deviasi dengan nilai Rp 1.779.022.476,44 dan ϵ merupakan nilai *absolute error* dengan nilai Rp 221.256.013,04 sehingga jumlah iterasi yang didapatkan untuk tinjauan prestasi 50% adalah sebanyak 582 iterasi. Jumlah iterasi yang didapatkan untuk tinjauan prestasi 50%, 75% dan 100% ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Jumlah Iterasi (Hasil Penelitian, 2023)

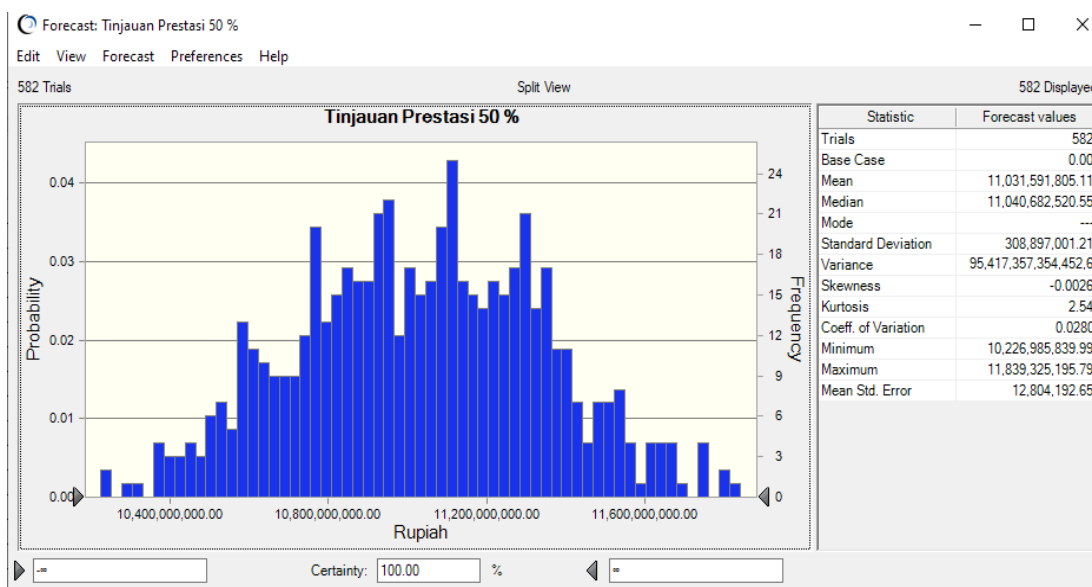
Untuk Tinjauan Prestasi	Jumlah Iterasi
50%	582
75%	582
100%	542

Pada Tabel 3 diketahui pada tinjauan prestasi 50% memiliki jumlah iterasi sebanyak 582 iterasi. Pada tinjauan prestasi 75% memiliki jumlah iterasi sebanyak 582 iterasi. Dan pada tinjauan prestasi 100% memiliki jumlah iterasi sebanyak 542 iterasi.

Setelah mendapatkan jumlah iterasi, tahapan selanjutnya adalah menjalankan simulasi Monte Carlo. Untuk bisa mendapatkan grafik frekuensi dan distribusi normal, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Input semua data harga satuan minimum – maksimum pada tinjauan prestasi 50%.
2. Memilih asumsi untuk setiap nilai harga satuan minimum – maksimum dengan memilih *Define Assumption* pada *toolbar*, kemudian pilih *Uniform Distribution*.

3. Memasukkan nilai harga satuan minimum – maksimum pada gambar *Uniform Distribution*.
4. Setelah menginput semua nilai harga satuan minimum – maksimum ke dalam perintah *Uniform Distribution*, jumlahkan semua *cell* tersebut kemudian pilihlah ikon *Define Forecast*.
5. Kemudian memasukkan jumlah iterasi pada kotak *trial* yang terdapat pada *toolbar*.
6. Kemudian pilih ikon *start* pada *toolbar* untuk memulai simulasi.



Gambar 1 Grafik Frekuensi dan Distribusi Normal untuk Tinjauan Prestasi 50%

Dari Gambar 2 dan Gambar 3 diketahui biaya yang akan dikeluarkan proyek pada tinjauan prestasi 50% sebagai berikut. Untuk nilai RAB Minimum sebesar Rp 10.226.985.839,99 dan RAB Maksimum sebesar Rp 11.839.325.195,79. Sedangkan untuk rerata biaya didapatkan sebesar Rp 11.031.591.805,11 dengan standar deviasi Rp 308.897.001,21.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Distribusi Normal Angka Random

Tinjauan Prestasi	50%
RAB Minimum	Rp 10,226,985,839.99
RAB Mean / Rerata	Rp 11,031,591,805.11
RAB Maksimum	Rp 11,839,325,195.79
Tinjauan Prestasi	75%
RAB Minimum	Rp 15,709,871,573.63
RAB Mean / Rerata	Rp 16,742,117,603.03
RAB Maksimum	Rp 17,807,772,170.79
Tinjauan Prestasi	100%
RAB Minimum	Rp 20,814,742,280.26
RAB Mean / Rerata	Rp 21,981,246,725.01
RAB Maksimum	Rp 23,300,454,966.54

Pada Tabel 4 telah disajikan hasil perhitungan distribusi normal pada angka random menggunakan *software* Crystall Ball untuk setiap tinjauan prestasi pekerjaan 50%, 75% dan

100%. Pada tinjauan prestasi proyek 50% didapat nilai RAB Minimum sebesar Rp 10.226.985.839,99, RAB Mean/Rerata sebesar Rp 11.031.591.805,11 dan RAB Maksimum sebesar Rp 11.839.325.195,79. Pada tinjauan prestasi proyek 75% didapat nilai RAB Minimum sebesar Rp 10.226.985.839,99, RAB Mean/Rerata sebesar Rp 11.031.591.805,11 dan RAB Maksimum sebesar Rp 11.839.325.195,79. Dan pada tinjauan prestasi proyek 100% didapat nilai RAB Minimum sebesar Rp 10.226.985.839,99, RAB Mean/Rerata sebesar Rp 11.031.591.805,11 dan RAB Maksimum sebesar Rp 11.839.325.195,79.

Perhitungan BCWP dan BCWS menggunakan metode Monte Carlo

Hasil analisis data dengan konsep nilai hasil (*earned value*) disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut.

Tabel 5. Bobot BCWP, Nilai BCWP Minimum dan Nilai BCWP Maksimum

Minggu ke-	Bobot BCWP	BCWP Minimum	BCWP Maksimum
1	0.077%	Rp 15,072,900.50	Rp 18,940,599.55
2	0.064%	Rp 12,528,125.09	Rp 15,742,835.99
3	0.339%	Rp 66,359,912.58	Rp 83,387,834.40
4	0.659%	Rp 129,000,538.02	Rp 162,102,014.37
5	0.610%	Rp 119,408,692.25	Rp 150,048,905.56
6	1.541%	Rp 301,653,761.91	Rp 379,057,972.90
7	2.045%	Rp 400,312,746.98	Rp 503,032,806.35
8	0.433%	Rp 84,760,596.30	Rp 106,510,124.77
9	0.481%	Rp 94,156,690.12	Rp 118,317,251.76
10	0.969%	Rp 189,683,643.92	Rp 238,356,376.21
11	0.691%	Rp 135,264,600.57	Rp 169,973,432.36
12	0.859%	Rp 168,150,928.93	Rp 211,298,376.85
13	0.683%	Rp 133,698,584.93	Rp 168,005,577.87
14	0.300%	Rp 58,725,586.35	Rp 73,794,543.72
15	0.124%	Rp 24,273,242.36	Rp 30,501,744.74
16	1.473%	Rp 288,342,629.00	Rp 362,331,209.66
17	0.924%	Rp 180,874,805.97	Rp 227,287,194.65
18	1.207%	Rp 236,272,609.10	Rp 296,900,047.56
19	2.238%	Rp 438,092,874.20	Rp 550,507,296.14
Total	15.72%	Rp 3,076,633,469.10	Rp 3,866,096,145.40

Pada Tabel 5 didapatkan nilai BCWP Minimum dan Maksimum yang dapat dicari dengan rumus:

$$BCWP \text{ Min} = \% \text{Bobot Realisasi} \times \text{Total RAB Minimum} \tag{16}$$

$$BCWP \text{ Maks} = \% \text{Bobot Realisasi} \times \text{Total RAB Maksimum} \tag{17}$$

Setelah didapat nilai BCWP Minimum dan BCWP Maksimum, maka dapat dihitung standar deviasi dan *absolute error* nya. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum x_i^2 - n\bar{x}^2)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2-1} \{(2,44123729E + 19 - (2 \times 3.471.364.807,25^2)\}}$$

$$\sigma = Rp\ 558.234.411,91$$

Dari perhitungan diatas diketahui untuk nilai n adalah jumlah jenis data yang diinput, pada simulasi Monte Carlo data yang diinputkan adalah data minimum dan maksimum. x_i^2 merupakan kuadrat dari total nilai BCWP minimum dan maksimum. Jumlah total BCWP minimum adalah Rp 3.076.633.469,10 dan jumlah total BCWP maksimum adalah Rp 3.866.096.145,40 sehingga jumlah nilai kuadrat dari BCWP minimum – maksimum adalah Rp 2,44123729+19. Nilai \bar{x}^2 merupakan total harga minimum dan maksimum dari BCWP kemudian dibagi 2 sehingga didapat hasil Rp 3.471,364.807,25. Sehingga didapat nilai standar deviasi awal sebesar Rp 558.234.411,91. Sedangkan nilai *absolute error* adalah sebagai berikut:

$$\varepsilon = (\text{Relative error}) \times (\text{nilai yang diukur})$$

$$\varepsilon = 0,02 \times 3.471.364.807,25$$

$$\varepsilon = 69.427.296,14$$

Untuk persen *relative error* diharapkan sebesar 2% dan nilai yang diukur merupakan total BCWP minimum dan maksimum kemudian dibagi 2 sehingga didapat hasil Rp 3.471.364.807,25 sehingga nilai *absolute error* didapatkan sebesar Rp 69.427.296,14. Untuk menghitung nilai iterasi pada setiap BCWP per minggu, digunakan rumus perhitungan seperti berikut:

$$N = \left(\frac{3\sigma}{\varepsilon}\right)^2$$

$$N = \left(\frac{3 \times 558.234.411,91}{69.427.296,14}\right)^2$$

$$N = \left(\frac{1.674.703.235,72}{69.427.296,14}\right)^2$$

$$N = 582 \text{ iterasi}$$

Tabel 6. Bobot BCWS, Nilai BCWS Minimum dan Nilai BCWS Maksimum

Minggu ke-	Bobot BCWS	BCWS Minimum	BCWS Maksimum
1	0.055%	Rp 10,766,357.50	Rp 13,528,999.68
2	0.055%	Rp 10,766,357.50	Rp 13,528,999.68
3	0.643%	Rp 125,868,506.75	Rp 158,166,305.37
4	0.643%	Rp 125,868,506.75	Rp 158,166,305.37
5	1.230%	Rp 240,774,904.05	Rp 302,557,629.24

6	1.485%	Rp 290,691,652.45	Rp 365,282,991.41
7	1.148%	Rp 224,723,243.78	Rp 282,387,120.63
8	1.715%	Rp 335,714,601.99	Rp 421,858,808.26
9	1.827%	Rp 357,638,820.90	Rp 449,408,771.24
10	1.827%	Rp 357,638,820.90	Rp 449,408,771.24
11	1.834%	Rp 359,009,084.58	Rp 451,130,643.93
12	1.962%	Rp 384,065,334.76	Rp 482,616,315.92
13	1.954%	Rp 382,499,319.12	Rp 480,648,461.42
Minggu ke-	Bobot BCWS	BCWS Minimum	BCWS Maksimum
14	2.325%	Rp 455,123,294.24	Rp 571,907,713.82
15	3.044%	Rp 595,868,949.54	Rp 748,768,636.93
16	4.617%	Rp 903,786,773.99	Rp 1,135,698,027.82
17	0.909%	Rp 177,938,526.65	Rp 223,597,467.47
18	3.718%	Rp 727,805,766.88	Rp 914,560,378.48
19	5.433%	Rp 1,063,520,368.87	Rp 1,336,419,186.74
Total	36.42%	Rp 7,130,069,191.22	Rp 8,959,641,534.64

Pada Tabel 6 didapatkan nilai BCWS Minimum dan Maksimum yang dapat dicari dengan rumus:

$$BCWS \text{ Min} = \% \text{Bobot Rencana} \times \text{Total RAB Minimum} \quad (18)$$

$$BCWS \text{ Maks} = \% \text{Bobot Rencana} \times \text{Total RAB Maksimum} \quad (19)$$

Setelah didapat nilai BCWS Minimum dan BCWS Maksimum, maka dapat dihitung standar deviasi dan *absolute error* nya. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum x_i^2 - n\bar{x}^2)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2-1} \{(1,31113063E + 20 - (2 \times 8.044.855.362,93^2)\}}$$

$$\sigma = \text{Rp } 1.293.703.010,71$$

Dari perhitungan diatas diketahui untuk nilai n adalah jumlah jenis data yang diinput, pada simulasi Monte Carlo data yang diinputkan adalah data minimum dan maksimum. x_i^2 merupakan kuadrat dari total nilai BCWS minimum dan maksimum. Jumlah total BCWS minimum adalah Rp 7.130.069.191,22 dan jumlah total BCWS maksimum adalah Rp 8.959.641.534,64 sehingga jumlah nilai kuadrat dari BCWS minimum – maksimum adalah Rp 1,31113063E+20. Nilai \bar{x}^2 merupakan total harga minimum dan maksimum dari BCWS kemudian dibagi 2 sehingga didapat hasil Rp 8.044.855.362,93. Sehingga didapat nilai standar deviasi awal sebesar Rp 1.293.703.010,71. Sedangkan nilai *absolute error* adalah sebagai berikut:

$$\varepsilon = (\text{Relative error}) \times (\text{nilai yang diukur})$$

$$\varepsilon = 0,02 \times 8.044.855.362.93$$

$$\varepsilon = 160.897.107,26$$

Untuk persen *relative error* diharapkan sebesar 2% dan nilai yang diukur merupakan total BCWS minimum dan maksimum kemudian dibagi 2 sehingga didapat hasil Rp 8.044.855.362,93 sehingga nilai *absolute error* didapatkan sebesar Rp 160.897.107,26. Untuk menghitung nilai iterasi pada setiap BCWS per minggu, digunakan rumus perhitungan seperti berikut:

$$N = \left(\frac{3\sigma}{\varepsilon}\right)^2$$

$$N = \left(\frac{3 \times 1.293.703.010,71}{160.897.107,26}\right)^2$$

$$N = \left(\frac{3.881.109.032,12}{160.897.107,26}\right)^2$$

$$N = 582 \text{ iterasi}$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diatas setelah itu memasukkan nilai BCWP minimum maksimum ke dalam *software* Crystall Ball. Lalu dilanjutkan memilih asumsi untuk setiap BCWP per minggu dengan memilih *Define Assumption* pada *toolbar* kemudian pilih *Uniform Distribution*. Lakukan langkah ini pada masing-masing BCWP dan BCWS tiap minggu. Sehingga didapatkan hasil seperti yang tercantum pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai BCWP Mean dan Nilai BCWS Mean (Hasil Penelitian, 2023)

Minggu ke-	BCWP Mean	BCWS Mean
1	Rp 16,991,966.07	Rp 12,148,357.58
2	Rp 14,144,831.54	Rp 12,213,120.55
3	Rp 75,081,577.86	Rp 141,984,986.47
4	Rp 145,127,413.89	Rp 141,870,497.27
5	Rp 134,564,348.46	Rp 272,194,777.56
6	Rp 340,250,619.65	Rp 327,246,261.74
7	Rp 451,533,457.73	Rp 252,988,413.61
8	Rp 95,648,428.85	Rp 379,552,579.21
9	Rp 106,460,229.82	Rp 403,671,862.32
10	Rp 214,153,060.56	Rp 401,223,555.33
11	Rp 153,220,450.98	Rp 404,749,270.97
12	Rp 189,388,558.76	Rp 431,527,774.19
13	Rp 150,096,192.09	Rp 431,377,315.93
14	Rp 66,057,240.02	Rp 515,139,442.82
15	Rp 27,306,651.31	Rp 675,014,324.72
16	Rp 325,470,724.15	Rp 1,026,169,951.45
17	Rp 203,588,509.63	Rp 200,524,697.91
18	Rp 265,976,160.25	Rp 817,104,895.34

19	Rp 493,321,170.24	Rp 1,205,419,401.81
Total	Rp 3,468,381,591.86	Rp 8,052,121,486.78

Pada Tabel 7 terdapat nilai BCWP dan BCWS secara mean yang didapat dari simulasi Monte Carlo menggunakan *software* Crystall Ball. Pada minggu ke-19 diketahui untuk nilai BCWP adalah sebesar Rp 493.321.170,24 dan untuk nilai BCWS adalah sebesar Rp 1.205.419.401,81.

Perhitungan SV, SPI dan TE

Dari nilai BCWP Mean dan BCWS Mean per minggu yang terdapat pada **Tabel 7**, maka dapat dilakukan perhitungan untuk SV, SPI dan TE pada minggu ke 19. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$SV = BCWP - BCWS \tag{20}$$

$$SV = Rp\ 493.321.170,24 - Rp\ 1.205.419.401,81$$

$$SV = -Rp\ 712.098.231,57$$

Dari perhitungan yang sudah dilakukan diatas, didapat nilai SV sebesar -Rp 712.098.231,57. Diketahui bahwa nilai $SV < 0$, menandakan bahwa proyek tersebut terlambat dari jadwal yang direncanakan.

$$SPI = BCWP \div BCWS \tag{21}$$

$$SPI = Rp\ 493.321.170,24 \div Rp\ 1.205.419.401,81$$

$$SPI = 0,409$$

Berdasarkan perhitungan untuk nilai SPI, didapatkan nilai SPI sebesar 0,409. Diketahui bahwa nilai $SPI < 1$, menandakan bahwa kinerja proyek tersebut terhambat.

$$TE = ATE + \frac{(OD - (ATE \times SPI))}{SPI} \tag{22}$$

$$TE = 133 + \frac{(208 - (133 \times 0,409))}{0,409}$$

$$TE = 508,243\ \text{hari}$$

$$= 508\ \text{hari}$$

Untuk nilai TE pada minggu ke-19 didapatkan sebesar 505 hari atau 73 minggu, yang berarti proyek ini diprediksikan selesai lebih lama 43 minggu dari jadwal yang direncanakan.

Tabel 8. Nilai SV, SPI dan TE (Hasil Penelitian, 2023)

Minggu ke-	SV	SPI	TE
1	Rp 4,843,608.49	1.399	148.709
2	Rp 1,931,710.99	1.158	179.594
3	-Rp 66,903,408.61	0.529	393.344
Minggu ke-	SV	SPI	TE
4	Rp 3,256,916.62	1.023	203.332
5	-Rp 137,630,429.10	0.494	420.739

6	Rp	13,004,357.91	1.040	200.050
7	Rp	198,545,044.12	1.785	116.540
8	-Rp	283,904,150.36	0.252	825.387
9	-Rp	297,211,632.50	0.264	788.687
10	-Rp	187,070,494.77	0.534	389.696
11	-Rp	251,528,819.99	0.379	549.456
12	-Rp	242,139,215.43	0.439	473.935
13	-Rp	281,281,123.84	0.348	597.793
14	-Rp	449,082,202.80	0.128	1622.063
15	-Rp	647,707,673.41	0.040	5141.714
16	-Rp	700,699,227.30	0.317	655.799
17	Rp	3,063,811.72	1.015	204.870
18	-Rp	551,128,735.09	0.326	638.996
19	-Rp	712,098,231.57	0.409	508.243

Pada Tabel 8 dapat dilihat proyek mulai mengalami keterlambatan dan penurunan kinerja dimulai dari minggu ke 3 dan minggu ke 5. Kemudian mengalami keterlambatan dan penurunan kinerja secara berturut-turut dimulai dari minggu ke 8 hingga minggu ke 16. Dan pada minggu ke 15 dapat diprediksikan proyek akan selesai dalam 5142 hari, tetapi pada minggu ke 17 terjadi peningkatan kinerja sehingga memiliki nilai SPI sebesar 1,015. Dan pada minggu ke 19 diramalkan proyek akan selesai dalam 508 hari, serta memiliki nilai SPI sebesar 0,409

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data yang dengan menggunakan metode Monte Carlo pada Konsep Nilai Hasil pada proyek pembangunan jalan XYZ di Provinsi Jawa Timur, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Estimasi biaya proyek untuk setiap tinjauan prestasi 50%, 75% dan 100% adalah sebesar Rp 11.031.591.805,11, Rp 16.742.117.603,03 dan Rp 21,981,246,725.01.
- 2) Diketahui untuk nilai Schedule Performance Index (SPI) pada minggu ke-19 adalah sebesar 0,409. Karena hasil $SPI < 1$, maka dapat disimpulkan bahwa proyek mengalami keterlambatan.
- 3) Dari hasil analisis Time Estimate (TE) pada minggu ke-19 diprediksikan proyek akan selesai dalam 508 hari atau 73 minggu. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberi *support* kepada penulis, sehingga jurnal ini bisa diterbitkan. Terutama untuk dosen pembimbing saya Ibu Zetta Rasullia Kamandang. Dan juga teman-teman jurusan Teknik Sipil UPN “Veteran” Jawa Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Priyo and N. A. Wibowo, “Konsep Earned Value dalam Aplikasi Pengelolaan Proyek Konstruksi,” *J. Ilm. Semesta Tek.*, vol. 11, no. 2, pp. 153–161, 2008, [Online]. Available: <https://journal.umy.ac.id/index.php/st/article/download/763/908>
- [2] I. Meliasari, M. Indrayadi, and Lusiana, “Earned Value Analysis Terhadap Biaya dan Waktu pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Proyek Pembangunan Sarana/Prasarana Pengamanan Pantai),” *JeLAST J. Tek. Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2013, doi: 10.26418/jelast.v2i2.3982.
- [3] R. Gumelar, “Analisis Metode Monte Carlo pada Konsep Nilai Hasil untuk Monitoring Proyek,” *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, 2015, [Online]. Available: <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/203>
- [4] M. W. L. Bulu, R. Balaka, and R. Sriyani, “Pengaplikasian Metode Earned Value Pada Pengendalian Waktu Terhadap Biaya (Studi Kasus: Proyek Penggantian Jembatan Sungai Langklome Cs Kabupaten Muna),” *STABILITA J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 3, pp. 359–372, 2014, doi: 10.55679/jts.v1i3.6753.
- [5] M. I. Maromi and R. Indryani, “Metode Eraned Value untuk Analisa Kinerja Biaya dan Waktu Pelaksanaan pada Proyek Pembangunan Condotel De Vasa Surabaya,” *J. Tek. ITS*, vol. 4, pp. 54–59, 2015, doi: 10.12962/j23373539.v4i1.8970.
- [6] Y. A. Messah, L. H. P. Lona, and D. A. T. Sina, “Pengendalian waktu dan biaya pekerjaan konstruksi sebagai dampak dari perubahan desain (Studi Kasus Embung Irigasi Oenaem, Kecamatan Biboki Selatan, Kabupaten Timor Tengah Utara),” *J. Tek. Sipil, Univ. Nusa Cendana Kupang*, vol. II, no. 2, pp. 121–132, 2013, [Online]. Available: <http://jurnalmanajemen.petra.ac.id/index.php/jurnal-teknik-sipil/article/view/18950>
- [7] A. Fadjar, “Monte Carlo Simulation Application in Project Cost Estimation,” *SMARTek*, vol. 6, no. 4, pp. 222–227, 2008, [Online]. Available: <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/SMARTEK/article/view/486>
- [8] A. De Marco, *Project Management for Facility Construction : A Guide for Engineers and Architects, Second Edition*, 2nd ed. Turin: Springer, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-75432-1.
- [9] Z. R. Kamandang, S. El Unas, and K. P. Negara, “Penilaian Risiko Finansial dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo (Studi Kasus Gedung STIKES Maharani Malang),” *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 286–297, 2014, [Online]. Available: <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/51>