



ANALISIS PENGENDALIAN WAKTU DAN BIAYA PEMBANGUNAN GEDUNG KULIAH TERPADU DI KOTA LHOKSEUMAWE

ANALYSIS OF CONSTRUCTION TIME AND COSTS OF INTEGRATED LECTURE BUILDINGS IN LHOKSEUMAWE CITY ACEH

Gestan Sianturi¹, Pio Ranap Tua Naibaho²

^{1,2}Universitas Tama Jagakarsa, Jl. TB Simatupang No.152 10, RT.10/RW.4, Tj. Bar., Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, 12530, Indonesia

Email: gestansianturi65@gmail.com

Received: 6 Agustus 2025 Revised: 18 Agustus 2025 Accepted: 16 September 2025 Published: 18 September 2025

ABSTRAK

Proyek konstruksi merupakan kegiatan kompleks yang keberhasilannya sangat ditentukan oleh ketepatan waktu dan efisiensi biaya. Namun dalam pelaksanaannya, sering terjadi keterlambatan dan pembengkakan anggaran yang berdampak pada menurunnya kinerja proyek. Untuk itu, dibutuhkan metode pengendalian yang mampu memberikan gambaran menyeluruh dan terukur terhadap aspek waktu dan biaya. Penelitian ini menganalisis kinerja waktu dan biaya pada proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Lhokseumawe, Aceh, dengan pendekatan Earned Value Management (EVM). Metode ini mengintegrasikan jadwal, anggaran, dan hasil fisik aktual untuk menghasilkan indikator kinerja yang objektif dan prediktif. Hasil analisis menunjukkan bahwa proyek secara umum efisien dalam aspek waktu dan biaya. Namun, pada minggu ke-12 hingga ke-18 ditemukan deviasi negatif yang menunjukkan keterlambatan dan pemborosan anggaran. Meskipun demikian, proyek tetap selesai sesuai jadwal dengan estimasi total biaya Rp. 27,84 miliar dan keuntungan sekitar Rp. 2,01 miliar atau 6,74% dari nilai proyek. Temuan ini membuktikan bahwa EVM efektif sebagai alat bantu manajemen proyek dalam memantau dan mengendalikan kinerja secara berkala, serta mampu mendeteksi potensi penyimpangan sejak dini. Dengan demikian, metode ini layak diterapkan pada proyek-proyek konstruksi skala menengah hingga besar.

Kata kunci: *Earned Value Management, Pengendalian, Waktu dan Biaya*

ABSTRACT

Construction projects are complex activities whose success is highly determined by time accuracy and cost efficiency. However, in practice, delays and cost overruns frequently occur, which negatively affect overall project performance. Therefore, a control method is needed that can provide a comprehensive and measurable overview of time and cost aspects. This study analyzes time and cost performance in the construction of the Integrated Lecture Building in Lhokseumawe, Aceh, using the Earned Value Management (EVM) approach. This method integrates schedules, budgets, and actual physical progress to produce objective and predictive performance indicators. The analysis results show that the project was generally efficient in terms of time and cost. However, during weeks 12 to 18, negative deviations were observed, indicating delays and cost overruns. Despite these issues, the project was completed on schedule with an estimated total cost of IDR 27.84 billion and a profit of approximately IDR 2.01 billion or 6.74% of the total project value. These findings demonstrate that EVM is effective as a project management tool for monitoring and controlling performance periodically, as well as for detecting potential deviations at an early stage. Therefore, this method is recommended for use in medium- to large-scale construction projects.

Keywords: *Earned Value Management, Project Control, Time and Cost*

PENDAHULUAN

Pembangunan gedung kuliah merupakan salah satu upaya strategis dalam mendukung peningkatan kualitas pendidikan tinggi di Indonesia. Proses pembangunan gedung kuliah melibatkan berbagai tahapan penting, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga pengawasan. Keberhasilan suatu proyek sangat ditentukan oleh kemampuan manajemen dalam mengelola sumber daya dan perencanaan yang baik setiap tahap pembangunan. Pentingnya manajemen waktu dan biaya dalam proyek pembangunan tidak dapat diabaikan ketika mempertimbangkan dampaknya terhadap keberlanjutan proyek dan keuntungan perusahaan.

Tiga tantangan utama dalam suatu proyek yaitu pengelolaan waktu, anggaran atau biaya, dan mutu. Manajemen waktu berperan penting dalam memastikan setiap tahapan proyek berjalan sesuai jadwal, sementara manajemen biaya bertujuan menjaga pengeluaran tetap dalam batas anggaran yang telah direncanakan. Pengendalian manajemen yang tidak tepat pada proyek konstruksi dapat mengakibatkan kerugian yang besar, menghabiskan waktu, dan menyebabkan proyek tidak berhasil (Issa dkk., 2023). Proyek konstruksi rentan terhadap pembengkakan biaya dan keterlambatan yang dapat berdampak signifikan pada profitabilitas dan kualitasnya. Terdapat enam faktor utama yang menyebabkan pembengkakan biaya dan keterlambatan dalam proyek konstruksi yaitu perencanaan proyek yang tidak memadai, komunikasi atau koordinasi yang buruk, perubahan dalam cakupan proyek, kurangnya tenaga kerja terampil, alokasi anggaran yang tidak memadai, dan keterlambatan pembayaran (Daoud dkk., 2023).

Hal yang paling utama untuk mencapai target suatu proyek supaya menguntungkan bagi perusahaan yaitu pengendalian biaya

dan waktu pelaksanaan proyek, dan identifikasi serangkaian opsi biaya dan waktu yang akan memberikan nilai minimum untuk durasi pekerjaan dan total biaya proyek (Toğan dkk., 2022). Tiga elemen utama dalam manajemen proyek adalah waktu, biaya, dan kualitas. Oleh karena itu keberhasilan proyek konstruksi sangat ditentukan oleh kemampuan untuk menyeimbangkan waktu pelaksanaan yang optimal, biaya yang efisien, dan kualitas hasil yang tinggi (Wang dkk., 2023). Kurangnya metode yang andal untuk memproyeksikan eskalasi biaya dalam jangka waktu panjang menimbulkan tantangan yang signifikan bagi proyek dengan durasi yang panjang. Ketiadaan metode yang andal dalam memperkirakan eskalasi biaya dalam jangka panjang menjadi tantangan signifikan, khususnya bagi proyek dengan durasi yang lama. Ketidakpastian terhadap fluktuasi harga material, upah tenaga kerja, dan faktor eksternal lainnya dapat mempersulit pengendalian biaya dan mengganggu jadwal proyek (Marco dkk., 2024). Kendala utama proyek yang harus diseimbangkan yaitu durasi waktu, biaya, dan sumber daya. Keberhasilan proyek dicapai dengan memilih alternatif terbaik untuk setiap aktivitas guna meminimalkan waktu dan biaya serta mengelola sumber daya secara efisien (Elkliny dkk., 2023).

Mengelola proyek konstruksi sangat penting untuk mengelola biaya dan waktu proyek secara efisien. Apabila terjadi keterlambatan dalam progres pekerjaan akan berdampak besar terhadap keseluruhan proyek. Oleh karena itu dibutuhkan metode yang efektif untuk mengoptimalkan kedua aspek tersebut selama pelaksanaan proyek (Muin dkk., 2023). Kurangnya estimasi biaya dan waktu yang akurat dalam proyek dapat menimbulkan konsekuensi finansial yang serius. Oleh karena itu, estimasi yang cermat sejak awal menjadi kunci untuk menjaga efisiensi dan keberhasilan pelaksanaan proyek secara keseluruhan (Regona dkk. 2022).

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

Pada pelaksanaan proyek konstruksi, waktu dan biaya merupakan dua aspek yang saling terkait. Setiap penambahan durasi akibat keterlambatan akan berdampak langsung pada peningkatan biaya yang harus dikeluarkan. Sebaliknya, fluktuasi biaya konstruksi juga dapat mempengaruhi jadwal pelaksanaan (Megawati dan Lirawati, 2021). Penambahan jam kerja merupakan salah satu cara untuk mempercepat penyelesaian proyek. Lembur dilakukan dengan memaksimalkan sumber daya yang sudah ada di tempat kerja, sehingga dapat mengurangi biaya tambahan bagi kontraktor. Namun, meningkatkan jumlah tenaga kerja tidak selalu memungkinkan, terutama jika sulit untuk merekrut pekerja yang berkualitas (Sanjaya dan Dofir, 2023).

Proyek konstruksi merupakan rangkaian kegiatan yang saling terkait untuk mencapai tujuan tertentu, baik berupa bangunan atau konstruksi, dengan batasan waktu, biaya, dan mutu. Oleh karena itu, diperlukan metode atau teknik pengendalian kinerja proyek seperti manajemen waktu dan biaya proyek (Sujarwo dan Oetomo, 2022). Pada proyek pembangunan terdapat dua faktor utama yang harus diperhitungkan yakni biaya dan waktu, karena keduanya sangat menentukan keberhasilan proyek. Seiring dengan kemajuan zaman, metode pelaksanaan proyek konstruksi juga semakin maju, sehingga setiap proyek dituntut untuk dapat diselesaikan tepat waktu dan sesuai anggaran (Riza dan Witjaksana, 2022). Apabila terjadi keterlambatan pelaksanaan proyek, langkah percepatan sebaiknya difokuskan pada pekerjaan-pekerjaan yang berada di lintasan kritis. Dengan mempercepat penyelesaian aktivitas kritis, waktu penyelesaian proyek dapat ditekan tanpa menambah biaya secara signifikan. Pendekatan ini memungkinkan pengendalian biaya dan waktu menjadi lebih optimal, serta mencegah keterlambatan yang berdampak pada efisiensi keseluruhan proyek (Hakim dkk., 2023). Pelaksanaan proyek tidak berjalan sesuai dengan yang direncanakan dapat disebabkan oleh

hambatan waktu dan biaya. Hambatan tersebut dapat dikendalikan dengan alternatif penambahan jam kerja dan tenaga kerja dengan proses *crashing* pada pekerjaan yang berada pada lintasan kritis (Gunawan dkk., 2024).

Menurut Simanjuntak dkk., (2023) menjelaskan bahwa dalam pelaksanaan proyek berbasis kontrak, memahami perbedaan antara estimasi biaya dan nilai kontrak sangat penting, terutama dalam kaitannya dengan pengelolaan waktu dan biaya proyek. Estimasi biaya merupakan proses teknis yang bersifat kuantitatif untuk menghitung seluruh kebutuhan biaya guna menyelesaikan proyek tepat waktu sesuai rencana. Sementara nilai kontrak adalah angka hasil keputusan bisnis yang tidak hanya mempertimbangkan estimasi biaya, durasi pelaksanaan proyek, serta margin keuntungan yang diharapkan. Perbedaan ini dapat mempengaruhi alokasi sumber daya dan jadwal proyek, sehingga berdampak langsung terhadap kinerja waktu dan pengendalian biaya selama pelaksanaan proyek. Proses analisis data dilakukan secara sistematis dengan mengklarifikasikan seluruh komponen biaya dalam suatu struktur rincian biaya (*cost breakdown structure*) (Nefrin dan Arifin, 2025)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi biaya dan waktu proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe Aceh, mengetahui indeks produktivitas biaya dan waktu proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe Aceh, mengetahui besar estimasi biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe Aceh, mengetahui besar perkiraan keuntungan dan kerugian pada proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe Aceh.

METODE

Guna mencapai pembangunan yang ideal, dibutuhkan manajemen proyek yang terstruktur agar proyek selesai tepat waktu dan sesuai anggaran. Pengendalian proyek dilakukan melalui evaluasi kinerja serta tindakan korektif. Salah satu metode efektif yaitu *Earned Value Analysis*, yang menganalisis kinerja biaya dan waktu (Mahapatni dkk., 2022). *Earned Value Analysis* mengkaji kecenderungan varians jadwal dan biaya dalam suatu periode selama proyek berlangsung, guna mengevaluasi kinerja pelaksanaan terhadap rencana awal (Indriani dkk., 2022). *Earned Value* merupakan metode untuk menghitung besarnya biaya berdasarkan anggaran yang direncanakan dan telah dilaksanakan (*Budgeted Cost of Work Performed*). Nilai ini mencerminkan volume pekerjaan yang telah diselesaikan, dihitung berdasarkan anggaran yang dialokasikan untuk pekerjaan tersebut, sehingga metode ini memungkinkan evaluasi kinerja proyek secara lebih objektif dan terukur (Sidiq dan Johari, 2022). Suatu proyek dapat dikatakan berhasil apabila penyelesaiannya efisien dari segi waktu, biaya, dan mutu. Pengendalian biaya dan waktu dapat dilakukan dengan metode *Earned Value Management* (Ashari dan Armono, 2023). Dalam analisis *Earned Value*, terdapat beberapa istilah penting yang umum digunakan, antara lain: *Cost Variance* (CV), *Schedule Variance* (SV), *Cost Performance Index* (CPI), *Schedule Performance Index* (SPI), *Estimate at Completion* (EAC), dan *Variance at Completion* (VAC).

1. Cost Variance (CV)

Secara matematis, *Cost Variance* (CV) dapat dihitung dengan Persamaan (1) berikut ini.

$$CV = BCWP - ACWP \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

CV : *Cost Variance*

BCWP : *Budgeted Cost for Work Performed*

ACWP : *Actual Cost for Work Performed*

2. Schedule Variance (SV)

Schedule Variance (SV) digunakan untuk mengukur sejauh mana kemajuan waktu pelaksanaan proyek sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan, dapat dihitung dengan Persamaan (2) di bawah ini.

$$SV = BCWP - BCWS \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

SV : *Schedule Variance*

BCWS : *Budgeted Cost for Work Scheduled*

3. Cost Performance Indeks (CPI)

Cost Performance Index (CPI) dapat dihitung dengan Persamaan (3) di bawah ini.

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

CPI : *Cost Performance Index*

4. Schedule Performance Indeks (SPI)

Schedule Performance Index (SPI) dapat dihitung dengan Persamaan (4) di bawah ini.

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

SPI : *Schedule Performance Index*

5. Estimate Temporary Cost (ETC)

Estimate Temporary Cost (ETC) dapat ditentukan dengan persamaan (5) berikut ini.

$$ETC = \frac{BAC - BCWP}{CPI} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

ETC : *Estimate Temporary Cost*

BAC : *Budget at Completion*

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

6. Estimate All Cost (EAC)

Estimate All Cost (EAC) dapat dihitung dengan Persamaan (6) di bawah ini.

$$EAC = ACWP + ETC \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

EAC : *Estimate All Cost*

ETC : *Estimate Temporary Schedule*

7. Estimate Temporary Schedule (ETS)

Estimate Temporary Schedule (ETS) dapat dihitung dengan Persamaan (7) berikut ini.

$$ETC = \frac{\text{Total durasi proyek} - \text{Waktu yang telah berlalu}}{SPI} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

ETC : *Estimate Temporary Schedule*

8. Estimate All Schedule (EAS)

Estimate All Schedule (EAS) adalah perkiraan total durasi proyek secara keseluruhan, dihitung berdasarkan kinerja waktu aktual yang terjadi hingga periode pelaporan. Dengan demikian, rumus umum EAS dapat dituliskan dengan Persamaan (8) sebagai berikut.

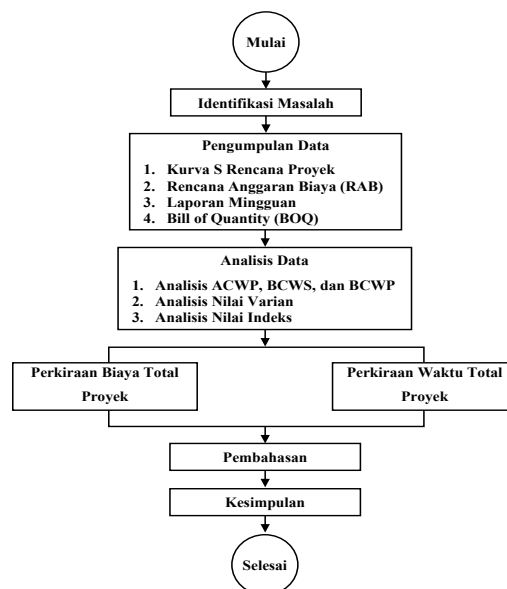
$$EAS = ETS + \text{Waktu yang telah berlalu} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

EAS : *Estimate All Schedule*

ETS : *Estimate Temporary Schedule*

Berikut ini merupakan urutan alur penelitian yang akan dilakukan penulis untuk menganalisis dan membahas pengendalian waktu dan biaya pembangunan gedung kuliah terpadu di kota Lhokseumawe Aceh yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

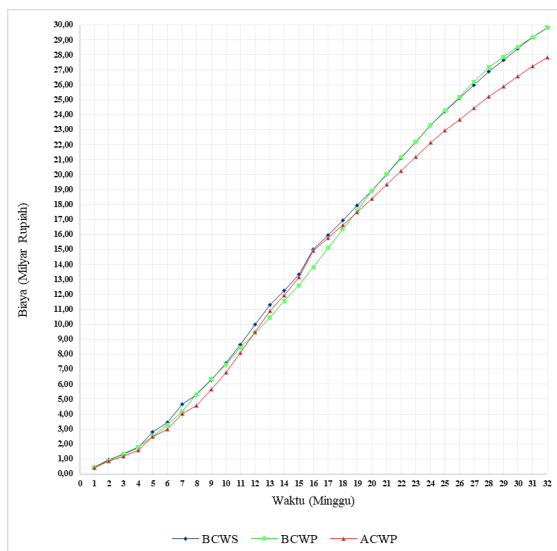
Ruang lingkup pekerjaan proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe Aceh meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan bangunan utama, pekerjaan fasade, pekerjaan pengadaan sanitair, pekerjaan *landscape*, pekerjaan MEP, pekerjaan tata udara dan penangkal petir, dan pekerjaan SMK3. Masing-masing item pekerjaan tersebut memiliki karakteristik teknis dan kompleksitas yang berbeda, yang secara langsung mempengaruhi perencanaan waktu dan alokasi biaya. Oleh sebab itu pengelolaan waktu dan biaya secara terintegrasi sangat penting dalam memastikan proyek dapat selesai sesuai jadwal dengan efisiensi anggaran yang optimal.

1. Analisis ACWP, BCWS dan BCWS

Actual Cost of Work Performance (ACWP) merupakan biaya nyata atau aktual yang telah dikeluarkan untuk pekerjaan yang benar-benar telah diselesaikan sampai kurun waktu tertentu dan berfungsi untuk mengukur kinerja biaya proyek. *Budgeted Cost of Work Performance (BCWP)* merupakan nilai anggaran yang dialokasikan untuk pekerjaan yang benar-benar telah

diselesaikan dalam kurun waktu tertentu dan berfungsi untuk mengukur nilai pekerjaan yang telah selesai. *Budgeted Cost of Work Schedule* (BCWS) merupakan nilai anggaran yang direncanakan untuk pekerjaan yang seharusnya sudah diselesaikan sampai pada kurun waktu tertentu berdasarkan jadwal proyek dan berfungsi untuk mengukur kinerja jadwal proyek.

Hasil analisis komponen BCWS, BCWP, dan ACWP pada proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe Aceh disajikan dalam kurva berikut pada Gambar 2.



Gambar 2. Curve Earned Value

Berdasarkan analisis terhadap biaya pelaksanaan pekerjaan pada proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe, Provinsi Aceh, diperoleh bahwa nilai BCWP (*Budgeted*

Cost of Work Performed) secara umum mengalami kenaikan yang stabil. Pada minggu ke-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20, hingga minggu ke 32, nilai BCWP tercatat berada di atas nilai BCWS (*Budgeted Cost of Work Scheduled*), yang mengindikasikan bahwa pelaksanaan pekerjaan pada minggu-minggu tersebut berjalan lebih cepat dari rencana. Sebaliknya, pada minggu ke-9 hingga minggu ke-16, nilai BCWP justru berada di bawah BCWS. Hal ini menunjukkan adanya keterlambatan dalam penyelesaian pekerjaan dibandingkan dengan jadwal yang telah direncanakan. Selain itu, pada minggu ke-9 hingga minggu ke-16, nilai ACWP (*Actual Cost of Work Performed*) tercatat lebih tinggi dibandingkan dengan BCWP dan BCWS, yang mengindikasikan terjadinya pemborosan biaya pada periode tersebut. Sementara itu, pada minggu ke-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20, hingga minggu ke 32, nilai ACWP berada di bawah BCWP dan BCWS, yang menunjukkan bahwa pekerjaan tidak hanya diselesaikan lebih cepat, tetapi juga dengan tingkat efisiensi biaya yang baik.

2. Analisis Varian

Mengukur sejauh mana pengeluaran sesuai dengan hasil pekerjaan yang dicapai dilakukan dengan analisis varian. Nilai variasi biaya atau *Cost Variance* (CV) digunakan untuk menghitung penyimpangan antara BCWP dan ACWP. Hasil perhitungan varian biaya berdasarkan *Cost Variance* (CV) pada minggu ke 1 hingga minggu ke 32 dijabarkan pada Tabel 1.

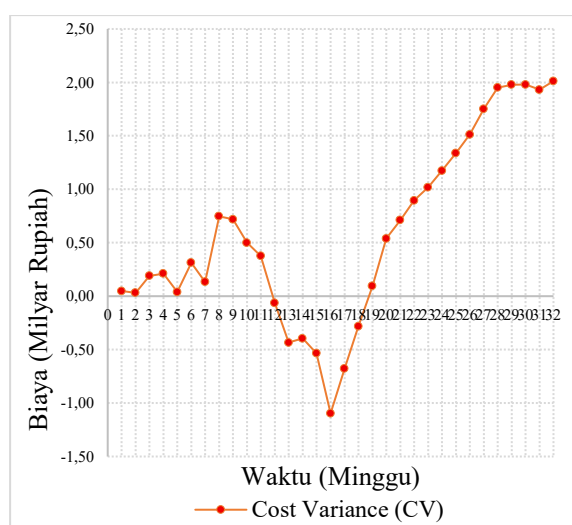
Tabel 1. Hasil Analisis Varian Biaya

| Minggu ke | Cost Variance (Rp) | Keterangan |
|-----------|--------------------|-------------------|
| 1 | 48.555.302,59 | Terjadi efisiensi |
| 2 | 32.097.028,01 | Terjadi efisiensi |
| 3 | 190.665.503,42 | Terjadi efisiensi |
| 4 | 211.496.423,40 | Terjadi efisiensi |
| 5 | 39.546.501,86 | Terjadi efisiensi |
| 6 | 312.498.347,08 | Terjadi efisiensi |
| 7 | 133.011.366,74 | Terjadi efisiensi |

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

| Minggu ke | Cost Variance (Rp) | Keterangan |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 8 | 747.725.209,42 | Terjadi efisiensi |
| 9 | 718.829.502,78 | Terjadi efisiensi |
| 10 | 500.069.294,01 | Terjadi efisiensi |
| 11 | 375.769.301,27 | Terjadi efisiensi |
| 12 | -64.772.079,66 | Terjadi pemborosan |
| 13 | -433.465.719,16 | Terjadi pemborosan |
| 14 | -395.001.586,17 | Terjadi pemborosan |
| 15 | -534.322.484,48 | Terjadi pemborosan |
| 16 | -1.096.636.115,39 | Terjadi pemborosan |
| 17 | -676.136.424,30 | Terjadi pemborosan |
| 18 | -281.565.825,57 | Terjadi pemborosan |
| 19 | 94.259.978,71 | Terjadi efisiensi |
| 20 | 539.201.247,65 | Terjadi efisiensi |
| 21 | 711.565.431,32 | Terjadi efisiensi |
| 22 | 895.470.725,04 | Terjadi efisiensi |
| 23 | 1.017.875.185,91 | Terjadi efisiensi |
| 24 | 1.174.470.251,31 | Terjadi efisiensi |
| 25 | 1.338.353.986,60 | Terjadi efisiensi |
| 26 | 1.512.978.563,39 | Terjadi efisiensi |
| 27 | 1.752.382.079,20 | Terjadi efisiensi |
| 28 | 1.950.835.091,87 | Terjadi efisiensi |
| 29 | 1.978.533.289,37 | Terjadi efisiensi |
| 30 | 1.979.808.244,17 | Terjadi efisiensi |
| 31 | 1.932.006.917,59 | Terjadi efisiensi |
| 32 | 2.012.168.941,76 | Terjadi efisiensi |

Berikut ini ditunjukkan Curve Cost Variance (CV) pada Gambar 3.



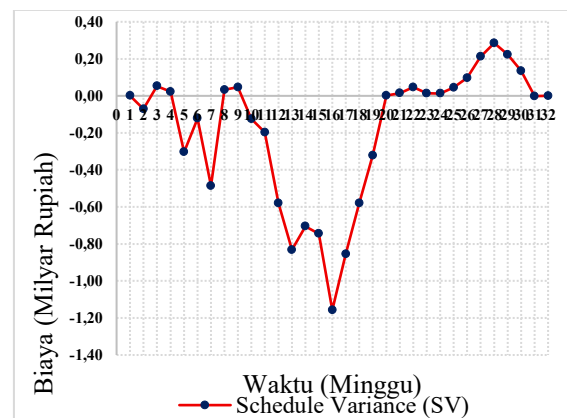
Gambar 3. Curve Cost Variance (CV)

Dari kurva *Cost Variance* (CV) di atas, terlihat bahwa nilai CV mengalami fluktuasi, dengan pola kenaikan dan penurunan seiring berjalannya waktu pelaksanaan proyek. Pada minggu ke-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 19, 20, hingga minggu ke 32, nilai CV menunjukkan angka positif, yang menandakan bahwa biaya aktual yang dikeluarkan lebih rendah dibandingkan dengan nilai pekerjaan yang telah diselesaikan. Hal ini mencerminkan adanya efisiensi biaya pada periode tersebut. Sebaliknya, pada minggu ke-12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, CV bernilai negatif, yang mengindikasikan bahwa biaya aktual melebihi nilai pekerjaan yang dicapai, sehingga terjadi pemborosan biaya pada periode tersebut. Hasil perhitungan varian jadwal berdasarkan *Schedule Variance* (SV) pada minggu ke 1 hingga minggu ke 32 dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Varian Waktu

| Minggu ke | Schedule Variance (Rp) | Keterangan |
|-----------|------------------------|--------------------|
| 1 | 1.071.434,96 | Ahead of schedule |
| 2 | -70.957.679,57 | Behind of schedule |
| 3 | 52.495.238,83 | Ahead of schedule |
| 4 | 22.195.225,23 | Ahead of schedule |
| 5 | -303.498.930,05 | Ahead of schedule |
| 6 | -121.757.666,21 | Behind of schedule |
| 7 | -486.255.706,49 | Behind of schedule |
| 8 | 32.780.865,36 | Ahead of schedule |
| 9 | 46.609.659,57 | Ahead of schedule |
| 10 | -124.626.228,49 | Behind of schedule |
| 11 | -197.359.946,95 | Behind of schedule |
| 12 | -580.524.745,35 | Behind of schedule |
| 13 | -832.164.682,23 | Behind of schedule |
| 14 | -704.720.511,89 | Behind of schedule |
| 15 | -744.431.538,43 | Behind of schedule |
| 16 | -1.157.256.843,75 | Behind of schedule |
| 17 | -854.404.558,05 | Behind of schedule |
| 18 | -580.595.487,82 | Behind of schedule |
| 19 | -322.815.406,99 | Behind of schedule |
| 20 | 1.617.808,59 | Ahead of schedule |
| 21 | 14.190.835,95 | Ahead of schedule |
| 22 | 46.165.805,81 | Ahead of schedule |
| 23 | 13.368.136,88 | Ahead of schedule |
| 24 | 12.509.050,20 | Ahead of schedule |
| 25 | 44.541.283,20 | Ahead of schedule |
| 26 | 96.870.932,96 | Ahead of schedule |
| 27 | 211.883.781,55 | Ahead of schedule |
| 28 | 285.107.830,92 | Ahead of schedule |
| 29 | 223.084.107,31 | Ahead of schedule |
| 30 | 135.091.629,89 | Ahead of schedule |
| 31 | -2.151.932,33 | Behind of schedule |
| 32 | 0,00 | On schedule |

Berikut ini adalah *Curve Schedule Variance (SV)* yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. *Curve Schedule Variance (SV)*

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

Dari kurva *Schedule Variance* (SV) di atas, terlihat bahwa terjadi sedikit kenaikan nilai SV pada minggu ke 3, 4, 8, 9. Namun, pada minggu ke 2, 5, 6, 7, 10, hingga minggu ke 19 dan 31, nilai SV mengalami penurunan hingga melewati angka nol, yang menandakan keterlambatan dalam pelaksanaan pekerjaan. Penurunan nilai SV pada periode tersebut disebabkan oleh kurangnya suplai material untuk pekerjaan lantai atap, sehingga menghambat progres pekerjaan lainnya. Selanjutnya, nilai SV kembali menunjukkan tren peningkatan dari minggu ke 20, hingga minggu ke 30, mencerminkan perbaikan dalam pelaksanaan dan ketepatan waktu

penyelesaian pekerjaan sesuai dengan rencana.

3. Analisis Indeks

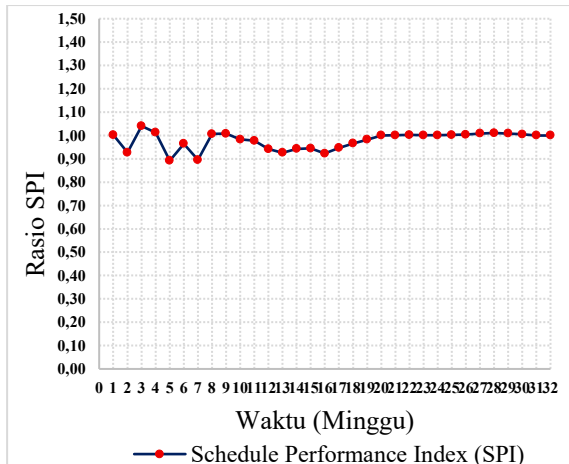
Pada penelitian ini, indikator yang digunakan untuk menentukan seberapa efisien waktu yang digunakan dalam melaksanakan pekerjaan proyek yaitu *Schedule Performance Index* (SPI). SPI dihitung dengan perbandingan antara nilai pekerjaan yang telah diselesaikan (BCWP) dengan nilai pekerjaan yang seharusnya diselesaikan sesuai jadwal (BCWS). Hasil perhitungan *Schedule Performance Index* (SPI) dari minggu ke 1 hingga minggu ke 32 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Indeks Produktivitas Waktu

| Minggu ke | <i>Schedule Performance Index</i> (SPI) |
|-----------|---|
| 1 | 1,002397 |
| 2 | 0,926845 |
| 3 | 1,040366 |
| 4 | 1,012457 |
| 5 | 0,891960 |
| 6 | 0,964384 |
| 7 | 0,895542 |
| 8 | 1,006192 |
| 9 | 1,007394 |
| 10 | 0,983220 |
| 11 | 0,977172 |
| 12 | 0,941957 |
| 13 | 0,926249 |
| 14 | 0,942509 |
| 15 | 0,944232 |
| 16 | 0,922777 |
| 17 | 0,946451 |
| 18 | 0,965749 |
| 19 | 0,981990 |
| 20 | 1,000086 |
| 21 | 1,000708 |
| 22 | 1,002187 |
| 23 | 1,000602 |
| 24 | 1,000537 |
| 25 | 1,001837 |
| 26 | 1,003857 |
| 27 | 1,008150 |
| 28 | 1,010602 |
| 29 | 1,008066 |

| Minggu ke | Schedule Performance Index (SPI) |
|-----------|----------------------------------|
| 30 | 1,004753 |
| 31 | 0,999926 |
| 32 | 1,000000 |

Curve Schedule Performance Index (SPI) dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Curve Schedule Performance Index (SPI)

Berdasarkan tabel dan kurva di atas, indeks produktivitas jadwal minggu ke 1, 3, 4, 8, 9, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, dan 30 menunjukkan nilai SPI berada di atas angka 1, artinya indeks produktivitas pekerjaan terealisasi dikerjakan lebih cepat dari jadwal rencana. Kemudian pada minggu

ke 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, dan 31 menunjukkan nilai SPI turun tajam di bawah angka 1, artinya indeks produktivitas pekerjaan dikerjakan lebih lama dari jadwal rencana. Namun pada minggu akhir yaitu minggu 32 menunjukkan nilai SPI di tepat di angka 1, artinya indeks produktivitas pekerjaan terealisasi dikerjakan sesuai dengan jadwal rencana. Pada minggu ke 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, dan 31 terjadi penurunan disebabkan karena keterlambatan pekerjaan beton bertulang sehingga mempengaruhi pekerjaan pasangan bata, penutup lantai, plafond, dan pengecatan. Indikator yang digunakan untuk menunjukkan efisiensi penggunaan biaya dalam kurun waktu yang ditentukan adalah *Cost Performance Index* (CPI). Indikator ini digunakan untuk mengukur sejauh mana anggaran proyek telah dimanfaatkan secara efektif. CPI dihitung dengan membandingkan nilai pekerjaan yang telah diselesaikan (BCWP) dengan biaya yang telah dikeluarkan (ACWP). Hasil perhitungan CPI dari minggu ke 1 hingga minggu ke 32 disajikan pada Tabel 4.

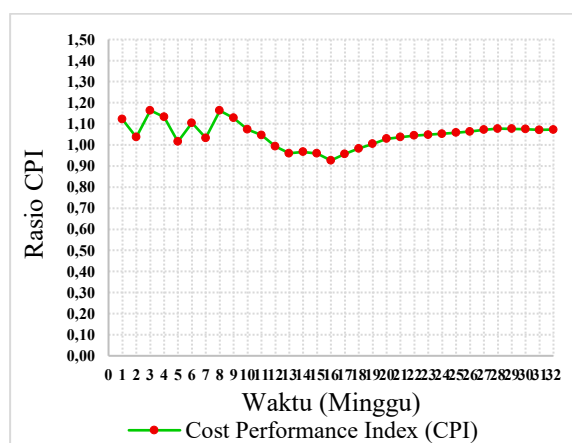
Tabel 4. Hasil Analisis Indeks Produktivitas Biaya

| Minggu ke | Cost Performance Index (CPI) |
|-----------|------------------------------|
| 1 | 1,121559 |
| 2 | 1,037025 |
| 3 | 1,164041 |
| 4 | 1,132815 |
| 5 | 1,016036 |
| 6 | 1,104711 |
| 7 | 1,032958 |
| 8 | 1,163279 |
| 9 | 1,127637 |
| 10 | 1,073514 |
| 11 | 1,046549 |
| 12 | 0,993172 |

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

| Minggu ke | Cost Performance Index (CPI) |
|-----------|------------------------------|
| 13 | 0,960177 |
| 14 | 0,966941 |
| 15 | 0,959332 |
| 16 | 0,926525 |
| 17 | 0,957145 |
| 18 | 0,983091 |
| 19 | 1,005384 |
| 20 | 1,029336 |
| 21 | 1,036787 |
| 22 | 1,044203 |
| 23 | 1,048029 |
| 24 | 1,053043 |
| 25 | 1,058319 |
| 26 | 1,063845 |
| 27 | 1,071646 |
| 28 | 1,077336 |
| 29 | 1,076386 |
| 30 | 1,074500 |
| 31 | 1,070902 |
| 32 | 1,072284 |

Curve Cost Performance Indeks (CPI) dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Curve Cost Performance Indeks (CPI)

Terlihat bahwa pada minggu ke 12 hingga minggu ke 18 pelaksanaan proyek menunjukkan adanya pemborosan anggaran, yang ditandai dengan biaya yang dikeluarkan melebihi anggaran yang telah direncanakan. Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi biaya pada periode tersebut berada pada tingkat yang rendah, yang dapat

disebabkan oleh berbagai faktor seperti keterlambatan pekerjaan, penggunaan sumber daya yang kurang optimal, atau kendala teknis lainnya. Sebaliknya pada minggu lainnya, proyek menunjukkan kinerja biaya yang lebih baik, di mana pengeluaran aktual berada di bawah anggaran yang ditetapkan. Kondisi ini mencerminkan adanya efisiensi dalam pengelolaan biaya atau pengendalian yang lebih efektif terhadap aktivitas proyek.

4. Perkiraan Waktu

Perkiraan waktu untuk menyelesaikan pekerjaan yang tersisa atau yang dikenal dengan *Estimate Temporary Schedule* (ETS), merupakan salah satu indikator penting dalam pengendalian waktu proyek. ETS dihitung dengan cara membandingkan antara sisa waktu pelaksanaan berdasarkan rencana awal dengan nilai *Schedule Performance Index* (SPI), yang mencerminkan efisiensi waktu pelaksanaan aktual terhadap rencana melalui metode ini dapat diperoleh gambaran aktual mengenai waktu penyelesaian pekerjaan yang masih

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

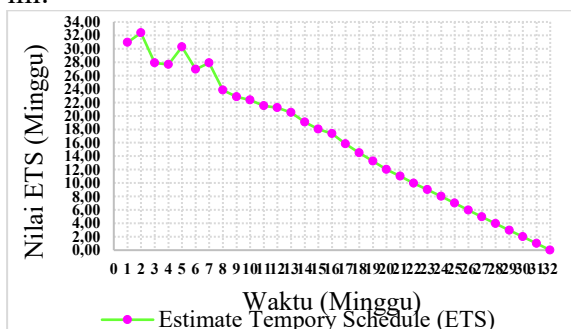
diselesaikan. Adapun hasil perhitungan minggu ke 1 hingga minggu ke 32 disajikan *Estimate Temporary Schedule* (ETS) dari pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Indeks Produktivitas Waktu

| Minggu ke | <i>Estimate Temporary Schedule</i> (Minggu) |
|------------------|--|
| 1 | 30,925860 |
| 2 | 32,367880 |
| 3 | 27,874797 |
| 4 | 27,655490 |
| 5 | 30,270419 |
| 6 | 26,960205 |
| 7 | 27,916070 |
| 8 | 23,852315 |
| 9 | 22,831195 |
| 10 | 22,375459 |
| 11 | 21,490578 |
| 12 | 21,232399 |
| 13 | 20,512836 |
| 14 | 19,097960 |
| 15 | 18,004043 |
| 16 | 17,338967 |
| 17 | 15,848673 |
| 18 | 14,496521 |
| 19 | 13,238424 |
| 20 | 11,998974 |
| 21 | 10,992216 |
| 22 | 9,978176 |
| 23 | 8,994583 |
| 24 | 7,995708 |
| 25 | 6,987162 |
| 26 | 5,976945 |
| 27 | 4,959582 |
| 28 | 3,958036 |
| 29 | 2,975996 |
| 30 | 1,990538 |
| 31 | 1,000074 |
| 32 | 0,000000 |

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

Curve Estimate Temporary Schedule (ETS) ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Curve Estimate Temporary Schedule (ETS)

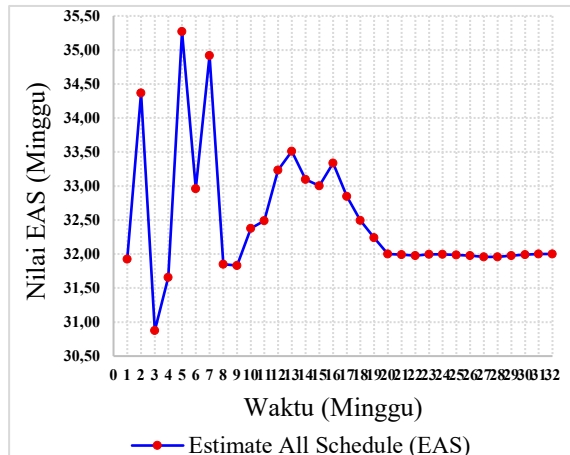
Dari hasil analisis *estimate temporary schedule* (ETS) seperti pada tabel di atas, pada minggu ke 1 hingga minggu ke 32 menunjukkan nilai ETC cenderung menurun artinya pekerjaan proyek berlangsung sesuai dengan yang direncanakan. Total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan hingga akhir proyek atau *Estimate All Schedule* (EAS) dengan perhitungan dari minggu ke 1 hingga minggu ke 32 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis Indeks Produktivitas Waktu Total

| Minggu ke | Estimate All Schedule (Minggu) |
|-----------|--------------------------------|
| 1 | 31,925860 |
| 2 | 34,367880 |
| 3 | 30,874797 |
| 4 | 31,655490 |
| 5 | 35,270419 |
| 6 | 32,960205 |
| 7 | 34,916070 |
| 8 | 31,852315 |
| 9 | 31,831195 |
| 10 | 32,375459 |
| 11 | 32,490578 |
| 12 | 33,232399 |
| 13 | 33,512836 |
| 14 | 33,097960 |
| 15 | 33,004043 |
| 16 | 33,338967 |
| 17 | 32,848673 |
| 18 | 32,496521 |
| 19 | 32,238424 |
| 20 | 31,998974 |
| 21 | 31,992216 |
| 22 | 31,978176 |
| 23 | 31,994583 |
| 24 | 31,995708 |
| 25 | 31,987162 |
| 26 | 31,976945 |
| 27 | 31,959582 |
| 28 | 31,958036 |
| 29 | 31,975996 |
| 30 | 31,990538 |
| 31 | 32,000074 |

| | |
|------------------|--|
| Minggu ke | <i>Estimate All Schedule (Minggu)</i> |
| 32 | 32,000000 |

Curve Estimate All Schedule (EAS) ditunjukkan pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. *Curve Estimate All Schedule (EAS)*

Hasil dari analisis EAS seperti pada tabel diatas menunjukkan nilai yang bervariasi tiap minggu. Nilai EAS tertinggi terjadi pada periode pelaporan minggu ke 5,

yaitu sekitar 36 minggu, yang mencerminkan proyeksi keterlambatan signifikan jika tren kinerja saat itu berlanjut. Namun demikian, total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan hingga akhir proyek tetap berada pada angka 32 minggu. Apabila tidak dilakukan pengendalian yang tepat pada minggu ke 4, maka potensi keterlambatan tersebut bisa menjadi kenyataan dan berdampak pada mundurnya jadwal penyelesaian proyek.

5. Perkiraan Biaya

Perkiraan biaya untuk pekerjaan tersisa atau *Estimate Temporary Cost (ETC)* ditentukan dengan mengurangi total anggaran dengan nilai pekerjaan yang telah diselesaikan (BCWP) kemudian dibagi dengan nilai indeks prestasi kinerja proyek (CPI). Perkiraan biaya yang diperlukan untuk pekerjaan tersisa (ETC) dari minggu ke 1 hingga minggu ke 32 disajikan pada Tabel 7.

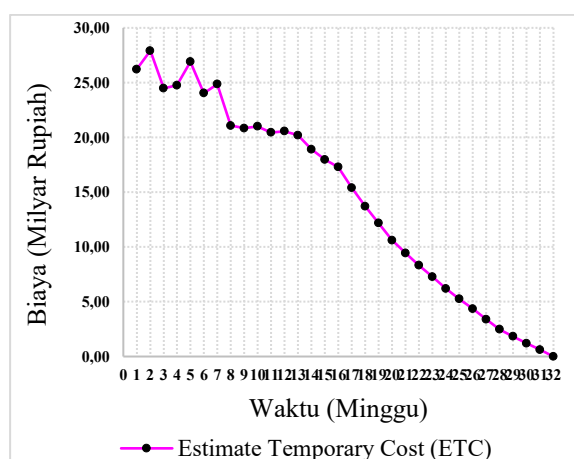
Tabel 7. Hasil Analisis Indeks Produktivitas Biaya

| Minggu ke | <i>Estimate Temporary Cost (Rp)</i> |
|------------------|--|
| 1 | 26.214.538.685,42 |
| 2 | 27.916.534.840,18 |
| 3 | 24.480.379.050,51 |
| 4 | 24.757.120.616,02 |
| 5 | 26.911.945.053,46 |
| 6 | 24.035.474.521,70 |
| 7 | 24.861.007.352,71 |
| 8 | 21.080.051.823,76 |
| 9 | 20.838.704.825,85 |
| 10 | 21.002.685.964,20 |
| 11 | 20.448.939.460,96 |
| 12 | 20.568.537.549,99 |
| 13 | 20.202.346.441,07 |
| 14 | 18.921.458.665,37 |
| 15 | 17.975.805.507,16 |
| 16 | 17.290.937.804,63 |
| 17 | 15.408.156.602,52 |
| 18 | 13.710.402.945,22 |

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

| Minggu ke | <i>Estimate Temporary Cost (Rp)</i> |
|-----------|-------------------------------------|
| 19 | 12.182.136.600,12 |
| 20 | 10.618.419.146,90 |
| 21 | 9.447.307.031,27 |
| 22 | 8.327.488.426,61 |
| 23 | 7.288.084.723,60 |
| 24 | 6.203.822.517,02 |
| 25 | 5.255.406.058,70 |
| 26 | 4.360.273.002,70 |
| 27 | 3.394.601.060,75 |
| 28 | 2.480.918.762,96 |
| 29 | 1.829.054.110,38 |
| 30 | 1.204.842.130,76 |
| 31 | 623.955.847,60 |
| 32 | 0,00 |

Curve Estimate Temporary Cost (ETC) ditunjukkan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. *Curve Estimate Temporary Cost (ETC)*

Dari hasil analisis ETC seperti pada tabel di atas, terlihat bahwa perkiraan biaya untuk pekerjaan tersisa pada setiap minggu

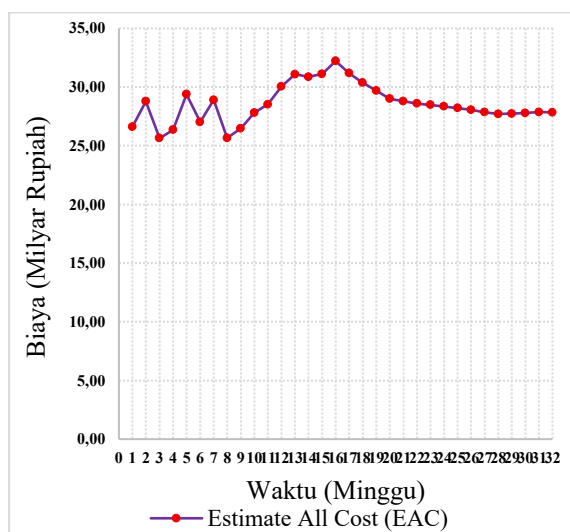
cenderung mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu. Penurunan nilai ETC ini menunjukkan bahwa semakin banyak pekerjaan yang telah diselesaikan, maka kebutuhan biaya untuk menyelesaikan pekerjaan yang tersisa juga semakin berkurang. Tren penurunan ini mencerminkan progres proyek yang berjalan sesuai rencana, serta efisiensi dalam penggunaan sumber daya hingga proyek mendekati tahap penyelesaian. Perkiraan biaya untuk menyelesaikan semua pekerjaan proyek atau *Estimate All Cost (EAC)* ditentukan dengan penambahan biaya nyata untuk pekerjaan yang telah selesai (ACWP) dengan nilai perkiraan biaya untuk pekerjaan tersisa atau *Estimate Temporary Cost (ETC)*. Perkiraan biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan semua pekerjaan proyek (EAC) dari minggu ke 1 hingga minggu ke 32 disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Analisis Indeks Produktivitas Biaya Total

| Minggu ke | <i>Estimate All Cost (Rp)</i> |
|-----------|-------------------------------|
| 1 | 26.613.977.262,22 |
| 2 | 28.783.440.334,32 |
| 3 | 25.642.679.777,10 |
| 4 | 26.349.539.367,10 |
| 5 | 29.378.032.279,28 |
| 6 | 27.019.875.882,41 |
| 7 | 28.896.754.358,08 |

| Minggu ke | <i>Estimate All Cost (Rp)</i> |
|-----------|-------------------------------|
| 8 | 25.659.495.416,87 |
| 9 | 26.470.515.160,33 |
| 10 | 27.805.089.600,67 |
| 11 | 28.521.495.608,34 |
| 12 | 30.054.362.571,14 |
| 13 | 31.087.128.033,89 |
| 14 | 30.869.676.998,89 |
| 15 | 31.114.502.070,78 |
| 16 | 32.216.230.356,29 |
| 17 | 31.185.589.924,76 |
| 18 | 30.362.533.177,30 |
| 19 | 29.689.292.690,35 |
| 20 | 28.998.436.182,15 |
| 21 | 28.790.036.619,03 |
| 22 | 28.585.570.486,07 |
| 23 | 28.481.231.288,39 |
| 24 | 28.345.601.610,30 |
| 25 | 28.204.298.860,00 |
| 26 | 28.057.780.042,82 |
| 27 | 27.853.551.170,67 |
| 28 | 27.706.443.475,05 |
| 29 | 27.730.895.220,16 |
| 30 | 27.779.573.738,64 |
| 31 | 27.872.895.607,28 |
| 32 | 27.836.973.359,94 |

Curve Estimate All Cost (EAC) ditunjukkan pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Curve Estimate All Cost (EAC)

Hasil analisis EAC seperti pada kurva di atas menunjukkan nilai yang sangat tinggi pada periode minggu ke 16 sebesar Rp.32.216.230.356,29 sebagai biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek. Sementara pada periode akhir yaitu minggu ke 32 diperoleh nilai EAC Rp.27.836.973.359,94 yang berarti pekerjaan proyek akan diselesaikan dengan biaya total pekerjaan yaitu sebesar Rp.27.836.973.359,94.

SIMPULAN

Dari hasil analisis pada proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe Aceh dapat diperoleh kesimpulan yaitu nilai indeks produktivitas biaya di bawah angka 1 ditemukan pada periode minggu ke 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18,

Analisis Pengendalian Waktu (Sianturi/ hal. 97-114)

dan 19 yang menunjukkan bahwa biaya tidak efisien pada minggu tersebut. Sementara pada periode minggu lainnya, nilai indeks produktivitas biaya di atas angka 1 yang menunjukkan pekerjaan proyek lebih hemat dari anggaran yang ditetapkan atau biaya efisien. Nilai indeks produktivitas waktu yang bernilai kurang dari 1 ditemukan pada periode minggu ke 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, dan 31, yang menunjukkan bahwa pekerjaan dikerjakan lebih lama dari jadwal rencana sehingga pekerjaan dinyatakan terlambat pada minggu tersebut. Sementara pada periode minggu lainnya, nilai indeks produktivitas waktu bernilai lebih dari 1 yang menunjukkan bahwa pekerjaan terealisasi dikerjakan lebih cepat dari jadwal rencana sehingga pada minggu tersebut pekerjaan dinyatakan *on progress*.

Nilai variasi biaya negatif ditemukan pada periode minggu ke 12, 13, 14, 15, 16, 17, dan 18, yang menunjukkan bahwa pada minggu tersebut periode pekerjaan lebih tinggi dari biaya rencana. Sementara pada periode minggu lainnya, variasi biaya bernilai positif yang menunjukkan bahwa periode pekerjaan pada minggu tersebut lebih rendah dari biaya rencana. Nilai variasi waktu negatif ditemukan pada periode minggu ke 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, dan 31, artinya pada minggu tersebut terjadi pemborosan biaya. Sementara pada minggu lainnya variasi waktu bernilai positif yang menunjukkan bahwa pada minggu tersebut terjadi efisiensi biaya.

Hasil analisis menunjukan bahwa pekerjaan proyek pembangunan Gedung Kuliah Terpadu di Kota Lhokseumawe Aceh diperkirakan mendapatkan keuntungan sebesar Rp.2.012.168.941,76 atau sebesar 6,74113% dari total anggaran.

DAFTAR PUSTAKA

Ashari, M. E. dan Armono, H. D. (2023). Analisis Waktu dan Biaya Penyelesaian

Proyek Transmisi 150 kV dengan Pendekatan Critical Path Method dan Time Cost Trade Off. *Rekayasa: Journal of Science and Technology*, 16(2), 195–203.

Daoud, A. O., Hefnawy, M. E. dan Wefki, H. (2023). Investigation of Critical Factors Affecting Cost Overruns and Delays in Egyptian Mega Construction Projects. *Alexandria Engineering Journal*, 83, 326–34.

Elklyny, A. F., Haytham M. S., dan Emad E. E. (2023). Time-cost-quality Tradeoff Considering Resource-scheduling Problems. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(102524), 1-19.

Gunawan, S., Handayani, F. S., dan Setiono. (2024). Analisis Optimasi Waktu dan Biaya pada Proyek JDU SPAM Regional Wosusokas Segmen 3 dengan Metode Time Cost Trade Off menggunakan Software Primavera 6.0. *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal* 1(2), 1-8.

Hakim, A. L., Yulianto, T., dan Nugroho, M. N. (2023). Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode Crashing Program pada Proyek Gedung BPJS Tulungagung.” *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual*, 8(1), 241-251.

Indriani, A. M., Utomo, G. dan Rizqy, M. (2022). Analisis Kinerja Waktu dan Biaya Proyek Konstruksi dengan Metode Earned Value Analysis. *Jurnal GeoEkonomi*, 13(2), 128–137.

Issa, U. H., Marouf, K. G., dan Hamdy, F. (2023). Analysis of Risk Factors Affecting the Main Execution Activities of Roadways Construction Projects. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* 35(6), 372–383.

Mahapatni, I. A. P. S., Putra, C., dan Murwanta, K. E. (2022). Analisis

- Kinerja Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek dengan Metode Earned Value pada Proyek Pembangunan Jembatan Pangkung Dalem Ruas Jalan Gitgit-Wanagiri. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 11(2), 17–25.
- Marco, A. D., Ottaviani, F. M., dan Bolognesi, F. (2024). Time Series-Based Project Cost Forecasting Framework. *Procedia Computer Science*, 239, 105–113.
- Megawati, L. A. dan Lirawati. (2021). Analisis Faktor Keterlambatan Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Jurnal Teknik Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*, 21(2), 27-34.
- Muin, O. E. A., Tjendani, H. T., dan Witjaksana, B. (2023). Cost and Time Analysis of The Pontianak MCD Building Project Using Time Cost Trade Off (TCTO) Method. *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, 2(12), 1569–1580.
- Nefrin, N. S. dan Arifin, A. S. R. (2025). Analisis Biaya Operasional dan Pemeliharaan Asrama Universitas XYZ Menggunakan Metode Benefit-Cost Ratio. *Menara: Jurnal Teknik Sipil* 21(1), 30–42.
- Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., dan Li, R. Y. M. (2022). Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* 8(45), 1-31.
- Riza, M. N., dan Witjaksana, B. (2022). Analisa Biaya dan Waktu dengan Menggunakan Metode Least Cost Analysis pada Proyek Pembangunan Gedung Ruang Kelas Baru MAN Kota Surabaya. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5(1), 308-317.
- Sanjaya, A., dan Dofir, A. (2023). Analisis Perbandingan Percepatan Pekerjaan Proyek Menggunakan Metode Time Cost Trade Off, Penambahan Shift, dan Fast Track. *Jurnal ARTESIS*, 3(2), 182–188.
- Sidiq, A. P., dan Johari, G. J. J. (2022). Analisis Penerapan Earned Value Terhadap Manajemen Waktu dan Biaya pada Proyek Jembatan Cibuni. *Jurnal Konstruksi* 20(1), 139–150.
- Simanjuntak, M. R. A., Manurung, E. H., Sitohang, O., Naibaho, P. R, Faslih, A., Puro, S., Wardiningsih, S., dan Suropto. (2023). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Batam: Yayasan Cendikia Mulia Mandiri
- Sujarwo, A., dan Oetomo, W. (2022). Analisis Waktu dan Biaya Pembangunan Gedung IKFM, IPS, IPL Dan Parkir Kendaraan Karyawan. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5(1): 269-278.
- Toğan, V., Berberoğlu, N., dan Dede, T. (2022). Optimizing of Discrete Time-Cost in Construction Projects Using New Adaptive Weight Formulations. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26(2), 511–521.
- Wang, J., Wang, Z., dan Liu, H. (2023). Multi-objective Stochastic Time-cost-quality Optimization for Construction Projects Based on the Reliability Theory. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(11): 4545–4556.