

Prediksi Progres Aktual Proyek Konstruksi pada Tahap Awal Durasi Menggunakan *Earned Value Management*

Ery Alfred Ibrahim, Mardiaman*

Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Tama Jagakarsa Institut, jakarta selatan, 12530, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

earned value management, progres proyek, prediksi progres, spi, kinerja proyek konstruksi

***Correspondence email:**

mardi240967@gmail.com

Submitted: 26 April 2026

Revised: 18 Mei 2026

Accepted: 19 Juli 2026

Published: 01 Agustus 2026

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh keterbatasan studi sebelumnya yang umumnya berfokus pada evaluasi kinerja proyek pada tahap berjalan atau akhir, sementara kemampuan Earned Value Management (EVM) dalam memprediksi progres pada tahap awal masih jarang dikaji. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memprediksi capaian progres aktual proyek konstruksi pada tahap awal durasi pelaksanaan. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif-analitis dengan memanfaatkan indikator Planned Value (PV), Earned Value (EV), dan Schedule Performance Index (SPI), serta pengembangan model prediksi berbasis rata-rata kinerja kumulatif (SPI_avg). Studi dilakukan pada tiga proyek gedung negara dengan durasi 52–68 minggu, dengan titik evaluasi pada 10% hingga 50% durasi proyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi model sangat dipengaruhi oleh stabilitas nilai SPI pada tahap awal. Proyek dengan kinerja stabil menghasilkan error prediksi yang lebih kecil (± 20 –45%), sedangkan proyek dengan fluktuasi tinggi menunjukkan error yang lebih besar ($> 60\%$). Proyek dengan percepatan ekstrem di awal cenderung menghasilkan overestimate akibat bias nilai SPI. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan model prediksi yang lebih adaptif serta integrasi metode lain seperti Earned Schedule untuk meningkatkan akurasi pada kondisi proyek yang fluktuatif.

ABSTRACT

Keywords:

earned value management, project progress, progress prediction, schedule performance index, construction project performance

This study is motivated by the limitations of previous research, which has predominantly focused on project performance evaluation during the execution or completion stages, while the capability of Earned Value Management (EVM) to predict project progress in the early phase remains underexplored. The objective of this study is to analyze and predict the actual progress performance of construction projects during the early stage of project duration. The research adopts a quantitative descriptive-analytical approach by utilizing key EVM indicators, namely Planned Value (PV), Earned Value (EV), and Schedule Performance Index (SPI), along with the development of a predictive model based on cumulative average performance (SPI_avg). The study was conducted on three public building construction projects with durations ranging from 52 to 68 weeks, with evaluation points set at 10% to 50% of the total project duration. The results indicate that the accuracy of the prediction model is highly influenced by the stability of SPI values during the early stage. Projects with stable performance produce lower prediction errors (approximately 20–45%), whereas projects with high performance fluctuations exhibit significantly higher errors (greater than 60%). Projects experiencing extreme acceleration in the early phase tend to produce overestimated predictions due to bias in SPI values. This study recommends the use of more adaptive prediction models, as well as the integration of complementary methods such as Earned Schedule, to improve prediction accuracy under fluctuating project conditions.

PENDAHULUAN

Industri konstruksi memiliki peran strategis dalam pembangunan infrastruktur dan pertumbuhan ekonomi, khususnya pada proyek gedung negara yang berkaitan langsung dengan pelayanan publik. Keberhasilan proyek konstruksi pada umumnya diukur berdasarkan pencapaian tiga indikator utama, yaitu biaya, waktu, dan mutu. Namun dalam praktiknya, banyak proyek konstruksi masih mengalami penyimpangan terhadap rencana, terutama dalam bentuk keterlambatan progres pekerjaan dan ketidaksesuaian antara rencana dan realisasi di lapangan (Saifuddin et al., 2025; Zalukhu et al., 2024). Berbagai faktor ditengarai sebagai penyebab keterlambatan pada pekerjaan konstruksi (Mardiaman & Indriasari, 2021; Sipala et al., 2026). Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian proyek yang digunakan belum sepenuhnya mampu memberikan informasi kinerja secara akurat pada tahap awal pelaksanaan. Pada proyek yang didanai APBN/APBD, keterlambatan juga sering berkaitan dengan faktor administratif seperti keterlambatan pembayaran termin dan perubahan desain, yang berpotensi memicu klaim serta mengganggu kinerja waktu proyek secara keseluruhan (Naek et al., 2023).

Salah satu metode yang secara luas digunakan dalam pengendalian proyek adalah Earned Value Management (EVM), yang mengintegrasikan aspek biaya dan waktu melalui indikator Planned Value (PV), Earned Value (EV), dan Actual Cost (AC) (Amruta B. Vyas & B. V. Birajdar, 2016; Mardiaman & Kusuma, 2021). Metode ini dinilai efektif dalam mengevaluasi kinerja proyek serta memberikan gambaran mengenai posisi proyek terhadap rencana. Selain itu, indikator turunan seperti Schedule Performance Index (SPI) juga dapat digunakan untuk mengukur efisiensi pelaksanaan pekerjaan terhadap jadwal yang telah ditetapkan (Nugraha et al., 2024).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada penggunaan EVM sebagai alat evaluasi kinerja proyek pada tahap berjalan atau menjelang akhir proyek (Ottaviani et al., 2024; Pascual et al., 2021; Roberta & Mardiaman, 2025). Kajian yang secara khusus mengeksplorasi kemampuan EVM dalam memprediksi progres aktual pada tahap awal pelaksanaan proyek (early stage) masih relatif terbatas. Padahal, tahap awal proyek merupakan fase yang sangat krusial karena tingkat ketidakpastian masih tinggi dan keputusan manajerial pada fase ini sangat menentukan keberhasilan proyek secara keseluruhan (Balali et al., 2020; Przywara & Rak, 2021). Selain itu, kualitas perencanaan awal termasuk pemilihan kontraktor dan kapasitas keuangan serta teknisnya juga sangat menentukan keberhasilan pelaksanaan proyek, karena kelemahan pada tahap awal ini dapat berdampak langsung pada keterlambatan dan kinerja proyek selanjutnya (Rinaldi & Mardiaman, 2020).

Beberapa studi menunjukkan bahwa nilai SPI pada tahap awal proyek cenderung fluktuatif dan belum stabil, sehingga dapat mempengaruhi akurasi prediksi kinerja proyek di masa mendatang (Barrientos-Orellana et al., 2023). Selain itu, penggunaan EVM dalam konteks prediksi progres masih menghadapi tantangan pada proyek dengan tingkat variabilitas tinggi. Namun demikian, penelitian yang mengkaji secara komprehensif hubungan antara stabilitas SPI pada tahap awal dengan akurasi model prediksi progres masih terbatas, khususnya pada proyek gedung negara di Indonesia.

Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berfokus pada evaluasi kinerja proyek menggunakan Earned Value Management, tetapi juga mengembangkan model prediksi progres berbasis rata-rata kinerja kumulatif (SPI_avg) yang secara khusus diterapkan pada tahap awal proyek (10%–50% durasi). Pendekatan ini diharapkan mampu menjembatani kesenjangan penelitian sebelumnya dengan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara stabilitas kinerja awal proyek dan akurasi prediksi progres (Ballesteros-Pérez et al., 2019; Martens & Vanhoucke, 2020; Yang & Lai, 2023).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memprediksi capaian progres aktual proyek konstruksi pada tahap awal durasi pelaksanaan menggunakan pendekatan Earned Value Management (EVM). Studi ini dilakukan pada tiga proyek konstruksi gedung negara, yaitu Kampus IPDN Jatinangor, Politeknik Manufaktur (Polman) Bandung, dan Pasar Anyar Tangerang. Analisis difokuskan pada tahap awal proyek, yaitu pada rentang 10% hingga 50% durasi pelaksanaan, dengan menggunakan model prediksi berbasis rata-rata kinerja (SPI_avg).

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengembangan model prediksi progres berbasis Earned Value yang difokuskan pada tahap awal proyek serta analisis komparatif antar proyek untuk mengidentifikasi pola kinerja dan tingkat akurasi prediksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi manajemen proyek dalam meningkatkan efektivitas sistem pengendalian, serta berfungsi sebagai sistem peringatan dini (early warning system) dalam mendeteksi potensi deviasi sejak tahap awal pelaksanaan proyek konstruksi.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif-analitis yang bertujuan untuk mengevaluasi sekaligus memprediksi capaian progres aktual proyek konstruksi pada tahap awal durasi pelaksanaan menggunakan pendekatan Earned Value Management (EVM). Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini berfokus pada pengolahan data numerik berupa progres pekerjaan dan biaya proyek yang dianalisis secara sistematis untuk menghasilkan indikator kinerja dan model prediksi yang terukur. Sementara itu, metode deskriptif-analitis digunakan untuk menggambarkan kondisi kinerja proyek secara aktual serta menganalisis hubungan antara variabel yang diamati, khususnya dalam konteks perbandingan antara progres rencana dan realisasi.

Objek penelitian ini terdiri dari tiga proyek konstruksi gedung negara yang memiliki karakteristik fungsi yang berbeda, yaitu proyek pembangunan Kampus IPDN Jatinangor, proyek pembangunan Politeknik Manufaktur (Polman) Bandung, dan proyek revitalisasi Pasar Anyar Tangerang. Pemilihan ketiga proyek ini dilakukan secara purposive dengan mempertimbangkan variasi kompleksitas pekerjaan, sistem manajemen proyek, serta ketersediaan data yang lengkap dan tervalidasi. Ketiga proyek tersebut telah selesai 100% secara fisik, sehingga memungkinkan dilakukan analisis komparatif antara hasil prediksi progres dan realisasi aktual secara menyeluruh. Proyek Kampus IPDN memiliki durasi rencana sebesar 53 minggu dan diselesaikan dalam 52 minggu, proyek Polman Bandung memiliki durasi rencana dan realisasi sebesar 53 minggu, sedangkan proyek Pasar Anyar Tangerang memiliki durasi rencana dan realisasi sebesar 68 minggu. Kondisi ini menunjukkan bahwa seluruh proyek berhasil mencapai penyelesaian penuh sesuai target, sehingga dapat digunakan sebagai basis evaluasi akurasi model prediksi yang dikembangkan.

Pengambilan data dilakukan pada periode Januari hingga Maret 2026 dengan metode pengumpulan data sekunder yang diperoleh secara langsung dari pihak kontraktor pelaksana proyek. Data yang digunakan meliputi dokumen

Rencana Anggaran Biaya (RAB), kurva-S rencana sebagai baseline jadwal, laporan progres fisik mingguan, serta laporan biaya aktual proyek. Pengambilan data secara langsung dari kontraktor bertujuan untuk menjamin validitas dan reliabilitas data, mengingat metode Earned Value sangat bergantung pada kesesuaian antara progres fisik yang dicapai dan biaya yang telah dikeluarkan. Selain itu, dilakukan verifikasi silang terhadap data progres untuk memastikan bahwa nilai Earned Value yang digunakan benar-benar mencerminkan kondisi riil pekerjaan di lapangan.

Dalam penelitian ini, durasi proyek dinormalisasi untuk menentukan titik evaluasi progres pada tahap awal pelaksanaan proyek. Normalisasi dilakukan dengan mengonversi durasi aktual masing-masing proyek ke dalam bentuk persentase waktu terhadap total durasi rencana. Titik evaluasi ditetapkan pada 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari total durasi proyek. Pendekatan ini digunakan untuk memungkinkan perbandingan yang proporsional antar proyek meskipun memiliki perbedaan durasi, serta untuk memfokuskan analisis pada tahap awal proyek yang secara empiris memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi dan sangat menentukan arah kinerja proyek selanjutnya.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan konsep Earned Value Management (EVM) yang mengintegrasikan tiga indikator utama, yaitu Planned Value (PV), dan Earned Value (EV). Planned Value merupakan nilai anggaran rencana berdasarkan jadwal pelaksanaan, Earned Value merupakan nilai pekerjaan yang telah diselesaikan berdasarkan progres fisik aktual. Kedua indikator ini digunakan untuk mengukur kinerja proyek secara komprehensif dengan mempertimbangkan aspek waktu dan biaya secara simultan.

Untuk mengevaluasi kinerja jadwal proyek, digunakan indeks kinerja jadwal atau Schedule Performance Index (SPI), yang merupakan rasio antara Earned Value dan Planned Value.

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (1)$$

Nilai SPI memberikan gambaran mengenai efisiensi pelaksanaan proyek terhadap jadwal yang telah direncanakan. Nilai SPI lebih besar dari satu menunjukkan bahwa proyek berjalan lebih cepat dari rencana (ahead of schedule), sedangkan nilai SPI kurang dari satu menunjukkan keterlambatan (behind schedule). Nilai SPI ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam pengembangan model prediksi progres proyek.

Model prediksi yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan rata-rata kinerja kumulatif, yang mengasumsikan bahwa tren kinerja proyek pada tahap awal dapat digunakan untuk memproyeksikan capaian progres pada periode berikutnya. Dalam model ini, nilai prediksi progres (EV_{pred}) dihitung berdasarkan nilai Planned Value pada periode tertentu yang dikalikan dengan rata-rata nilai SPI hingga periode tersebut.

$$EV_{pred}(t) = PV(t) \times SPI_{avg}(t) \quad (2)$$

$$SPI_{avg}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^t SPI_i \quad (3)$$

di mana $SPI_{avg}(t)$ merupakan rata-rata nilai SPI dari awal proyek hingga periode ke-t.

Pendekatan ini digunakan untuk mengurangi fluktuasi data pada tahap awal proyek serta meningkatkan stabilitas hasil prediksi. Dengan demikian, model yang dikembangkan tidak hanya mempertimbangkan kondisi sesaat, tetapi juga tren kinerja proyek secara kumulatif.

Selanjutnya, untuk mengevaluasi tingkat akurasi model prediksi, dilakukan analisis kesalahan (error analysis) dengan membandingkan nilai prediksi progres dengan nilai aktual yang diperoleh dari data proyek. Tingkat kesalahan dihitung menggunakan persentase error absolut.

$$Error = \left| \frac{EV_{actual} - EV_{pred}}{EV_{actual}} \right| \quad (4)$$

Ini menggambarkan seberapa besar deviasi antara hasil prediksi dan kondisi aktual. Analisis ini dilakukan pada setiap titik evaluasi (10% hingga 50% durasi) untuk mengetahui pola perubahan akurasi model seiring bertambahnya durasi proyek. Hasil analisis error ini digunakan sebagai dasar dalam menilai keandalan model prediksi serta mengidentifikasi kondisi di mana model bekerja secara optimal atau sebaliknya.

Selain itu, penelitian ini juga menggunakan pendekatan deskriptif komparatif antar proyek untuk mengidentifikasi perbedaan pola kinerja dan tingkat akurasi prediksi pada masing-masing proyek. Analisis komparatif dilakukan dengan membandingkan nilai SPI, progres aktual, serta hasil prediksi pada ketiga proyek yang diteliti. Tujuan dari analisis ini

adalah untuk mengidentifikasi hubungan antara stabilitas kinerja proyek dengan tingkat akurasi model prediksi, serta untuk mengetahui apakah model yang dikembangkan dapat diterapkan secara umum atau hanya efektif pada kondisi tertentu.

Melalui pendekatan metodologi ini, penelitian tidak hanya berfokus pada evaluasi kinerja proyek secara retrospektif, tetapi juga mengembangkan model prediktif yang memiliki nilai praktis dalam pengendalian proyek konstruksi. Model yang dihasilkan diharapkan dapat digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan bagi manajemen proyek, khususnya dalam mendeteksi potensi deviasi sejak tahap awal pelaksanaan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baik secara akademis maupun praktis dalam pengembangan metode pengendalian proyek konstruksi berbasis Earned Value Management.

Output utama dari model ini adalah nilai prediksi progres (EV_{pred}), yang kemudian dibandingkan dengan nilai Earned Value aktual untuk menilai tingkat akurasi model. Dengan demikian, penelitian ini secara eksplisit menguji kemampuan indikator SPI dalam memprediksi progres aktual pada tahap awal proyek.

HASIL

Tabel 1 menyajikan data capaian progres kumulatif rencana dan realisasi mingguan pada tiga proyek konstruksi yang menjadi objek penelitian, yaitu Kampus IPDN Jatinangor, Politeknik Manufaktur (Polman) Bandung, dan Pasar Anyar Tangerang. Data ini merupakan hasil pengolahan kurva-S rencana dan laporan progres aktual proyek yang digunakan sebagai dasar dalam analisis kinerja awal proyek. Setiap proyek ditampilkan dalam bentuk perbandingan antara progres rencana, progres aktual, serta deviasi yang terjadi pada setiap minggu pelaksanaan. Penyajian data secara kumulatif ini bertujuan untuk memberikan gambaran awal mengenai pola perkembangan kinerja proyek sejak minggu pertama hingga akhir, serta mengidentifikasi kecenderungan percepatan, keterlambatan, maupun stabilitas kinerja yang selanjutnya akan dianalisis lebih lanjut menggunakan pendekatan Earned Value Management (EVM).

Tabel 1. Bobot capaian rencana dan aktual untuk 3 Proyek

Minggu ke	1. Kampus IPDN			2. Kampus Polman			3. Pasar Anyar		
	Kumulatif Rencana	Kumulatif Realisasi	Deviasi	Kumulatif Rencana	Kumulatif Realisasi	Deviasi	Kumulatif Rencana	Kumulatif Realisasi	Deviasi
1	0,02	0,00	-0,02	0,05	0,11	0,06	0,00	0,00	0,00
2	0,04	0,00	-0,04	0,10	0,35	0,25	0,00	0,00	0,00
3	0,06	0,00	-0,05	0,20	1,68	1,48	0,00	0,00	0,00
4	0,07	0,03	-0,04	0,48	2,15	1,66	0,00	0,00	0,00
5	0,09	0,66	0,57	0,76	2,43	1,66	0,01	0,00	-0,01
6	0,19	1,01	0,82	1,06	2,77	1,71	0,02	0,03	0,01
7	0,31	1,63	1,32	1,37	2,91	1,54	0,03	0,10	0,07
8	0,43	2,39	1,95	2,09	2,99	0,90	0,18	0,10	-0,08
9	0,55	2,60	2,04	2,76	3,91	1,14	0,37	0,10	-0,27
10	1,21	3,16	1,95	4,28	5,28	1,00	0,63	0,10	-0,53
11	1,89	4,33	2,44	4,96	6,17	1,21	0,89	0,10	-0,79
12	2,57	5,56	2,99	5,65	6,75	1,11	1,15	0,10	-1,05
13	3,24	7,65	4,40	6,55	7,92	1,37	1,42	0,26	-1,16
14	4,64	9,29	4,66	7,68	9,58	1,90	1,68	0,28	-1,40
15	4,64	11,07	6,43	7,68	9,58	1,90	1,94	0,29	-1,65
16	4,64	11,07	6,43	7,68	9,58	1,90	2,20	0,39	-1,81
17	6,14	15,09	8,95	8,89	10,15	1,26	2,20	0,39	-1,81
18	7,67	16,32	8,65	10,21	11,32	1,10	2,20	0,62	-1,59
19	9,54	19,11	9,57	11,76	13,16	1,40	2,83	1,30	-1,53
20	11,96	21,61	9,65	13,47	15,29	1,82	3,45	1,89	-1,56
21	14,45	25,21	10,76	15,34	18,16	2,82	4,66	2,59	-2,06
22	16,78	27,34	10,55	17,13	21,09	3,97	5,80	3,14	-2,66
23	19,32	30,10	10,78	19,26	22,06	2,79	6,95	3,47	-3,48
24	22,33	31,81	9,48	21,97	23,34	1,37	8,42	4,05	-4,37
25	25,50	33,46	7,96	24,60	27,53	2,93	10,67	4,60	-6,07
26	28,90	35,16	6,26	27,01	29,81	2,80	13,00	5,65	-7,35
27	32,55	37,32	4,77	29,36	32,16	2,81	15,50	7,41	-8,10
28	37,61	39,67	2,06	32,15	35,13	2,98	21,00	12,87	-8,13
29	42,95	41,67	-1,28	34,91	37,88	2,97	22,32	14,28	-8,04
30	48,12	44,43	-3,70	37,29	38,21	0,92	24,64	16,84	-7,80
31	52,99	46,52	-6,47	39,73	39,47	-0,27	26,81	19,20	-7,61
32	53,83	51,37	-2,47	42,97	41,64	-1,33	29,33	21,73	-7,60
33	54,51	52,76	-1,75	43,97	42,50	-1,47	31,41	24,29	-7,12
34	55,53	55,89	0,36	45,52	44,61	-0,90	33,07	26,41	-6,66
35	56,69	58,75	2,06	47,12	47,49	0,36	34,85	28,98	-5,87
36	58,24	60,70	2,46	48,86	48,41	-0,44	36,69	31,14	-5,54
37	60,07	63,14	3,08	50,57	49,84	-0,73	39,11	33,47	-5,64

Minggu ke	1. Kampus IPDN			2. Kampus Polman			3. Pasar Anyar		
	Kumulatif Rencana	Kumulatif Realisasi	Deviasi	Kumulatif Rencana	Kumulatif Realisasi	Deviasi	Kumulatif Rencana	Kumulatif Realisasi	Deviasi
38	62,29	65,51	3,22	52,35	51,07	-1,28	41,69	36,47	-5,22
39	64,77	68,05	3,28	54,19	52,25	-1,94	44,24	39,55	-4,69
40	67,49	70,37	2,88	56,22	54,41	-1,80	46,55	42,45	-4,10
41	70,33	72,82	2,50	58,58	56,79	-1,79	49,28	45,93	-3,35
42	73,13	74,94	1,80	61,76	59,26	-2,50	55,62	48,96	-6,66
43	76,08	77,83	1,75	65,53	61,22	-4,31	59,05	52,20	-6,85
44	78,96	81,86	2,90	69,01	64,58	-4,43	62,05	54,63	-7,42
45	81,87	85,19	3,32	73,20	69,00	-4,20	65,06	56,99	-8,07
46	84,97	87,01	2,04	77,80	73,72	-4,08	68,11	63,12	-5,00
47	87,99	88,76	0,77	82,57	77,71	-4,87	72,71	67,72	-4,99
48	90,98	91,17	0,19	86,56	80,53	-6,03	77,27	72,28	-4,99
49	93,87	93,30	-0,56	90,22	80,86	-9,36	81,81	76,81	-5,00
50	95,91	94,39	-1,52	93,57	87,47	-6,10	84,61	81,01	-3,60
51	97,66	95,51	-2,14	97,21	91,36	-5,85	87,70	83,00	-4,70
52	99,36	100	0,64	99,41	98,15	-1,27	91,69	90,24	-1,45
53	100			100	100	0,00	95,67	93,67	-2,00
54							98,81	94,20	-4,61
55							100	95,28	-4,72
56								95,63	
57								96,09	
58								96,50	
59								97,05	
60								97,50	
61								97,75	
62								97,89	
63								97,92	
64								98,73	
65								99,19	
66								99,43	
67								99,85	
68								100	

Sumber: Data Olahan (2026)

Keterangan: tanda “–” menunjukkan bahwa data rencana dan deviasi tidak tersedia karena proyek telah melampaui durasi rencana awal, sehingga hanya data realisasi aktual yang dicatat pada periode tersebut.

Penelitian ini menganalisis capaian progres aktual dan hasil prediksi pada tahap awal proyek konstruksi menggunakan pendekatan Earned Value Management (EVM) pada tiga proyek gedung negara, yaitu Kampus IPDN, Politeknik Manufaktur (Polman) Bandung, dan Pasar Anyar Tangerang. Analisis difokuskan pada titik evaluasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari durasi proyek untuk melihat pola perkembangan kinerja serta tingkat akurasi model prediksi yang dikembangkan.

Proyek Kampus IPDN

Tabel 2. Perbandingan Progres Aktual dan Prediksi Proyek Kampus IPDN

Durasi (%)	Minggu	PV	EV	SPI	SPI_avg	EV_pred	EV_pred-EV	Error (%)
10	5	0,09	0,66	7,33	7,33	0,66	0,00	0,00
20	11	1,89	4,33	2,29	4,81	9,09	4,76	109,93
30	16	4,64	11,07	2,39	3,34	15,50	4,43	40,02
40	21	14,45	25,21	1,74	3,44	49,71	24,50	97,18
50	27	32,55	37,32	1,15	2,98	96,99	59,67	159,88

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa pada tahap awal proyek Kampus IPDN terjadi percepatan progres yang sangat signifikan dibandingkan dengan rencana. Hal ini ditunjukkan oleh nilai Schedule Performance Index (SPI) yang sangat tinggi pada tahap 10%, yaitu sebesar 7,33, yang mengindikasikan bahwa progres aktual jauh melampaui progres rencana. Kondisi ini biasanya terjadi akibat mobilisasi awal yang agresif atau pekerjaan yang bersifat *front-loaded*. Namun, seiring bertambahnya durasi proyek, nilai SPI mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai 1,15 pada durasi 50%, yang menunjukkan adanya proses normalisasi kinerja proyek menuju kondisi yang lebih stabil.

Dari sisi prediksi, model berbasis rata-rata SPI (SPI_avg) menunjukkan kecenderungan overestimate yang semakin besar seiring bertambahnya durasi. Hal ini terlihat dari peningkatan error dari 0% pada tahap 10% menjadi

sekitar 159,88% pada tahap 50%. Meskipun error pada tahap awal masih rendah, nilai SPI yang sangat ekstrem pada fase awal memberikan pengaruh besar terhadap nilai SPI_avg, sehingga menghasilkan bias prediksi pada periode selanjutnya.

Fenomena ini menunjukkan bahwa model memiliki sensitivitas tinggi terhadap nilai awal (early-stage bias), di mana nilai SPI yang sangat tinggi menyebabkan prediksi progres menjadi tidak proporsional terhadap kondisi aktual. Dengan demikian, pada proyek dengan percepatan awal yang ekstrem, pendekatan rata-rata SPI cenderung kurang akurat karena tidak mampu mengakomodasi perubahan tren kinerja yang bersifat non-linear.

Proyek Kampus Polman

Tabel 3. Perbandingan Progres Aktual dan Prediksi Proyek Polman Bandung

Durasi (%)	Minggu	PV	EV	SPI	SPI_avg	EV_pred	EV_pred-EV	Error (%)
10	5	0,76	2,43	3,20	3,20	2,43	0,00	0,00
20	11	4,96	6,17	1,24	2,22	11,01	4,84	78,44
30	16	7,68	9,58	1,25	1,9	14,59	5,01	52,30
40	21	15,34	18,16	1,18	1,72	26,38	8,22	45,26
50	27	29,36	32,16	1,1	1,59	46,68	14,52	45,15

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan Tabel 3, proyek Polman Bandung menunjukkan pola kinerja yang relatif lebih stabil dibandingkan proyek IPDN. Nilai SPI pada tahap awal sebesar 3,20 masih menunjukkan percepatan, namun tidak bersifat ekstrem, dan kemudian menurun secara bertahap hingga mendekati 1 pada tahap 50%. Pola ini mencerminkan bahwa progres aktual proyek cenderung mengikuti rencana dengan deviasi yang masih dalam batas wajar.

Dari sisi akurasi model, terlihat bahwa nilai error mengalami penurunan secara bertahap dari 78,44% pada tahap 20% menjadi sekitar 45,15% pada tahap 50%. Hal ini menunjukkan bahwa model prediksi menjadi semakin akurat seiring dengan meningkatnya stabilitas nilai SPI. Tidak seperti proyek IPDN, nilai SPI_avg pada proyek ini tidak terlalu dipengaruhi oleh nilai ekstrem, sehingga mampu merepresentasikan tren kinerja proyek dengan lebih baik.

Dengan demikian, proyek Polman dapat dikategorikan sebagai kondisi ideal untuk penerapan model prediksi berbasis Earned Value Management. Stabilitas kinerja yang ditunjukkan oleh nilai SPI yang relatif konsisten memungkinkan model menghasilkan prediksi yang lebih reliabel dan mendekati kondisi aktual.

Proyek Pasar Anyar Tangerang

Tabel 4. Perbandingan Progres Aktual dan Prediksi Proyek Pasar Anyar Tangerang

Durasi (%)	Minggu	PV	EV	SPI	SPI_avg	EV_pred	EV_pred-EV	Error (%)
10	7	0,03	0,1	3,33	3,33	0,1	0,00	0,00
20	14	1,68	0,28	0,17	1,75	2,94	2,66	950,00
30	20	3,45	1,89	0,55	1,35	4,66	2,77	146,56
40	27	15,5	7,41	0,48	1,13	17,52	10,11	136,44
50	34	33,07	26,41	0,8	1,07	35,38	8,97	33,96

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan Tabel 4, proyek Pasar Anyar Tangerang menunjukkan pola kinerja yang fluktuatif dan berbeda signifikan dibandingkan dua proyek sebelumnya. Pada tahap awal (10%), nilai SPI sebesar 3,33 menunjukkan percepatan, namun pada tahap berikutnya terjadi penurunan drastis hingga nilai SPI mencapai 0,17 pada durasi 20%, yang mengindikasikan keterlambatan yang cukup serius. Kondisi ini menunjukkan bahwa proyek mengalami ketidakstabilan kinerja yang tinggi pada fase awal hingga menengah.

Dampak dari fluktuasi tersebut terlihat jelas pada tingkat error prediksi yang sangat tinggi, terutama pada tahap 20% yang mencapai sekitar 950%. Nilai error ini menunjukkan bahwa model prediksi tidak mampu menangkap perubahan kinerja yang ekstrem dalam waktu singkat. Meskipun pada tahap selanjutnya error mulai menurun hingga sekitar 33,96% pada durasi 50%, tingkat akurasi model secara keseluruhan tetap rendah dibandingkan proyek lainnya.

Hal ini menegaskan bahwa model prediksi berbasis rata-rata SPI memiliki keterbatasan yang signifikan pada proyek dengan pola kinerja yang tidak stabil. Nilai SPI yang berubah secara drastis menyebabkan nilai SPI_avg tidak mampu merepresentasikan kondisi aktual proyek secara akurat, sehingga menghasilkan deviasi prediksi yang besar.

Sintesis Hasil

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi model prediksi sangat dipengaruhi oleh stabilitas nilai SPI pada tahap awal proyek. Proyek dengan kinerja stabil seperti Polman menghasilkan prediksi yang lebih akurat, sementara proyek dengan fluktuasi tinggi seperti Pasar Anyar menunjukkan deviasi yang lebih besar. Sementara itu, proyek dengan percepatan ekstrem di awal seperti IPDN cenderung menghasilkan overestimate dalam model prediksi.

Temuan ini menunjukkan bahwa fase awal proyek merupakan fase kritis yang menentukan akurasi prediksi, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih adaptif dalam penggunaan metode Earned Value untuk prediksi progres proyek konstruksi.

Hasil ini secara langsung menjawab tujuan penelitian, yaitu mengevaluasi kemampuan metode Earned Value Management dalam memprediksi progres aktual pada tahap awal proyek berdasarkan stabilitas kinerja yang direpresentasikan oleh nilai SPI.

Pembahasan

Pembahasan ini difokuskan pada evaluasi kemampuan model prediksi berbasis SPI rata-rata (SPI_{avg}) dalam merepresentasikan progres aktual proyek pada tahap awal pelaksanaan, sesuai dengan tujuan utama penelitian.

Hasil penelitian pada tiga proyek menunjukkan bahwa akurasi model prediksi progres berbasis Earned Value Management (EVM) sangat dipengaruhi oleh stabilitas kinerja proyek, yang direpresentasikan melalui nilai Schedule Performance Index (SPI). Temuan ini menguatkan sekaligus memperkaya literatur yang ada, khususnya terkait penggunaan EVM tidak hanya sebagai alat evaluasi, tetapi juga sebagai instrumen prediksi progres proyek pada tahap awal pelaksanaan.

Pada proyek Kampus IPDN, hasil menunjukkan adanya percepatan signifikan pada tahap awal, yang ditandai dengan nilai SPI yang sangat tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa progres aktual jauh melampaui rencana, yang dalam literatur sering dikaitkan dengan strategi percepatan atau mobilisasi sumber daya yang agresif (Kerzner, 2017). Namun demikian, model prediksi yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan overestimate yang cukup besar pada tahap berikutnya. Hal ini disebabkan oleh penggunaan rata-rata SPI yang masih dipengaruhi oleh nilai ekstrem pada fase awal. Penggunaan indeks kinerja berbasis rata-rata dalam EVM dapat menghasilkan bias prediksi ketika terjadi fluktuasi ekstrem pada awal proyek (Avlijaš, 2022; Narbaev & Marco, 2013).

Di sisi lain, beberapa penelitian menyatakan bahwa percepatan awal proyek justru dapat meningkatkan akurasi prediksi jika dikombinasikan dengan pendekatan statistik yang lebih adaptif. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan sederhana berbasis rata-rata SPI memiliki keterbatasan dalam kondisi proyek dengan performa tidak linier. Hal ini menjadi penting karena banyak proyek konstruksi di lapangan menunjukkan pola percepatan di awal akibat strategi manajemen atau tekanan penyelesaian (Graciella & Anondho, 2020; Widjaja & Anondho, 2021).

Pada proyek Polman Bandung, hasil menunjukkan pola kinerja yang relatif stabil dengan nilai SPI yang mendekati 1 sepanjang tahap evaluasi. Kondisi ini mencerminkan kesesuaian antara progres aktual dan rencana, yang merupakan kondisi ideal dalam manajemen proyek konstruksi. Dalam konteks ini, model prediksi yang digunakan menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, dengan deviasi yang relatif kecil antara nilai prediksi dan aktual.

Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa EVM memiliki tingkat akurasi yang baik dalam kondisi proyek dengan kinerja stabil dan terkontrol. Selain itu, penelitian oleh Vanhoucke (2012) juga menunjukkan bahwa stabilitas indikator kinerja seperti SPI dan CPI merupakan faktor utama dalam meningkatkan reliabilitas prediksi berbasis EVM. Dengan demikian, hasil pada proyek Polman Bandung dapat dianggap sebagai validasi terhadap efektivitas model prediksi berbasis SPI dalam kondisi ideal.

Namun demikian, beberapa studi juga mengkritisi bahwa kondisi proyek yang stabil seperti ini relatif jarang terjadi dalam praktik konstruksi, terutama pada proyek berskala besar atau dengan tingkat kompleksitas tinggi. Oleh karena itu, meskipun model prediksi menunjukkan hasil yang baik pada proyek Polman, generalisasi hasil tersebut perlu dilakukan dengan hati-hati.

Berbeda dengan dua proyek sebelumnya, proyek Pasar Anyar Tangerang menunjukkan pola kinerja yang fluktuatif dengan nilai SPI yang cenderung berada di bawah 1 pada sebagian besar tahap awal. Hal ini mengindikasikan bahwa proyek mengalami keterlambatan progres dibandingkan dengan rencana. Keterlambatan proyek konstruksi sering terjadi akibat faktor koordinasi, perubahan desain, dan keterbatasan sumber daya.

Model prediksi pada proyek ini menunjukkan tingkat akurasi yang rendah pada tahap awal, yang ditandai dengan deviasi yang cukup besar antara nilai prediksi dan aktual. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis rata-rata SPI kurang efektif dalam kondisi proyek dengan fluktuasi tinggi. EVM memiliki keterbatasan dalam memprediksi kinerja proyek pada fase awal ketika data masih belum stabil (Kim & Pinto, 2019; Martens & Vanhoucke, 2020).

Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa integrasi EVM dengan metode lain seperti Earned Schedule atau pendekatan probabilistik dapat meningkatkan akurasi prediksi pada kondisi seperti ini. Dengan demikian,

hasil penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi keterbatasan model, tetapi juga membuka peluang pengembangan metode prediksi yang lebih robust.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fase awal proyek (10%–30%) merupakan fase yang paling kritis dalam menentukan akurasi prediksi progres. Pada fase ini, nilai SPI cenderung fluktuatif, sehingga penggunaan model prediksi berbasis rata-rata kinerja harus dilakukan dengan hati-hati. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa tahap awal proyek merupakan fase dengan tingkat ketidakpastian tertinggi, sehingga memerlukan pengendalian yang lebih intensif (Kim & Pinto, 2019; Martens & Vanhoucke, 2020).

Dari sisi kontribusi ilmiah, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan Earned Value Management dapat dikembangkan menjadi model prediksi progres, namun dengan syarat bahwa stabilitas kinerja proyek harus diperhatikan. Selain itu, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa tidak semua kondisi proyek cocok untuk penerapan model prediksi berbasis rata-rata SPI, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih adaptif dalam kondisi tertentu.

Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi bahwa manajemen proyek dapat menggunakan nilai SPI pada tahap awal sebagai indikator awal untuk mendeteksi potensi deviasi. Namun, interpretasi nilai tersebut harus mempertimbangkan pola kinerja proyek secara keseluruhan. Dengan demikian, metode Earned Value tidak hanya berfungsi sebagai alat evaluasi, tetapi juga sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) dalam pengendalian proyek konstruksi.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan utama, yaitu mengevaluasi dan menguji kemampuan metode Earned Value Management dalam memprediksi progres aktual proyek konstruksi pada tahap awal pelaksanaan menggunakan pendekatan SPI rata-rata (SPI_avg).

Berdasarkan hasil analisis terhadap tiga proyek konstruksi gedung negara, yaitu Kampus IPDN Jatinangor, Politeknik Manufaktur (Polman) Bandung, dan Pasar Anyar Tangerang, dapat disimpulkan bahwa pendekatan Earned Value Management (EVM) tidak hanya efektif digunakan sebagai alat evaluasi kinerja proyek, tetapi juga memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai model prediksi progres aktual pada tahap awal pelaksanaan proyek.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi model prediksi yang dikembangkan sangat dipengaruhi oleh stabilitas nilai Schedule Performance Index (SPI) pada fase awal proyek. Pada proyek dengan kinerja yang relatif stabil, seperti Polman Bandung, model prediksi mampu menghasilkan estimasi yang mendekati kondisi aktual.

Sebaliknya, pada proyek dengan fluktuasi kinerja yang tinggi pada tahap awal, seperti Pasar Anyar Tangerang, model menunjukkan deviasi prediksi yang cukup besar. Sementara itu, pada proyek dengan percepatan signifikan di awal, seperti Kampus IPDN, model cenderung menghasilkan overestimate akibat pengaruh nilai SPI yang ekstrem pada fase awal. Temuan ini menegaskan bahwa fase awal proyek, khususnya pada rentang 10% hingga 30% durasi, merupakan fase yang paling kritis karena tingkat ketidakpastian yang tinggi serta pengaruhnya terhadap akurasi prediksi kinerja proyek secara keseluruhan.

Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan rata-rata SPI sebagai dasar prediksi progres memiliki keterbatasan pada kondisi proyek yang tidak stabil, namun tetap dapat memberikan hasil yang cukup akurat pada proyek dengan kinerja yang konsisten. Dengan demikian, metode EVM dapat dimanfaatkan sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) dalam mendeteksi potensi deviasi sejak tahap awal pelaksanaan proyek, dengan catatan bahwa interpretasi hasil harus mempertimbangkan pola kinerja proyek secara dinamis.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, disarankan agar dalam penerapan metode Earned Value Management untuk tujuan prediksi progres, pihak manajemen proyek tidak hanya bergantung pada nilai rata-rata SPI, tetapi juga mempertimbangkan tren perubahan kinerja secara periodik, terutama pada tahap awal proyek. Selain itu, diperlukan pengembangan model prediksi yang lebih adaptif, misalnya dengan mengintegrasikan metode Earned Value dengan pendekatan statistik atau metode lain seperti Earned Schedule, untuk meningkatkan akurasi prediksi pada kondisi proyek yang fluktuatif. Bagi praktisi konstruksi, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam meningkatkan sistem pengendalian proyek, khususnya dalam melakukan evaluasi dan pengambilan keputusan pada fase awal pelaksanaan. Sementara itu, bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan penelitian ini dengan menggunakan jumlah sampel proyek yang lebih besar serta mempertimbangkan variabel lain seperti kompleksitas proyek, faktor risiko, dan aspek manajerial, sehingga model prediksi yang dihasilkan dapat memiliki tingkat generalisasi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amruta B. Vyas, & B. V. Birajdar. (2016). Tracking of Construction Projects by Earned Value Management. *International Journal of Engineering Research And*, 5(03), 829–831. <https://doi.org/10.17577/ijertv5is031318>
- Avlijaš, G. (2022). Using Earned Value Management for More Sustainable Project Schedule Control. *Management Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.7595/management.fon.2022.0011>

- Balali, A., Valipour, A., Antucheviciene, J., & Šaparauskas, J. (2020). Improving the Results of the Earned Value Management Technique Using Artificial Neural Networks in Construction Projects. *Symmetry*, 12(1745), 1–16. <https://doi.org/10.3390/sym12101745>
- Ballesteros-Pérez, P., Sanz-Ablanedo, E., Mora-Meliá, D., González-Cruz, M. C., Bargues, J. L. F., & Pellicer, E. (2019). Earned Schedule Min-Max: Two New EVM Metrics for Monitoring and Controlling Projects. *Automation in Construction*, 103, 279–290. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.016>
- Barrientos-Orellana, A., Ballesteros-Pérez, P., Mora-Meliá, D., Cerezo-Narváez, A., & Gutiérrez-Bahamondes, J. H. (2023). Comparison of the Stability and Accuracy of Deterministic Project Cost Prediction Methods in Earned Value Management. *Buildings*, 13(1206), 1–18. <https://doi.org/10.3390/buildings13051206>
- Graciella, & Anondho, B. (2020). Prediksi Durasi Berbasis Earned Schedule Menggunakan Faktor Pengaruh Internal Dan Eksternal Serta Variabel Dummy. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(2), 289–298. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i2.6990>
- Kim, B., & Pinto, J. K. (2019). What CPI = 0.85 Really Means: A Probabilistic Extension of the Estimate at Completion. *Journal of Management in Engineering*, 35(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000671](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000671)
- Mardiaman, & Indriasari. (2021). Faktor-Faktor Penentu Utama Keterlambatan Pada Pekerjaan Konstruksi Pabrik (Studi Kasus : Pabrik Kawasan Cikarang). *E-Journal CENTECH 2020*, 2(1), 1–11. <http://ejournal.uki.ac.id/index.php/cen>
- Mardiaman, & Kusuma, E. (2021). Study of Progress Expected Results Based on Percentage of Construction Work Plan Duration. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 6(2), 167. <https://doi.org/10.30736/cvl.v6i2.628>
- Martens, A., & Vanhoucke, M. (2020). Integrating Corrective Actions in Project Time Forecasting Using Exponential Smoothing. *J. Manage. Eng.*, 36(5), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000806](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000806)
- Naek, M., Mardiaman, & Azhar. (2023). Penentuan faktor keterlambatan waktu pelaksanaan proyek apbn/apbd dengan anggaran tahun tunggal untuk mengurangi klaim. *Menara : Jurnal Teknik Sipil*, 18(152), 96–109.
- Narbaev, T., & Marco, A. De. (2013). An Earned Schedule-based regression model to improve cost estimate at completion. *International Journal Of Project Management*, 12(5), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.12.005>
- Nugraha, N. E., Handayani, F. S., & Setiono. (2024). Analisis Earned Value Terhadap Biaya Dan Waktu Gedung Direktorat Politeknik Pu Semarang Dengan Primavera P6. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*, 8(1), 10–17.
- Ottaviani, F. M., Marco, A. De, Narbaev, T., & Rebuglio, M. (2024). Improving Project Estimates at Completion through Progress-Based Performance Factors. *Buildings*, 14(643), 1–22. <https://doi.org/10.3390/buildings14030643>
- Pascual, J. L., 2, J. C. M. R., & Rambaud, S. C. (2021). The Enhanced-Earned Value Management (E-EVM) Model : A Proposal for the Aerospace Industry. *Symmetry*, 13(232), 1–18. <https://doi.org/10.3390/sym13020232>
- Przywara, D., & Rak, A. (2021). Monitoring of time and cost variances of schedule using simple earned value method indicators. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(4), 1–13. <https://doi.org/10.3390/app11041357>
- Rinaldi, R., & Mardiaman. (2020). Analisis Kriteria Pemilihan Pemenang Tender Kontaktor Konstruksi di DKI Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar*, 6(2), 85–100.
- Roberta, I., & Mardiaman. (2025). Evaluasi Perbandingan Kinerja Proyek Konstruksi Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Earned Value : Studi Kasus Dua Proyek Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan (JARSP)*, 8(3), 242–249. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v8i3.46033>
- Saifuddin, A., Ridwan, A., & Damara, B. (2025). Pengendalian Biaya dan Waktu Menggunakan Metode EVM (Earned Value Management) pada Proyek Pembangunan Akses Sirkulasi Lapangan Gajah Mada. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(2), 755–762. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.942>
- Sipala, L. O. M. A., Mardiaman, & Sukahar, A. G. (2026). Analisis Faktor Dominan Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Proyek Rumah Susun Di Papua Barat Daya. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 21(2), 59–66. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v21i2.65421>
- Widjaja, C. M., & Anondho, B. (2021). Validasi Batas Atas Batas Bawah Estimasi Durasi Gedung Konstruksi Bertingkat Berbasis Earned Schedule. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, Dan Ilmu Kesehatan*, 5(1), 103–110. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v5i1.8746>
- Yang, J., & Lai, T.-H. (2023). Selecting EVM, ESM, and EDM(t) for Managing Construction Project Schedule. *Engineering Construction & Architectural Management*, 31(12), 4988–5006. <https://doi.org/10.1108/ecam-02-2023-0115>
- Zalukhu, A. E., Zebua, D., Lase, C. A., Harefa, F. N., & Dermawan, F. (2024). Analisis Faktor Penyebab Pembengkakan Biaya Pada Proyek Konstruksi. *IDENTIK: Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan Dan Teknik*, 01(01), 38–47.