

e-ISSN: 2502-1516

Case Studies

Dikirim: 23 Januari 2026
Direvisi: 31 Agustus 2026
Diterima: 1 September 2026
Tersedia Online: September 2026

PENGENDALIAN DURASI PROYEK INFRASTRUKTUR MINYAK DAN GAS MENGUNAKAN *SINGULARITY FUNCTIONS- EARNED VALUE MANAGEMENT* (SF-EVM)

Kata Kunci:

earned value management;
infrastruktur minyak dan gas;
pengendalian proyek; *singularity
functions*

Daniel Steven Santoso*, Alina Cynthia Dewi, Amenda
Septiala Tarigan

Penulis korespondensi:

e-mail:
2210312038@mahasiswa.upnvj.ac.id

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan
Nasional "Veteran" Jakarta

Abstrak

Industri minyak dan gas bumi menghadapi tantangan akibat kompleksitas yang tinggi kerap memicu deviasi jadwal. Metode *Earned Value Management* (EVM) konvensional memiliki keterbatasan akibat asumsi linearitas, sehingga kurang responsif terhadap dinamika tren kinerja. Penelitian ini membandingkan akurasi estimasi durasi proyek infrastruktur migas antara metode EVM dan *Singularity Functions-Earned Value Management* (SF-EVM). Validasi dilakukan menggunakan data historis hingga bulan ke-22 untuk memprediksi realisasi bulan ke-23 melalui metrik *Absolute Percentage Error* (APE). Selain itu, dilakukan analisis sensitivitas dengan memvariasikan nilai *Earned Value* (EV) dari 90% hingga 110% untuk menguji stabilitas model. Hasil penelitian menunjukkan metode EVM memberikan estimasi pesimis sebesar 58,14 bulan dengan tingkat kesalahan 4,34%. Sebaliknya, SF-EVM menghasilkan estimasi yang lebih realistis yakni 50,25 bulan dengan tingkat kesalahan yang lebih rendah, yaitu 3,84%. Analisis sensitivitas turut mengonfirmasi bahwa metode SF-EVM stabil terhadap fluktuasi perubahan EV. Kesimpulannya, SF-EVM terbukti lebih andal sebagai instrumen pengendalian untuk menangkap diskontinuitas dan momentum pemulihan kinerja proyek.

Copyright © 2026 by Authors,
Published by Universitas Diponegoro Publishing Group.
This open access article is distributed under a Creative Commons
Attribution 4.0 International license



1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Penelitian

Industri minyak dan gas bumi (migas) merupakan sektor yang memiliki posisi strategis dalam mendukung perekonomian sekaligus ketahanan energi Indonesia. Peran strategis tersebut tercermin dari kontribusi sektor migas terhadap penerimaan negara, dengan Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) yang mencapai Rp117 triliun pada tahun 2023 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024). Proyek yang dilaksanakan pada sektor ini mempunyai karakteristik khusus karena membutuhkan modal yang besar, melibatkan penggunaan teknologi canggih, serta memiliki kompleksitas manajemen yang tinggi (Semenova & Churrana, 2025). Dalam konteks manajemen proyek migas, akurasi jadwal penyelesaian menjadi salah satu indikator keberhasilan yang paling kritis (Handoko, 2024). Keterlambatan, terlepas dari skalanya, dapat memicu efek domino yang merugikan, termasuk pembengkakan biaya (*cost overrun*), hilangnya potensi pendapatan dari aset yang belum beroperasi, serta rusaknya kepercayaan pemangku kepentingan (Jamal & Ian, 2025). Keterlambatan ini sering kali dikaitkan dengan kompleksitas dalam eksekusi teknis, fluktuasi rantai pasok material, dinamika regulasi, serta gangguan eksternal yang membuat metode perencanaan tradisional menjadi kurang andal (Mohammed et al., 2025).

Megaprojek di bidang energi dan infrastruktur sangat rentan terhadap deviasi jadwal akibat durasi pengerjaan yang panjang, ketergantungan antar-tugas, dan ketidakpastian dalam lingkungan eksekusi (Hermawan et al., 2024). Riset mengenai kinerja proyek secara konsisten menunjukkan bahwa keterlambatan jadwal secara signifikan

meningkatkan total biaya dan risiko proyek, menjadikan pengendalian durasi yang proaktif sebagai komponen penting dari pengendalian proyek dan pengambilan keputusan yang efektif (Mayo-Alvarez et al., 2022). Pengendalian durasi yang akurat membantu manajer proyek dalam mengantisipasi penyimpangan dari jadwal awal sehingga tindakan korektif dapat dilaksanakan lebih dini sebelum keterlambatan berkembang menjadi masalah yang lebih besar (Zahoor et al., 2022). Dalam implementasinya, evaluasi varian jadwal dan biaya secara simultan terbukti sangat vital untuk memberikan peringatan dini terhadap potensi kegagalan konstruksi (Widyarso & Purnama, 2025). Pendekatan pengambilan keputusan berbasis data historis ini juga ditegaskan oleh Ateş & Eirgash (2025), yang membuktikan bahwa pemanfaatan analisis *Earned Value* (EV) secara proaktif mampu memitigasi risiko eskalasi biaya *overhead* secara signifikan.

Meskipun *Earned Value Management* (EVM) telah menjadi standar yang diakui secara luas untuk manajemen waktu dan biaya terintegrasi (Hussein & Moradinia, 2024), penerapannya secara konvensional masih menyisakan celah fundamental (Ngo et al., 2022). Studi oleh Lu dan Pamadi (2023) menyatakan bahwa EVM pada proyek infrastruktur menunjukkan pengendalian yang efektif untuk memantau status biaya dan jadwal pada proyek dengan deviasi moderat dan lingkungan yang relatif stabil. Namun, ketika dihadapkan pada ketidakpastian tinggi dan data yang tidak presisi, akurasi EVM menurun drastis karena sifatnya yang deterministik.

1.2 State of the Art

Berbagai literatur terdahulu telah berupaya mengatasi keterbatasan metodologi EVM konvensional yang cenderung deterministik dan linier. Studi oleh Lu dan Pamadi (2023) menerapkan EVM pada proyek pekerjaan kelistrikan *greenhouse* di Kota Batam, Indonesia. Meskipun berhasil mengukur kinerja biaya dan jadwal, penelitian tersebut hanya bersifat deskriptif tanpa membandingkan akurasi estimasi EVM dengan metode peramalan alternatif, sehingga kurang mengeksplorasi penanganan data yang bersifat nonlinier atau anomali proyek. Pendekatan yang berbeda dikembangkan oleh Alsugair et al. (2024) melalui pemanfaatan dinamika sistem dengan menggabungkan DEMATEL dan *System Dynamics*. Pendekatan tersebut digunakan untuk menggambarkan hubungan dinamis antarkomponen atau variabel dalam proyek. Akan tetapi, model prediktif yang dikembangkan masih ditujukan untuk memperkirakan kinerja biaya dan belum diterapkan untuk melakukan pengendalian terhadap jadwal maupun durasi proyek.

Dalam upaya mengakomodasi ketidakpastian dan ketidaklengkapan data proyek, Desse dan Mengesha (2024) mengintegrasikan EVM dengan *Grey System Theory* (GST) dan *Fuzzy Set Theory* (FST) pada proyek jalan di Ethiopia. Eksplorasi serupa berbasis *Fuzzy* juga dilakukan oleh Firdausi et al. (2024) untuk memodelkan indikator penyelesaian saat total volume pekerjaan belum terdefinisi secara pasti. Di ranah digitalisasi, Yalçın et al. (2024) bahkan telah menerapkan metode *Machine Learning* untuk meningkatkan akurasi estimasi biaya berbasis EVM.

Meskipun berbagai pendekatan tersebut telah menunjukkan perkembangan dalam meningkatkan kemampuan peramalan, model-model tersebut pada dasarnya masih berfokus pada estimasi sisa biaya atau *cost performance*. Pengembangan model untuk memperkirakan penyimpangan terhadap durasi akhir proyek masih belum menjadi fokus utama. Untuk permasalahan yang berkaitan dengan jadwal, metode *Earned Schedule* (ES) sebelumnya telah banyak digunakan karena kemampuannya dalam memperoleh indikator waktu berdasarkan data biaya (Weaver, 2023). Dalam pengembangan pemodelan waktu yang lebih dinamis, Ezzeddine dan Fayek (2022) menunjukkan bahwa *Singularity Functions* (SF) dapat digunakan untuk menangkap konsep "momentum" sekaligus menggambarkan perubahan kelengkungan tren progres secara kontinu pada proyek konstruksi. Namun demikian, model yang mereka kembangkan sangat bergantung pada penerapan kerangka kerja kolaboratif *Last Planner System* (LPS) yang telah matang. Kondisi tersebut dapat menjadi kendala ketika metode diterapkan pada proyek yang hanya menggunakan sistem pencatatan progres secara tradisional.

Secara konseptual, pengembangan paling relevan dilakukan oleh Ngo et al. (2022) yang berhasil merumuskan formulasi integrasi SF-EVM (*Singularity Functions-Earned Value Management*) untuk melacak dan meramal kinerja durasi serta biaya secara kontinu. Meski landasan matematis SF-EVM telah terbangun secara komprehensif, validasi empirisnya baru dilakukan pada satu studi kasus terbatas, yakni proyek sistem telekomunikasi di Belanda. Hal ini menciptakan celah penelitian yang signifikan, di mana tingkat akurasi dan keandalan operasional model tersebut belum teruji secara komparatif pada megaprojek yang memiliki kompleksitas teknis dan risiko ekstrem, seperti pada infrastruktur minyak dan gas bumi.

Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan (*gap*) dengan menerapkan serta memvalidasi metode SF-EVM secara spesifik pada studi kasus proyek infrastruktur migas yang mengalami deviasi jadwal. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi empiris yang secara langsung membandingkan persentase tingkat kesalahan (akurasi peramalan) antara metode SF-EVM dan EVM konvensional menggunakan metrik *Absolute Percentage Error* (APE). Evaluasi komparatif ini diharapkan membuktikan bahwa SF-EVM memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dalam menangkap momentum percepatan proyek, menjadikannya instrumen pengendalian jadwal yang jauh lebih adaptif dibandingkan pendekatan deterministik standar.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan studi kasus pada Proyek ABC di PT XYZ, yaitu proyek infrastruktur minyak dan gas bumi di Indonesia dengan periode kontrak berlangsung dari Juni 2023 hingga Februari 2026. Secara

Tabel 1. Ringkasan Kinerja Proyek

Bulan ke-	PV	EV	Progress per Bulan
9	23,00	6,85	1,83
10	32,27	8,29	1,45
11	40,21	11,17	2,87
12	45,58	13,34	2,17
13	55,32	19,35	6,01
14	63,66	19,53	0,18
20	93,47	36,74	3,44
21	94,28	39,54	2,79
22	94,75	40,90	1,37

prosedural, penelitian diawali dengan tahapan observasi lapangan dan identifikasi masalah terkait deviasi jadwal proyek, yang kemudian didukung oleh penelaahan studi literatur.

Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data yang melibatkan dua sumber utama. Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan dan wawancara dengan pengendali proyek (*project controller*). Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari dokumen historis perusahaan, yang mencakup dokumen Kurva-S *Master Project* serta laporan progres kemajuan bulanan proyek. Data historis yang dianalisis secara spesifik mencakup periode awal pelaksanaan proyek hingga bulan ke-23, yang memuat informasi *Planned Value* (PV) dan EV sebagai basis analisis komparatif.

Setelah data terkumpul, data diolah menggunakan dua pendekatan secara paralel berdasarkan riwayat progres proyek hingga bulan ke-22. Pendekatan pertama menggunakan metode EVM konvensional untuk mengestimasi sisa durasi dan total waktu penyelesaian proyek (*Estimate All Schedule/EAS*) berdasarkan indeks kinerja jadwal kumulatif. Pendekatan kedua menerapkan metode integrasi SF-EVM. Pada metode ini, proyek dibagi ke dalam beberapa fase kinerja untuk mendapatkan titik singular. Selanjutnya, estimasi waktu penyelesaian (*Estimate at Completion/EAC(t)*) dihitung menggunakan parameter *Schedule Performance Index* (SPI) interval (relevan) yang diekstrak dari fase terakhir, karena dianggap paling representatif dalam menggambarkan momentum kinerja aktual proyek.

Pada tahapan analisis dan pembahasan, peramalan dari kedua pendekatan tersebut dikomparasikan. Untuk menilai tingkat keakuratan model, dilakukan validasi retrospektif dengan membandingkan progres hasil prediksi bulan ke-23 (yang dihitung dari data bulan ke-22) terhadap data realisasi progres aktual pada bulan ke-23. Tingkat presisi peramalan dievaluasi menggunakan metrik APE. Metode yang menghasilkan persentase tingkat kesalahan paling rendah ditetapkan sebagai instrumen pengendalian yang paling presisi, yang hasilnya kemudian disintesis menjadi kesimpulan serta implikasi manajerial bagi perusahaan.

3. Hasil dan Pembahasan

Evaluasi kinerja Proyek ABC hingga bulan ke-22 menunjukkan adanya deviasi jadwal, di mana realisasi progres fisik hanya mencapai 40,90% dibandingkan target rencana sebesar 94,75%. Ringkasan kinerja proyek pada periode pengamatan yang digunakan dalam perhitungan disajikan pada **Tabel 1**. Berdasarkan **Tabel 1**, kesenjangan antara rencana dan realisasi ini membuktikan keterbatasan metode manajemen linier dalam menangani proyek yang bersifat dinamis. Inefektivitas ini terjadi karena pendekatan konvensional menggunakan asumsi deterministik yang menganggap parameter proyek selalu pasti, padahal asumsi ini sering kali tidak valid pada kondisi ketidakpastian tinggi (Desse & Mengesha, 2024). Selain itu, kegagalan pengendalian juga dipicu oleh sifat diskret dari pemantauan tradisional yang menciptakan 'titik buta' (*blind spots*) informasi di antara periode pelaporan, sehingga pergeseran tren kinerja harian gagal terdeteksi secara *real-time* (Ngo et al., 2022). Hal ini sejalan dengan kritik Sackey et al. (2020) yang menyebutkan bahwa indikator jadwal pada EVM standar rentan bias karena menggunakan basis biaya sebagai proksi waktu. Melalui data kinerja tersebut, kemudian dilakukan pengendalian durasi total proyek dengan menggunakan dua pendekatan berbeda, yaitu metode EVM konvensional dan metode SF-EVM.

3.1 Pengendalian Durasi Proyek EVM dan SF-EVM

Berdasarkan data EV dan PV yang disajikan pada **Tabel 1** dilakukan perhitungan EVM konvensional dengan menggunakan indeks kinerja jadwal kumulatif ($SPI_{kumulatif}$). Hasil kalkulasi menunjukkan nilai $SPI_{kumulatif}$ sebesar 0,43. Menggunakan formula *Estimate Time Schedule* (ETS), waktu tambahan yang dibutuhkan adalah 36,14 bulan, sehingga total proyeksi durasi penyelesaian (*Estimate All Schedule/EAS*) menjadi 58,14 bulan. Dalam konteks EVM konvensional, kinerja buruk pada fase-fase awal terus membebani perhitungan rata-rata hingga akhir. Metode ini mengasumsikan bahwa inefisiensi masa lalu akan terus berlanjut secara linier, tanpa memperhitungkan perbaikan manajerial yang telah dilakukan pada fase terkini.

Contoh perhitungan:

$$SPI_{kumulatif} = \frac{EV}{PV} = \frac{40.90}{94.75} = 0.43 \quad (1)$$

$$ETS = \frac{(OD - (ATE \times SPI))}{SPI} = \frac{(25 - (22 \times 0.43))}{0.43} = 36.14 \quad (2)$$

$$EAS = ETS + ATE = 36.14 + 22 = 58.14 \quad (3)$$

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut dilakukan perhitungan dengan metode integrasi SF-EVM. Secara matematis, pendekatan ini mengadopsi prinsip fungsi singularitas $y(x) = s(x - \alpha)^n$ untuk memodelkan titik patahan (diskontinuitas) tren kinerja yang diaktivasi pada titik singular α . Pembagian fase dilakukan secara objektif berdasarkan karakteristik empiris pada kurva-S proyek: Fase 1 (bulan 1–12) diidentifikasi sebagai masa mobilisasi dan pekerjaan pendahuluan yang diwarnai oleh kendala adaptasi (*learning curve*), sedangkan Fase 2 (bulan 13–22) ditetapkan sebagai titik singular terjadinya stabilisasi laju eksekusi fisik.

Berdasarkan pembagian tersebut, $SPI_{relevan}$ dihitung spesifik pada interval Fase 2 dengan formula:

$$SPI_{relevan} = \frac{EV_{22} - EV_{13}}{PV_{22} - PV_{13}} = 0,55 \quad (4)$$

Substitusi nilai $SPI_{relevan}$ ke dalam formula modifikasi menghasilkan estimasi waktu tambahan sebesar 28,25 bulan, sehingga total durasi penyelesaian menurut SF-EVM menjadi 50,25 bulan. Apabila dikomparasikan, metode EVM konvensional menghasilkan estimasi durasi total yang lebih besar (lebih lama), yaitu 58,14 bulan, dibandingkan estimasi SF-EVM sebesar 50,25 bulan. Hal ini terjadi karena EVM terdistorsi oleh $SPI_{kumulatif}$ 0,43 yang menarik kinerja masa lalu, sedangkan SF-EVM menggunakan indikator kinerja pada fase yang dianalisis saat ini (SPI 0,55).

Contoh perhitungan:

$$SPI_{relevan} = \frac{EV_{t+1} - EV_{ti}}{PV_{t+1} - PV_{ti}} = \frac{40.90 - 19.35}{94.75 - 55.32} = 0.55 \quad (5)$$

$$ETS = \frac{(OD - (ATE \times SPI))}{SPI} = \frac{(25 - (22 \times 0.55))}{0.55} = 28.25 \quad (6)$$

$$EAS = ETS + ATE = 28.25 + 22 = 50.25 \quad (7)$$

Keunggulan ini disebabkan oleh kemampuan fungsi singularitas (*Singularity Functions*) dalam memodelkan diskontinuitas dan menangkap momentum perbaikan kinerja secara kontinu (Ngo et al., 2022), yang dalam studi ini direpresentasikan oleh SPI relevan sebesar 0,55. SF-EVM tidak menggunakan data historis yang sudah tidak relevan, melainkan merespons pola data terkini secara lebih adaptif, sehingga mampu mengakomodasi dinamika pemulihan yang sering terjadi setelah mitigasi risiko diterapkan. Hasil komparasi estimasi kedua metode ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Hasil perhitungan pada **Tabel 2** menunjukkan perbedaan pada estimasi akhir antara kedua metode. Metode EVM konvensional menghasilkan estimasi durasi yang lebih tinggi, yaitu 58,14 bulan. Hal ini terjadi karena sifat deterministik EVM yang menggunakan SPI kumulatif sebesar 0,43 sebagai basis perhitungan. Nilai SPI sebesar 0,43, menandakan proyek berada di bawah ambang batas efisiensi ($SPI < 1,0$) (Lu & Pamadi, 2023). Rendahnya indeks kinerja ini mengonfirmasi temuan Soliman et al. (2025), yang menyatakan bahwa pada megaprojek infrastruktur, degradasi nilai kinerja jadwal sering kali bukan disebabkan oleh varian teknis semata, melainkan merupakan manifestasi dari kompleksitas risiko inheren yang tidak terintegrasi dalam perencanaan awal. Sebagaimana ditemukan oleh Hermawan et al. (2024) dalam studi kasus fasilitas pemrosesan gas di Indonesia, deviasi jadwal yang ekstrem sering kali dipicu oleh faktor multidimensi, terutama instabilitas finansial kontraktor dan gangguan rantai pasok material vital yang menciptakan efek domino pada lintasan kritis proyek. Temuan ini diperkuat oleh Mohammed et al. (2025) yang mengidentifikasi bahwa perubahan lingkup kerja (*scope changes*) dan keterlambatan pengiriman material merupakan prediktor utama kegagalan jadwal di industri minyak dan gas.

3.2 Validasi Model dan Analisis Sensitivitas

Untuk menguji validitas empiris dan tingkat presisi dari kedua model, dilakukan evaluasi dengan APE melalui perbandingan data aktual bulan ke-23 dan hasil perhitungan akhir setiap metode (Chen & Lin, 2016). Proyeksi perhitungan tiap metode yang dihasilkan berdasarkan data bulan ke-22, sebagaimana tersaji pada **Tabel 3**. Data pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa metode SF-EVM memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dengan nilai APE sebesar 3,84%, dibandingkan EVM konvensional sebesar 4,34%. Berdasarkan hasil prediksi progres bulan ke-23, SF-EVM

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengendalian Durasi Total

Metode	Estimasi Waktu Tambahan (Bulan)	Estimasi Waktu Total (Bulan)
EVM	36,14	58,14
SF-EVM	28,25	50,25

Tabel 3. Validasi Akurasi Pengendalian

Komponen	EVM	SF-EVM
SPI	0,43	0,55
Nilai Prediksi Bulan ke-23	41,28	41,49
Nilai Aktual Bulan ke-23	42,78	42,78
Selisih <i>Error</i>	1,50	1,29
Tingkat Kesalahan	4,34%	3,84%

Tabel 4. Validasi Akurasi Pengendalian

Skenario	EV (%)	Prediksi Durasi (Bulan)	APE (%)
EV -10%	90	54,73	7,63
EV -5%	95	52,10	5,21
<i>Baseline</i>	100	50,25	3,84
EV +5%	105	48,82	2,97
EV +10%	110	47,15	2,11

menghasilkan estimasi sebesar 41,49%, sedangkan EVM sebesar 41,28%, dengan progres aktual sebesar 42,78%. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi SF-EVM lebih mendekati kondisi aktual dibandingkan EVM konvensional. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi fungsi singularitas dapat meningkatkan reliabilitas pengendalian dan estimasi kinerja jadwal proyek. Temuan ini sejalan dengan Ngo et al. (2022) yang menyatakan bahwa integrasi fungsi singularitas ke dalam EVM memungkinkan peramalan jangka pendek (*short-term forecasting*) yang lebih responsif terhadap data kinerja aktual.

Analisis sensitivitas dilakukan dengan memvariasikan nilai EV menjadi 90%, 95%, 100%, 105%, dan 110% dari nilai dasar. Setiap skenario digunakan untuk mengevaluasi perubahan estimasi durasi proyek dan nilai APE. Hasil analisis sensitivitas disajikan pada **Tabel 4**. Setiap skenario dianalisis berdasarkan perubahan nilai SPI, prediksi durasi proyek, dan APE, sehingga dapat diketahui tingkat sensitivitas dan kestabilan metode SF-EVM terhadap perubahan nilai EV. Perubahan output yang relatif kecil menunjukkan bahwa SF-EVM memiliki tingkat sensitivitas yang rendah terhadap perubahan EV, sedangkan perubahan output yang semakin besar menunjukkan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi. Hal ini dikonfirmasi oleh Handoko (2024), yang menekankan bahwa praktik penjadwalan adaptif pada perusahaan migas nasional sangat esensial untuk menjaga efisiensi anggaran dan kelayakan investasi fasilitas produksi.

3.3 Implikasi Praktis

Penerapan metode SF-EVM memberikan dampak positif terhadap akurasi pengendalian durasi proyek infrastruktur minyak dan gas, khususnya pada proyek dengan kinerja tidak pasti atau fluktuatif. Dengan kemampuannya menangkap perubahan tren dan momentum kinerja secara kontinu, SF-EVM menghasilkan estimasi sisa durasi yang lebih akurat dibandingkan EVM konvensional, sehingga mengurangi risiko bias dalam pengambilan keputusan manajerial terkait penjadwalan dan strategi pemulihan proyek.

Dari perspektif implementasi, SF-EVM dapat diterapkan tanpa perubahan signifikan pada sistem pengendalian yang ada karena tetap berbasis parameter EVM standar. Strategi penerapan yang disarankan adalah penggunaan SF-EVM sebagai alat pendukung pengendalian pada fase proyek yang mengalami deviasi, dengan menitikberatkan analisis pada kinerja terkini yang paling representatif. Pendekatan ini memungkinkan manajemen proyek merespons kondisi lapangan secara lebih adaptif dan meningkatkan keandalan peramalan durasi pada proyek migas yang kompleks.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode integrasi SF-EVM menawarkan tingkat presisi yang lebih tinggi dibandingkan metode EVM konvensional dalam meramalkan durasi penyelesaian proyek yang memiliki pola kinerja fluktuatif. Hasil analisis menunjukkan metode EVM menghasilkan proyeksi durasi yang sangat pesimis (lebih lama) sebesar 58,14 bulan akibat penggunaan indeks kinerja kumulatif yang terbebani riwayat awal. Sebaliknya, metode SF-EVM memberikan estimasi yang lebih moderat sebesar 50,25 bulan, karena kemampuannya untuk memodelkan diskontinuitas melalui pembagian fase yang berbasis pergerakan kurva-S aktual. Keunggulan akurasi ini divalidasi dengan APE sebesar 3,84% pada SF-EVM, lebih baik dari EVM (4,34%). Lebih lanjut, pengujian melalui analisis sensitivitas dengan memvariasikan nilai EV sebesar 90% hingga 110% dari kondisi dasar membuktikan bahwa metode SF-EVM memiliki tingkat sensitivitas yang rendah terhadap fluktuasi perubahan pencapaian progres, yang menandakan tingginya kestabilan model prediksi tersebut. Mengingat besarnya nilai kapital proyek, peningkatan akurasi dan stabilitas peramalan ini sangat signifikan secara finansial dan praktis bagi manajemen untuk melakukan mitigasi keterlambatan secara efisien.

Deklarasi Penggunaan Kecerdasan Buatan (AI)

Tim penulis menyatakan bahwa kami menggunakan alat kecerdasan buatan (AI) dalam proses penyusunan manuskrip ini. Alat yang digunakan adalah GPT-5.6 Luna dan Gemini 3.6 Flash, yang dimanfaatkan untuk penyuntingan bahasa, perbaikan tata bahasa, parafrase kalimat, serta diskusi dan pengembangan argumen. Seluruh ide,

interpretasi, gambar, analisis data, pembahasan, dan penarikan kesimpulan dalam manuskrip ini dikembangkan dan ditetapkan oleh penulis. Penulis bertanggung jawab penuh atas akurasi, integritas, dan orisinalitas seluruh isi manuskrip.

5. Daftar Pustaka

- Alsugair, A. M., Al-Gahtani, K. S., Alsanabani, N. M., Hommadi, G. M., & Alawshan, M. I. (2024). An integrated DEMATEL and system dynamic model for project cost prediction. *Heliyon*, 10(4), e26166. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26166>
- Ateş, B., & Eirgash, M. A. (2025). Proactive and data-driven decision-making using earned value analysis in infrastructure projects. *Buildings*, 15(14), 2388. <https://doi.org/10.3390/buildings15142388>
- Chen, H. L., Chen, W. T., & Lin, Y. L. (2016). Earned value project management: Improving the predictive power of planned value. *International Journal of Project Management*, 34(1), 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.008>
- Desse, E. M., & Mengesha, W. J. (2024). Predicting construction cost under uncertainty using grey-fuzzy earned value analysis. *Heliyon*, 10(6), e27662. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27662>
- Ezzeddine, A., & Fayek, A. R. (2022). Forecasting Construction Project Performance with Momentum Using Singularity Functions in LPS. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.000232](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.000232)
- Firdausi, A. K., Anwar, M. R., & Rachmansyah, A. (2024). A Fuzzy Approach on Earned Value Method to Evaluate Project Performance in Solojebres Commuter Depot. *Rekayasa Sipil*, 18(3), 186–194. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2024.018.03.3>
- Handoko, A. E. (2024). Developing quality project schedule using GAO schedule assessment best practices in Indonesia's national oil company. *PM World Journal*, 13(11), 1–21.
- Hermawan, D., Isvara, W., & Ichsan, M. (2024). Critical risk factors associated with schedule delays in gas processing facility projects: Case study in Indonesia. *Global Business and Finance Review*, 29(6), 60–73. <https://doi.org/10.17549/gbfr.2024.29.6.60>
- Hussein, A. R., & Moradinia, S. F. (2024). Time and Cost Management in Water Resources Projects Utilizing the Earned Value Method. *Journal of Studies in Science and Engineering*, 4(1), 91–111. <https://doi.org/10.53898/josse2024417>
- Jamal, J., & Ian, M. R. (2025). Analisis faktor penyebab keterlambatan proyek konstruksi di Indonesia. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.52447/jkts.v10i1.8071>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024, 16 Januari). PNBP migas sumbang Rp117 triliun ke kas negara. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/pnbp-migas-sumbang-rp117-triliun-ke-kas-negara->
- Lu, S., & Pamadi, M. (2023). Performance Analysis System Using Earned Value Method For Electrical Greenhouse Work Project In Batam City. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 4(12), 2288–2296. <https://doi.org/10.59141/jist.v4i12.828>
- Mayo-Alvarez, L., Alvarez-Risco, A., Del-Aguila-Arcentales, S., Sekar, M. C., & Yañez, J. A. (2022). A Systematic Review of Earned Value Management Methods for Monitoring and Control of Project Schedule Performance: An AHP Approach. *Sustainability*, 14(22), 15259. <https://doi.org/10.3390/su142215259>
- Mohammed, A., Bahatheq, A., Ghaithan, A., Alshibani, A., Mazher, K. M., & Alrashidi, A. (2025). Predicting schedule delays of construction projects in the oil and gas industry: A comparative study. *Built Environment Project and Asset Management*, 16(2), 286–303. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-12-2024-0286>
- Ngo, K. A., Lucko, G., & Ballesteros-Pérez, P. (2022). Continuous earned value management with singularity functions for comprehensive project performance tracking and forecasting. *Automation in Construction*, 143, 104583. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104583>
- Sackey, S., Lee, D. E., & Kim, B. S. (2020). Duration estimate at completion: Improving earned value management forecasting accuracy. *KSCE journal of civil engineering*, 24(3), 693–702. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-0407-5>
- Semenova, T., & Churrana, N. (2025). Assessment of the projects' prospects in the economic and technological development of the oil and gas complex in the Republic of Mozambique. *Resources*, 14(7), 106. <https://doi.org/10.3390/resources14070106>
- Soliman, E., Alrashied, K. A., Alghanim, S., & Morsi, E. (2025). Integrating risk management and earned value framework to detect early warning signs – Case study. *Journal of Engineering Research*, 13(3), 2109–2116. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.05.029>
- Weaver, P. (2023). Earned schedule: The first 20 years. *PM World Journal*, 12(3).
- Widyarso, R., Witjaksana, B., & Purnama, J. (2025). Analysis of time and cost performance in construction projects using the earned value management method. *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, 4(4). <https://doi.org/10.46799/ajesh.v4i4.590>
- Yalçın, G., Bayram, S., & Çitakoğlu, H. (2024). Evaluation of earned value management-based cost estimation via machine learning. *Buildings*, 14(12), 3772. <https://doi.org/10.3390/buildings14123772>

Zahoor, H., Khan, R. M., Nawaz, A., Ayaz, M., & Maqsoom, A. (2022). Project control and forecast assessment of building projects in Pakistan using earned value management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(2), 842–869. <https://doi.org/10.1108/ecam-11-2020-0989>