

PERBANDINGAN METODE EARNED VALUE, EARNED SCHEDULE, DAN KALMAN FILTER EARNED VALUE UNTUK PREDIKSI DURASI PROYEK

Andree Sugiyanto¹ dan Onnyxiforus Gondokusumo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
as.andreesugiyanto@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
onnygk@gmail.com

Masuk: 17-01-2020, revisi: 10-02-2020, diterima untuk diterbitkan: 19-02-2020

ABSTRACT

In the world of construction, control is needed at the implementation stage, which is prediction or forecasting duration project schedule. Estimated project schedule is an important part for project management making decisions that affect the future of the project. Forecasting method commonly used by practitioners in this case the construction project contractor in evaluating prediction of duration is deterministic forecasting method Earned Value Method (EVM), Earned Schedule Method (ESM). Kalman Filter Earned Value Method (KEVM) as probabilistic forecasting method is carried out to produce more accurate predictive value. The purpose of this study to compare the accuracy of three methods. This research was conducted by calculating duration of the project from EVM, ESM, and KEVM on maintenance and reconstruction projects of Jakarta-Cikampek and Jakarta-Tangerang toll roads. The data used from the project control data S-curve. The control data is processed with EVM, ESM, KEVM to determine the comparison between three methods of predicting duration. Prediction results of three methods were tested with Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results of this study indicate that KEVM can reduce errors after Kalman Filter is performed on estimated duration using EVM. ESM duration prediction yields the smallest MAPE value of the three methods.

Keywords: Earned Value Method, Earned Schedule Method, Kalman Filter, Mean Absolute Percentage Error, Duration Forecasting

ABSTRAK

Dalam dunia pembangunan konstruksi dibutuhkan pengendalian pada tahap pelaksanaan yaitu prediksi atau peramalan durasi jadwal proyek. Perkiraan jadwal proyek adalah bagian penting untuk manajemen proyek membuat keputusan yang mempengaruhi masa depan proyek. Metode peramalan yang umum digunakan para praktisi dalam hal ini kontraktor proyek konstruksi dalam mengevaluasi prediksi durasi adalah metode peramalan deterministik *Earned Value Method (EVM)*, *Earned Schedule Method (ESM)*. *Kalman Filter Earned Value Method (KEVM)* sebagai metode peramalan probabilistik dilakukan untuk menghasilkan nilai prediksi yang lebih akurat. Tujuan penelitian ini membandingkan akurasi dari ketiga metode. Penelitian ini dilakukan dengan menghitung durasi proyek dari EVM, ESM, dan KEVM pada proyek pemeliharaan dan rekonstruksi jalan tol Jakarta – Cikampek dan Jakarta – Tangerang. Data yang digunakan dari proyek tersebut adalah data-data pengendalian berupa kurva S. Data pengendalian tersebut diolah dengan EVM, ESM, KEVM untuk mengetahui perbandingan antara ketiga metode prediksi durasi tersebut. Hasil prediksi dari ketiga metode diuji dengan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa KEVM dapat mengurangi kesalahan setelah dilakukan Kalman Filter pada perkiraan durasi menggunakan *Earned Value Method*. Prediksi durasi ESM menghasilkan nilai MAPE yang paling kecil dari ketiga metode.

Kata kunci: Earned Value Method, Earned Schedule Method, Kalman Filter, Mean Absolute Percentage Error, Prediksi Durasi.

1. PENDAHULUAN

Proyek merupakan suatu kegiatan yang bersifat unik dan temporer. Keunikan pada proyek ditunjukkan dari karakteristik proyek yang berbeda-beda antara suatu proyek dengan proyek yang lainnya. Temporer adalah bersifat sementara bahwa proyek harus dapat diselesaikan dalam kurun waktu tertentu. Hal yang menyebabkan proyek bersifat unik adalah variabilitas dan ketidakpastian. Proyek memiliki keberagaman, semakin luas keberagaman dari proyek tersebut, maka semakin kompleks proyek tersebut, dan semakin besar pula risiko proyeknya begitu sebaliknya. Oleh karena itu dalam proyek dibutuhkan perencanaan, pengelolaan, dan pengendalian yang terstruktur agar dapat mencapai hasil dan target yang diinginkan.

Dalam dunia pembangunan konstruksi dibutuhkan prediksi atau peramalan durasi jadwal proyek. Perkiraan jadwal proyek adalah bagian penting untuk manajemen proyek membuat keputusan yang mempengaruhi masa depan proyek, maka dari itu perkiraan durasi memastikan proyek dapat berhasil. Saat ini, metode peramalan yang umum digunakan para praktisi dalam hal ini kontraktor proyek konstruksi dalam mengevaluasi schedule performance adalah metode peramalan deterministik *Earned Value Method* (EVM). EVM adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk mengendalikan biaya dan waktu proyek pada saat pelaksanaan pengerjaan proyek. Pengendalian berdasarkan biaya yang menjadi kekurangan karena menggunakan biaya bukan waktu sebagai indikatornya. Penelitian yang menguji akurasi peramalan menggunakan EVM telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Hasil penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa peramalan penjadwalan proyek menggunakan metode peramalan deterministik EVM kurang akurat karena memberikan nilai error yang lebih besar dibandingkan metode peramalan probabilistik (Kim dan Reinschmidt, 2010). EVM kemudian dikembangkan oleh Walt Lipke dengan membuat metode baru yaitu *Earned Schedule Method* (ESM) yang menggunakan waktu sebagai indikator prediksi durasi proyek. Kekurangan dari metode ESM adalah ketika menemui pola keterlambatan tertentu, prediksinya menunjukkan banyak kesalahan pada masa awal proyek (Kim dan Kim, 2014).

Kalman Filter akan digunakan bersama dengan metode EVM untuk menghasilkan nilai prediksi yang lebih akurat, sehingga membantu untuk memberikan prediksi tentang masa depan kelanjutan proyek konstruksi yang lebih aktual dan membantu untuk mengambil langkah berikutnya yang lebih konkrit (Kim dan Kenneth, 2010).

Data yang digunakan bersumber dari proyek jalan tol. Evaluasi model dilakukan dengan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah dapat dirumuskan rumusan masalah yaitu bagaimana hasil perbandingan antara *Earned Value Method* (EVM), *Earned Schedule Method* (ESM), dengan *Kalman Filter Earned Value Method* (KEVM) untuk memprediksi durasi akhir proyek?

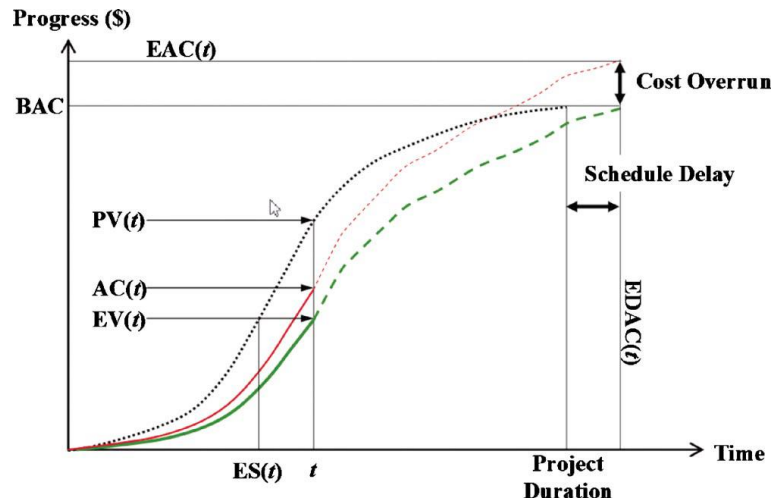
Maksud dari penelitian ini adalah untuk menerapkan *Earned Value Method* (EVM), *Earned Schedule Method* (ESM), dan *Kalman Filter Earned Value Method* (KEVM) untuk memprediksi durasi akhir proyek.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan akurasi dari *Kalman Filter Earned Value Method* (KEVM) sebagai bagian dari metode peramalan probabilistik dengan *Earned Value Method* (EVM), dan *Earned Schedule Method* (ESM) sebagai bagian dari metode peramalan deterministik dengan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

***Earned Value Method* (EVM)**

Earned Value Method (EVM) diperkenalkan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat pada tahun 1960 ketika mencari metode untuk membakukan proses untuk penilaian dari kinerja proyek (Wauters dan Mario, 2014). EVM adalah suatu metode pendekatan sistematis yang mengintegrasikan biaya, waktu, dan teknik dalam sebuah pekerjaan proyek pendekatan ini digunakan oleh pemerintah dan kontraktor untuk mengetahui tentang biaya, jadwal, dan program yang memerlukan kondisi khusus (Booz, et al, 2003). Sebagai standar industri yang ditetapkan oleh *American National Standards Institute* (ANSI) EIA-748, EVM telah diterima secara luas sebagai monitor kerja, analisis, dan sistem peramalan (Kim dan Kim, 2014).

Pada EVM terdapat penilaian kinerja proyek yang ditampilkan secara grafis sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik *Earned Value Method* (Kim dan Reinschmidt, 2010)

Untuk dapat melakukan analisis data *Earned Value Method* (EVM) maka diperlukan data berikut ini:

1. PV (*Planned Value*) atau BCWS (*Budgeted Cost of Work Schedule*) merupakan kumulatif biaya yang direncanakan untuk kegiatan yang akan dilaksanakan.
2. EV (*Earned Value*) atau BCWP (*Budgeted Cost of Work Performance*) merupakan kumulatif biaya yang senilai untuk kegiatan yang telah dilaksanakan.
3. AC (*Actual Cost*) atau ACWP (*Actual Cost of Work Performed*) merupakan kumulatif biaya yang sesungguhnya terpakai untuk kegiatan yang telah dilaksanakan dalam kurun waktu tertentu.
4. BAC (*Budget at Completion*) merupakan biaya rencana total semua pekerjaan (sama seperti BCWS pada akhir pekerjaan).
5. Time (T) merupakan waktu durasi proyek.

a. CV (*Cost Variance*)

Merupakan indikator selisih antara biaya yang telah dilaksanakan setelah menyelesaikan suatu pekerjaan (EV) dengan biaya aktual dari pekerjaan yang sudah dikerjakan (AC).

$$CV = EV - AC \quad (1)$$

$CV < 0$; biaya lebih besar dari rencana, $CV = 0$; biaya sesuai dengan rencana, $CV > 0$; biaya lebih kecil dari rencana

b. SV (*Schedule Variance*)

Merupakan indikator selisih antara biaya yang telah dilaksanakan setelah menyelesaikan suatu pekerjaan (EV) dengan biaya yang direncanakan untuk kegiatan yang akan dilaksanakan (PV).

$$SV = EV - PV \quad (2)$$

$SV < 0$; proyek terlambat dari rencana, $SV = 0$; proyek sesuai dengan rencana / tepat waktu, $SV > 0$; proyek lebih cepat dari rencana

c. CPI (*Cost Performance Index*)

Merupakan faktor efisiensi biaya dalam menyelesaikan pekerjaan yang diperlihatkan dengan membandingkan biaya pekerjaan yang telah diselesaikan (EV) dengan biaya aktual yang telah dilaporkan dalam periode yang sama (AC).

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (3)$$

$CPI < 1$; biaya lebih besar dari rencana, $CPI = 1$; biaya sesuai dengan rencana, $CPI > 1$; biaya lebih kecil dari rencana

d. *SPI (Schedule Performance Index)*

Merupakan faktor efisiensi kinerja dalam menyelesaikan pekerjaan yang diperlihatkan dengan membandingkan nilai pekerjaan yang telah diselesaikan (EV) dengan pekerjaan yang telah direncanakan (PV).

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (4)$$

$SPI < 1$; proyek terlambat dari rencana, $SPI = 1$; proyek sesuai dengan rencana / tepat waktu, $SPI > 1$; proyek lebih cepat dari rencana

Setelah mengetahui indikator-indikator status proyek, kemudian dapat dihitung parameter perkiraan menggunakan *Earned Value Method (EVM)* sebagai berikut:

e. *EAC (Estimate at Completion)*

Menghitung perkiraan biaya maupun waktu dari awal hingga proyek benar-benar selesai.

$$EAC(t) = \frac{PD}{SPI(\$)(t)} \quad (5)$$

Keterangan:

PD : *Project Duration* (Total durasi proyek)

Earned Schedule Method (ESM)

Earned Schedule Method (ESM) adalah suatu metode perkembangan dari *Earned Value Method (EVM)* yang diperkenalkan saat musim semi 2003, menunjukkan kemungkinan menggambarkan kinerja jadwal dalam satuan waktu (Lipke, 2009). *Earned Schedule* dapat diperhitungkan dengan rumus-rumus sederhana berikut ini.

a. *ES (Earned Schedule)*

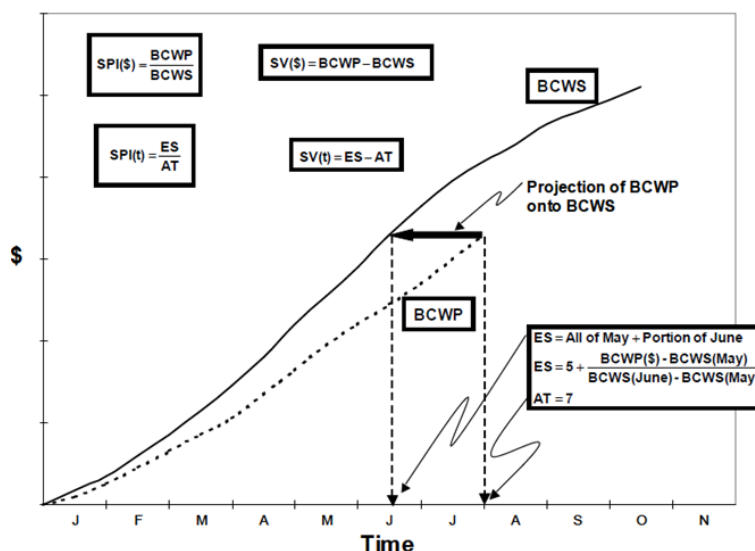
$$ES = C + I \quad (6)$$

Keterangan:

C : Nilai periode yang ditentukan dengan menghitung jumlah penambahan waktu dari pengukuran kinerja dasar (PMB) yang memenuhi kondisi, $EV \geq PV$.

I : adalah interpolasi dengan menggunakan persamaan

$$I = \frac{(EV - PVC)}{(PVC+I - PVC)}$$



Gambar 2. Grafik *Earned Schedule Method* (Lipke, 2003:5)

b. *SV (Schedule Variance)*

Merupakan indikator selisih antara waktu yang telah dilaksanakan setelah menyelesaikan suatu pekerjaan (ES) dengan waktu aktual (AT).

$$SV(t) = ES - AT \quad (7)$$

c. *SPI (Schedule Performance Index)*

Merupakan faktor efisiensi kinerja dalam menyelesaikan pekerjaan yang diperlihatkan dengan membandingkan waktu pekerjaan yang telah diselesaikan (ES) dengan waktu aktual (AT).

$$SPI(t) = \frac{ES}{AT} \quad (8)$$

$SPI < 1$; proyek terlambat dari rencana, $SPI = 1$; proyek sesuai dengan rencana / tepat waktu, $SPI > 1$; proyek lebih cepat dari rencana.

Setelah mengetahui indikator-indikator status proyek, kemudian dapat dihitung parameter perkiraan menggunakan *Earned Value Method (EVM)* sebagai berikut:

d. *EAC (Estimate at Completion)*

Menghitung perkiraan biaya maupun waktu dari awal hingga proyek benar-benar selesai.

$$EAC(t) = \frac{PD}{SPI(T)(t)} \quad (9)$$

Keterangan: PD : *Project Duration* (Total durasi proyek)

Kalman Filter Earned Value Method (KEVM)

Kalman Filter Earned Value Method (KEVM) adalah metode probabilistik prediksi durasi dan jadwal analisis risiko dengan menggunakan data EVM (Kim 2011, 2014; Kim dan Reinschmidt 2010; Kim 2007). *Kalman Filter Earned Value Method (KEVM)* diformulasikan berdasarkan kerangka probabilitas yang kuat dari *Kalman Filter* dan praktik standar dalam jadwal analisis risiko dan *Earned Value Method (EVM)*. *Kalman Filter* adalah algoritma rekursif untuk memperkirakan keadaan sebenarnya tetapi tersembunyi dari sistem dinamis di hadapan pengamatan yang terganggu. (Kim dan Kim, 2014)

Sejak *seminal paper* oleh Kalman (1960), *Kalman Filter* banyak digunakan dalam berbagai rekayasa, termasuk tetapi tidak terbatas pada, navigasi, pelacakan banjir, dan kontrol proses (Awwad et al. 1994; Brookner 1998; Welch dan Bishop 2006; Zarchan dan Musoff 2000).

Menurut (Kim dan Kim, 2014) ilustrasi KEVM input dan output sebagai berikut:

1. Kurva *Planned Value*: Nilai yang direncanakan dalam EVM digunakan sebagai progres acuan terhadap progres aktualnya dibandingkan.
2. Kurva *Earned Value*: Nilai yang diperoleh dalam EVM digunakan untuk menghitung jadwal yang diperoleh.
3. Distribusi *Prior Project Duration (PD)*: Distribusi PD sebelumnya adalah distribusi probabilitas dari durasi proyek yang mungkin, yang sering ditentukan dari analisis risiko jadwal standar (Barraza et al. 2000, 2004; GAO 2012). Dalam praktiknya, distribusi PD sebelumnya digunakan untuk menentukan kemungkinan jumlah waktu untuk memenuhi tingkat risiko yang telah ditentukan. KEVM memperbarui distribusi PD sebelumnya ini menggunakan data progres aktual.
4. Pengukuran gangguan di ES: Ada variasi acak atau fluktuasi dalam laporan progres aktual. Gangguan acak atau fluktuasi acak dari pengukuran ES diperhitungkan dalam perkiraan KEVM dalam hal standar deviasi pengukuran gangguan. Gangguan pengukuran tidak selalu berarti data *earned schedule* yang diperoleh tidak akurat. Pengukuran gangguan juga merupakan indikator tingkat relevansi data kinerja masa lalu untuk kinerja masa depan.

KEVM menggunakan aplikasi Microsoft Excel yang menggunakan rumus Kalman Filter yang telah disederhanakan oleh (Vaudrey, 2008).

Rumus lengkap perhitungan Kalman Filter yang digunakan untuk melakukan prediksi durasi akhir proyek ini adalah rumus berdasarkan metode Kalman yang sudah disederhanakan oleh Vaudrey seperti berikut ini.

1. Fase Prediksi

- 1) Nilai perkiraan sebelum dilakukan penyaringan (*Filtering*)

$$x_{bft} = x_{aft-1} \quad (10)$$

- 2) Nilai *Error* sebelum dilakukan penyaringan (*Filtering*)

$$P_{bft} = Du_{r_{total}} + P_{aft-1} \quad (11)$$

2. Fase Pembaharuan

- 1) Nilai pengukuran estimasi yang mengandung ketidakpastian

$$y_t = EAC + \text{Sisa Waktu} \times (0.5 - C) \quad (12)$$

- 2) Nilai faktor Kalman

$$K_t = \frac{P_{bft}}{(P_{bft} + Du_m)} \quad (13)$$

- 3) Nilai estimasi setelah dilakukan penyaringan (*Filtering*)

$$x_{aft} = x_{bft} + K_t * (y_t - x_{bft}) \quad (14)$$

- 4) Nilai *Error* setelah dilakukan penyaringan (*Filtering*)

$$P_{aft} = (1 - K_t) \times P_{bft} \quad (15)$$

Keterangan :

x_{bft} : Nilai estimasi durasi sebelum dilakukan penyaringan (*Filtering*) pada waktu yang sedang dihitung.

x_{aft} : Nilai estimasi durasi setelah dilakukan penyaringan (*Filtering*) pada waktu yang sedang dihitung.

x_{aft-1} : Nilai estimasi durasi setelah dilakukan penyaringan (*Filtering*) pada satu waktu sebelumnya.

P_{bft} : Nilai *error* sebelum dilakukan penyaringan (*Filtering*) pada waktu yang sedang dihitung.

P_{aft} : Nilai *error* setelah dilakukan penyaringan (*Filtering*) pada waktu yang sedang dihitung.

P_{aft-1} : Nilai *error* setelah dilakukan penyaringan (*Filtering*) pada satu waktu sebelumnya.

Du_{total} : Nilai total durasi proyek.

y_t : Nilai estimasi *Earned Value* yang mengandung ketidakpastian.

EAC : Nilai estimasi durasi hasil dari perhitungan *Earned Value*.

Sisa Waktu : Nilai sisa durasi aktual yang belum diketahui.

C : Nilai probabilitas acak.

K_t : Nilai Kalman untuk mengendalikan proses penyaringan (*Filtering*).

Du_m : Nilai durasi pada saat pengamatan aktual proyek.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data proyek konstruksi dari proyek-proyek pemeliharaan dan rekonstruksi jalan tol berupa kurva-S dengan bobot rencana dan realisasi proyek yang sudah selesai.
2. Memeriksa kembali kelengkapan data yang telah diperoleh. Bila data yang diperoleh belum lengkap, maka dilakukan pengumpulan data yang masih belum diperoleh.
3. Perhitungan Durasi Akhir Proyek dengan *Earned Value Method* (EVM)
4. Perhitungan Durasi Akhir Proyek dengan *Earned Schedule Method* (ESM)
5. Perhitungan Estimasi Durasi Akhir Proyek dengan *Kalman Filter Earned Value Method* (KEVM)
6. Analisis Akurasi dengan Metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)
7. Pengambilan Kesimpulan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data proyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah proyek-proyek pemeliharaan dan rekonstruksi jalan tol. Proyek pemeliharaan dan rekonstruksi jalan Tol Jakarta – Cikampek, proyek perubahan sistem transaksi pada jalan Tol Jakarta – Cikampek (Gerbang Tol Cikopo), dan jalan Tol Jakarta – Tangerang.

Analisis Akurasi *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

Pada tabel 1 adalah rangkuman hasil nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) EVM, ESM, dan KEVM dari 3 proyek dapat dilihat nilai MAPE dari ketiga proyek menunjukkan bahwa ESM memiliki nilai kesalahan paling kecil dari proyek 1 sebesar 14.9780%, proyek 2 sebesar 13.5544%, dan proyek 3 sebesar 5.1770%. KEVM menunjukkan prediksi yang lebih baik dibandingkan EVM yaitu dari proyek 1 sebesar 26.0246%, proyek 2 sebesar 16.6520%, dan proyek 3 sebesar 9.0468%. Sedangkan EVM memberikan nilai MAPE terbesar yaitu dari

proyek 1 sebesar 31.0737%, proyek 2 sebesar 21.2058%, dan proyek 3 sebesar 14.5436%. Rata-rata EVM sebesar 22.2744%, ESM sebesar 11.2365%, KEVM sebesar 17.2411%.

Tabel 1. Nilai MAPE EVM, ESM, dan KEVM dari 3 Proyek

MAPE	EVM (%)	ESM (%)	KEVM (%)
PROYEK 1	31.0737	14.9780	26.0246
PROYEK 2	21.2058	13.5544	16.6520
PROYEK 3	14.5436	5.1770	9.0468
Rata-rata	22.2744	11.2365	17.2411

Tabel 2. Nilai MAPE EVM, ESM, dan KEVM dengan Tahapan Waktu dari Proyek 1

Tahapan Proyek 1	minggu	% Durasi	MAPE (%)		
			EVM	ESM	KEVM
Tahap 1	1-20	56%	53.0714	24.9370	42.6679
Tahap 2	21-36	44%	3.5766	2.5292	5.2204
Keseluruhan Proyek	36	100%	31.0737	14.9780	26.0246

Pada tabel 2 dapat dilihat pada tahap 1 dari minggu ke-1 sampai ke-20 ESM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu 24.9370%. Pada tahap 2 dari minggu ke-21 sampai ke-36 ESM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu 2.5292%. Keseluruhan proyek ESM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu 14.9780%. Pada tahap 1, tahap 2, dan keseluruhan proyek ESM menunjukkan nilai MAPE yang terkecil. Pada tahap 1 KEVM menunjukkan nilai MAPE yang lebih kecil dari EVM tetapi pada tahap 2 EVM lebih kecil dibandingkan KEVM.

Tabel 3. Nilai MAPE EVM, ESM, dan KEVM dengan Tahapan Waktu dari Proyek 2

Tahapan Proyek 2	minggu	% Durasi	MAPE (%)		
			EVM	ESM	KEVM
Tahap 1	1-17	50%	35.5779	22.2769	26.5921
Tahap 2	18-34	50%	6.8337	4.8319	6.7119
Keseluruhan Proyek	34	100%	21.2058	13.5544	16.6520

Pada tabel 3 dapat dilihat pada tahap 1 dari minggu ke-1 sampai ke-17 ESM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu 22.2769%. Pada tahap 2 dari minggu ke-18 sampai ke-34 ESM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu 4.8319%. Keseluruhan proyek ESM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu 13.5544%. Pada tahap 1, tahap 2, dan keseluruhan proyek ESM menunjukkan nilai MAPE yang terkecil. Pada tahap 1 dan tahap 2 KEVM menunjukkan nilai MAPE yang lebih kecil dari EVM.

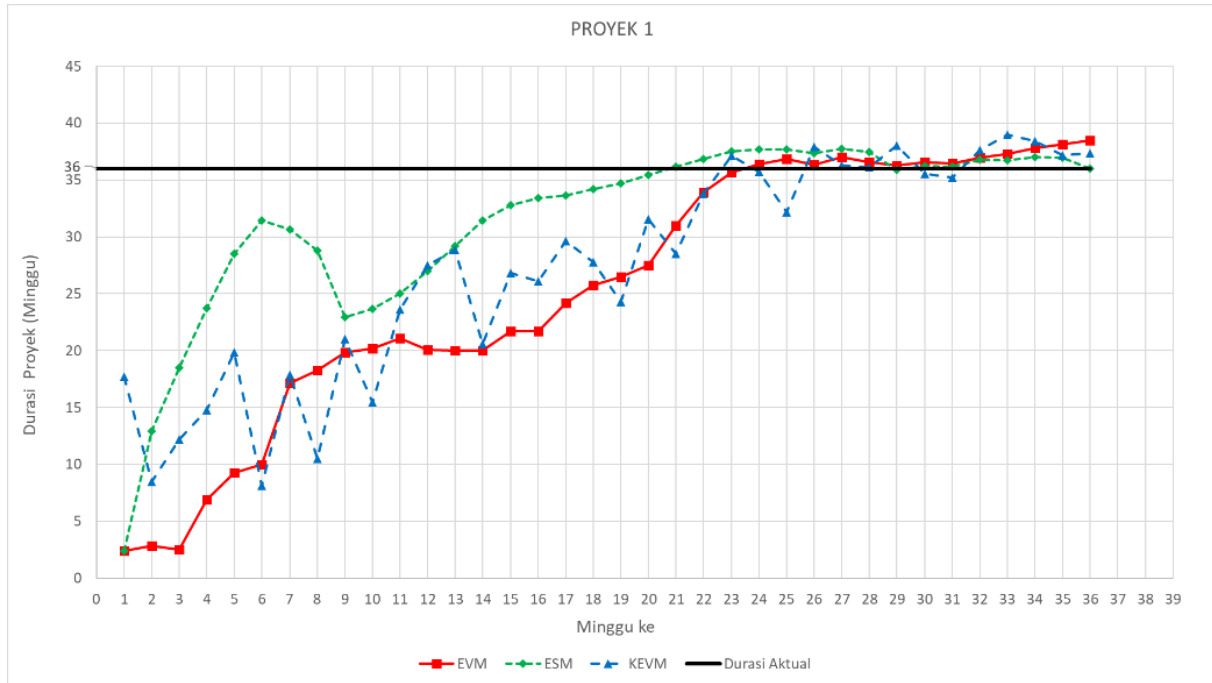
Tabel 4. Nilai MAPE EVM, ESM, dan KEVM dengan Tahapan Waktu dari Proyek 3

Tahapan Proyek 3	minggu	% Durasi	MAPE (%)		
			EVM	ESM	KEVM
Tahap 1	1-11	50%	28.0885	8.2198	16.1071
Tahap 2	12-22	50%	0.9987	2.1342	1.9865
Keseluruhan Proyek	22	100%	14.5436	5.1770	9.0468

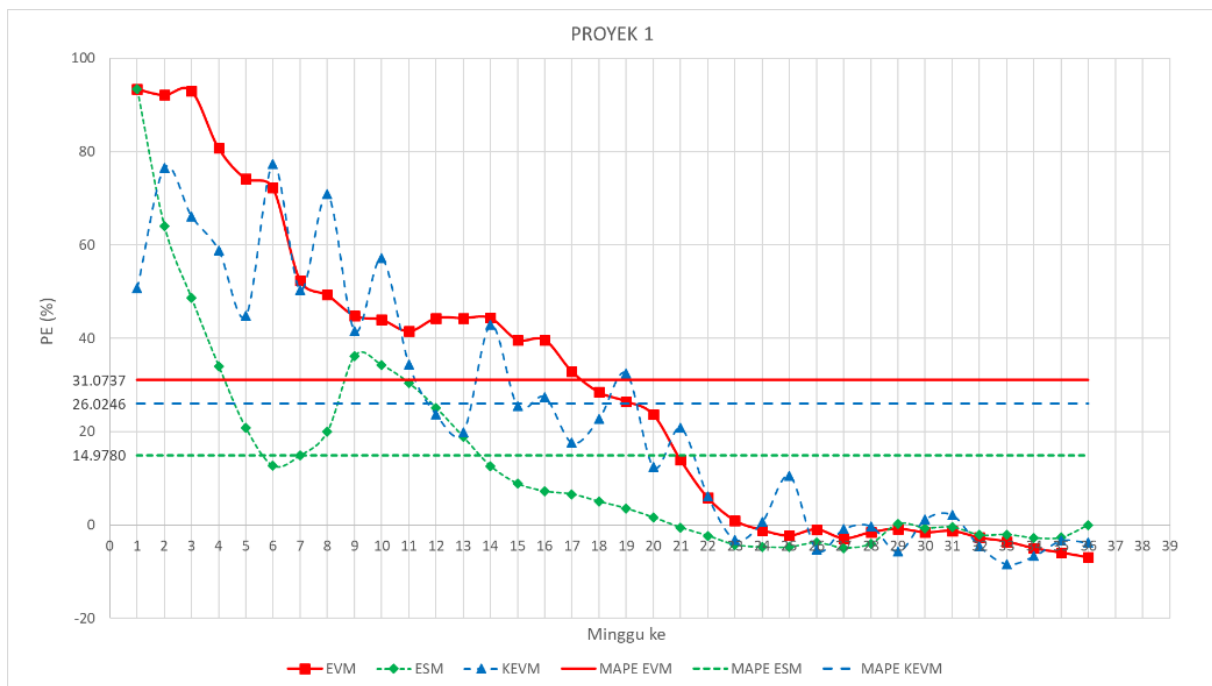
Pada tabel 4 dapat dilihat pada tahap 1 dari minggu ke-1 sampai ke-11 ESM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu 8.2198%. Pada tahap 2 dari minggu ke-12 sampai ke-22 EVM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu

0.9987%. Keseluruhan proyek ESM menunjukkan nilai MAPE terkecil yaitu 5.1770%. Pada tahap 1, dan keseluruhan proyek ESM menunjukkan nilai MAPE yang terkecil sedangkan di tahap 2 EVM menunjukkan nilai MAPE yang terkecil.

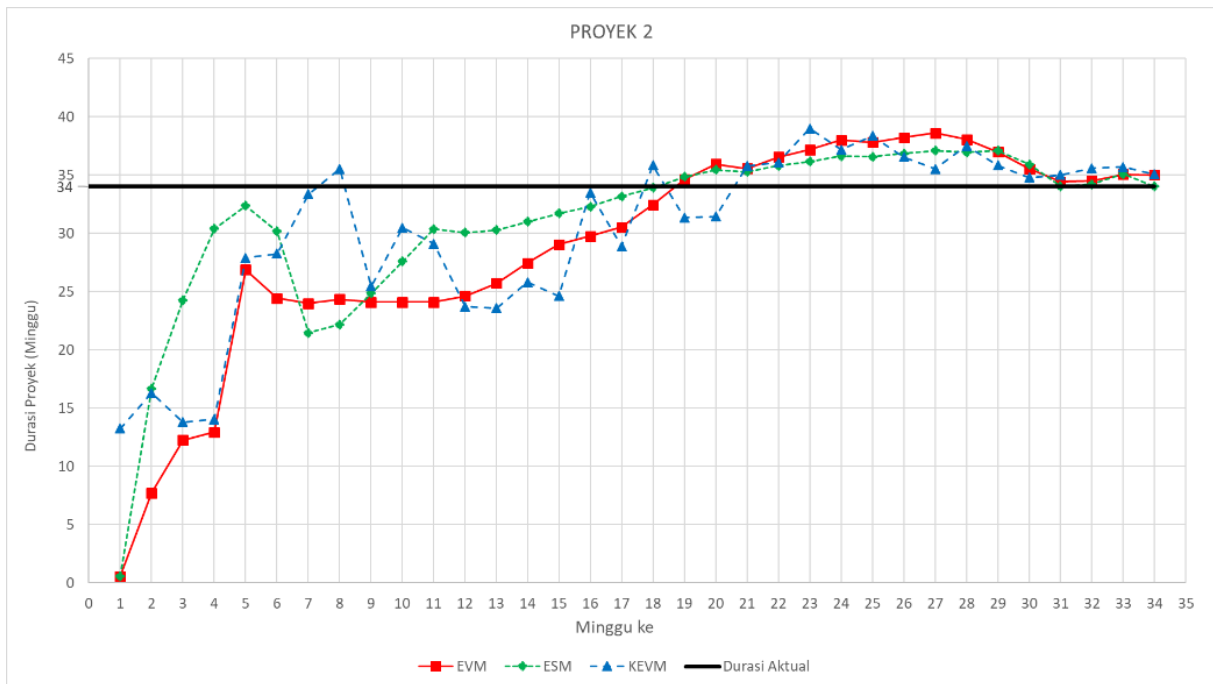
Berikut ini adalah grafik hasil EAC dan MAPE dari EVM, ESM, dan KEVM dari 3 proyek.



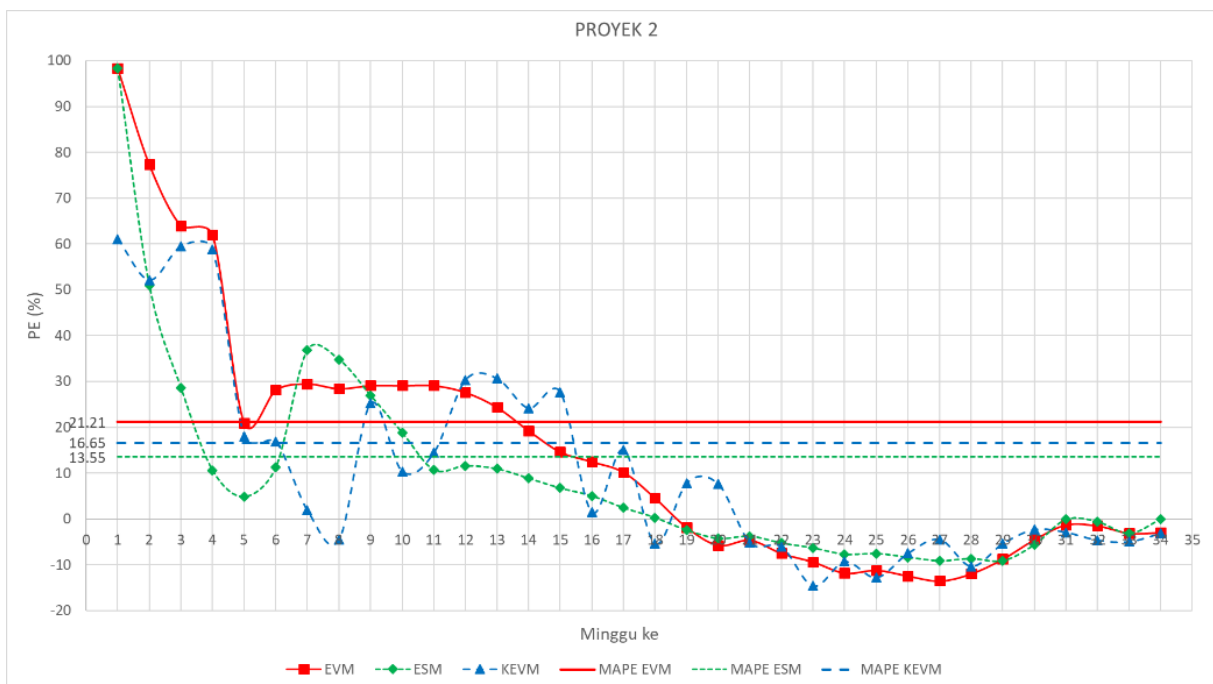
Gambar 3. Grafik EAC Durasi Proyek pada Proyek 1



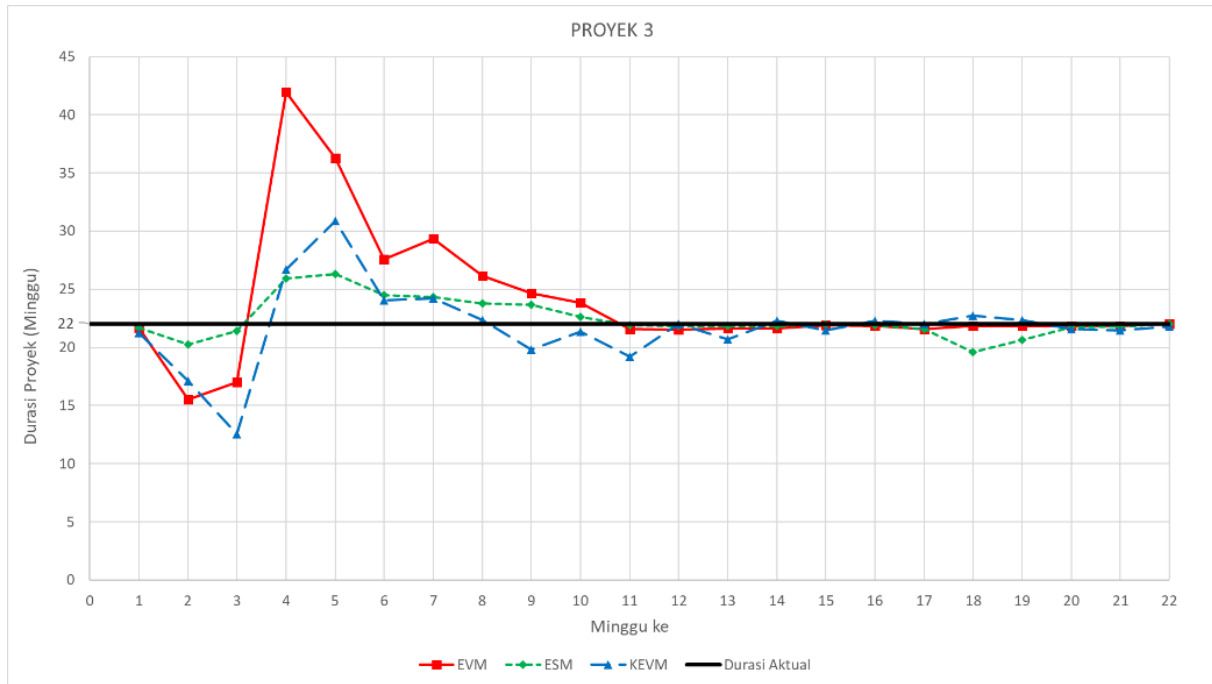
Gambar 4. Grafik MAPE EVM, ESM, dan KEVM pada Proyek 1



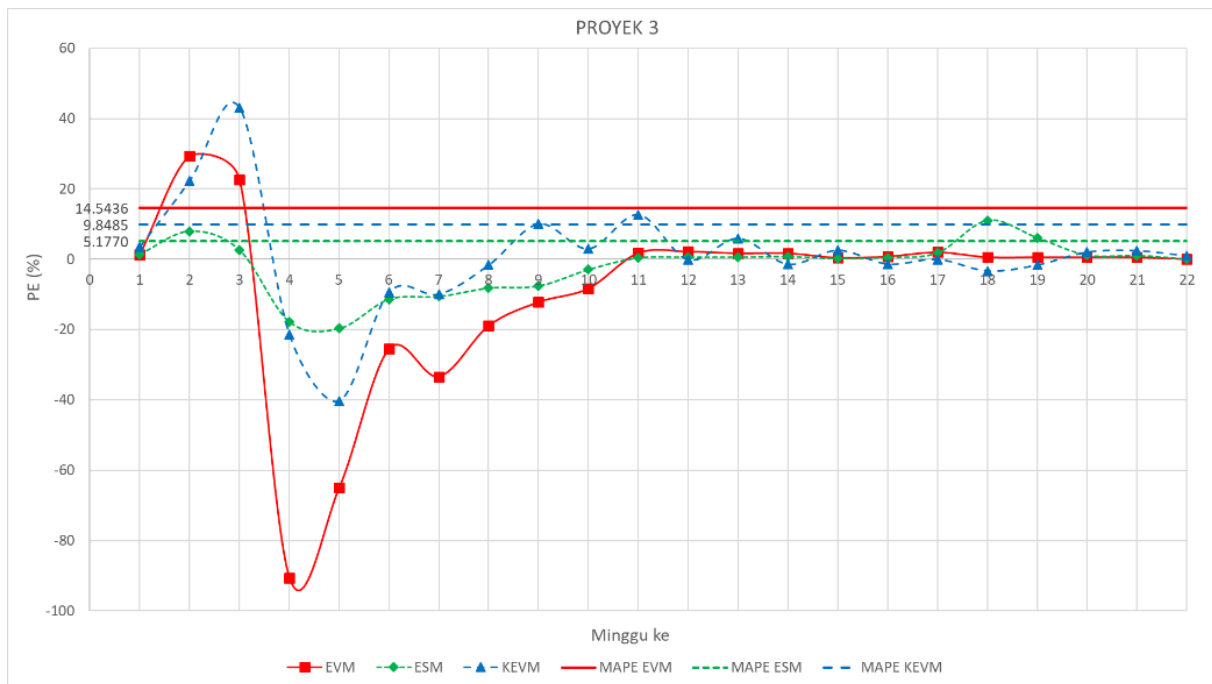
Gambar 5. Grafik EAC Durasi Proyek pada Proyek 2



Gambar 6. Grafik MAPE EVM, ESM, dan KEVM pada Proyek 2



Gambar 7. Grafik EAC Durasi Proyek pada Proyek 3



Gambar 8. Grafik MAPE EVM, ESM, dan KEVM pada Proyek 3

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil prediksi durasi akhir proyek dengan metode *Earned Value Method* (EVM) dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:
 - a. Prediksi dengan EVM sangat dipengaruhi oleh kumulatif bobot rencana dan realisasi karena berdasarkan biaya.
 - b. Hasil prediksi dengan EVM dari proyek 1 dan 2 menunjukkan kesalahan yang besar di awal proyek berjalan.
 - c. Hasil dari prediksi dengan EVM menghasilkan perkiraan yang kurang akurat dibandingkan ESM.
2. Dari hasil prediksi durasi akhir proyek dengan metode *Earned Schedule Method* (ESM) dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:
 - a. Prediksi dengan ESM menunjukkan kesalahan perkiraan durasi akhir yang besar pada tahap awal proyek.
 - b. Setelah melewati masa awal proyek ESM menunjukkan hasil prediksi yang paling mendekati durasi aktual.
 - c. Hasil prediksi dengan ESM menghasilkan perkiraan akurat meskipun ada penundaan atau keterlambatan kinerja proyek.
3. Dari hasil prediksi durasi akhir proyek dengan metode *Kalman Filter Earned Value Method* (KEVM) dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:
 - a. Prediksi dengan KEVM hanya dapat memperbaiki prediksi durasi akhir proyek dari EVM.
 - b. Penggunaan KEVM memberikan hasil prediksi yang lebih baik di awal proyek dibandingkan EVM.
4. Dari hasil perbandingan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dapat disimpulkan sebagai berikut:
 - a. Dari ketiga proyek didapatkan hasil dengan ESM memberikan nilai MAPE yang paling kecil.
 - b. KEVM memberikan nilai MAPE yang lebih kecil dibandingkan EVM. Hal ini menunjukkan Kalman Filter berhasil meningkatkan akurasi dari EVM.
5. Dari hasil perbandingan dari ketiga proyek penggunaan *Earned Value Method* (EVM), *Earned Schedule Method* (ESM), dan *Kalman Filter Earned Value Method* (KEVM) pada tahap awal tidak dapat digunakan untuk prediksi durasi proyek, pada tahap setelah separuh proyek berjalan baru prediksi durasi proyek dapat digunakan.

Saran

Penulis ingin memberikan saran untuk penelitian selanjutnya mengenai akurasi EVM, ESM, dan KEVM dalam prediksi durasi akhir proyek yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat diterapkan pada proyek perumahan, gedung bertingkat, dan proyek konstruksi lainnya.
2. Untuk penelitian selanjutnya penggunaan *Kalman Filter* dapat digunakan dengan ESM sehingga menghasilkan prediksi durasi akhir yang lebih mendekati durasi aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- Awwad, H. M., Valdes, J. B., dan Restrepo, P. J. "Streamflow forecasting for Han River basin, Korea." *Journal of Water Resources Planning and Management* 120.5 1994, 651–673.
- Barraza, G. A., Back, W. E., dan Mata, F. "Probabilistic forecasting of project performance using stochastic S curves." *Journal of Construction Engineering and Management* 13.1 2004, 25–32.
- Kalman, Rudolph Emil. "A new approach to linear filtering and prediction problems." *Journal of Basic Engineering* 82.1 1960: 35-45.
- Kim, Byung-Cheol, dan Kenneth F. Reinschmidt. "Probabilistic forecasting of project duration using Kalman filter and the earned value method." *Journal of Construction Engineering and Management* 136.8 2010: 834-843.
- Kim, Byung-Cheol. "Probabilistic performance risk evaluation of infrastructure projects." *Int. Conf. on Vulnerability and Risk Analysis and Management (ICVRAM)*, ASCE, Reston, VA 2011.
- Kim, Byung-Cheol, dan Hyung-Jin Kim. "Sensitivity of earned value schedule forecasting to S-curve patterns." *Journal of Construction Engineering and Management* 140.7 2014: 04014023.
- Lipke, W. 2003. "Schedule is Different." *The Measurable News*, Summer 2003:31–34.
- Vaudrey, Toby. *M163: Kalman Filter Tank Filling*. September, 2008.
- Wauters, Mathieu, dan Mario Vanhoucke. "Study of the stability of earned value management forecasting." *Journal of Construction Engineering and Management* 141.4 2014: 04014086.

