

PERHITUNGAN DURASI PROYEK JALAN TOL DENGAN METODE *EARNED SCHEDULE*

Chraladea Chrisna¹ dan Basuki Anondho²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
chraladea.325190112@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
basukia@ft.untar.ac.id

Masuk: 12-07-2023, revisi: 28-07-2023, diterima untuk diterbitkan: 02-08-2023

ABSTRACT

The slower-than-anticipated progress of construction projects is a common complaint in Indonesia. Several methods have been developed to address this issue, and the Earned Schedule method is just one of them. This method is derived from the Acquisition Value strategy and works by converting acquisition cost signals into operational time signals. The Earned Schedule method has a time component. The purpose of this study is to determine whether the Earned Schedule method is suitable for use in estimating the duration of toll road infrastructure projects in Indonesia. The purpose of this study is to see if there is a correlation between the median Earned Schedule and the median actual duration of the population. If checking whether the two samples come from the same population, you can use the mean difference hypothesis test. The results of this study were organized using seven unfinished and four complete sets of s-curve data. Therefore, using the Earned Schedule method, there is no statistically significant difference between the two groups in terms of final duration estimation. As a result, the Earned Schedule method can be used to accurately predict how long it will take for toll road projects in Indonesia.

Keywords: delay; construction; infrastructure; toll road; Earned Schedule.

ABSTRAK

Kemajuan proyek konstruksi yang lebih lambat dari yang diantisipasi merupakan keluhan umum di Indonesia. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini, dan metode *Earned Schedule* hanyalah salah satunya. Metode ini berasal dari strategi Nilai Akuisisi dan bekerja dengan mengubah sinyal biaya akuisisi menjadi sinyal waktu operasional. Metode *Earned Schedule* memiliki komponen waktu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah metode *Earned Schedule* cocok digunakan dalam memperkirakan durasi proyek infrastruktur jalan tol di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat apakah ada korelasi antara median *Earned Schedule* dengan median durasi aktual populasi. Jika memeriksa apakah kedua sampel berasal dari populasi yang sama, Anda dapat menggunakan uji hipotesis perbedaan rata-rata. Hasil penelitian ini diorganisasikan menggunakan tujuh set data s-curve yang belum selesai dan empat set lengkap. Oleh karena itu, dengan menggunakan metode *Earned Schedule*, tidak ada perbedaan yang signifikan secara statistik antara kedua kelompok dalam hal estimasi durasi akhir. Hasilnya, metode *Earned Schedule* dapat digunakan untuk memprediksi secara akurat berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk proyek jalan tol di Indonesia.

Kata kunci: keterlambatan; konstruksi; infrastruktur; jalan tol; *Earned Schedule*.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu dari beberapa negara berkembang yang dengan cepat memperbaiki infrastruktur fisiknya. Ada banyak kota yang tersebar di lima pulau utama Indonesia. Jalan tol adalah contoh infrastruktur berbasis lahan yang membantu menghubungkan daerah perkotaan di satu pulau. Perbaikan infrastruktur ini merupakan bagian dari proyek pembangunan yang berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia. Transportasi, irigasi, drainase, bangunan, dan utilitas umum lainnya merupakan bagian dari sistem fisik yang dikenal sebagai infrastruktur (Grigg, 1988). Pemerintah di bawah Presiden Joko Widodo memprioritaskan dan mempercepat pembangunan jalan tol. Salah satu tujuan dan manfaat infrastruktur jalan tol ini adalah untuk membantu penyebaran pertumbuhan ekonomi ke pelosok-pelosok Indonesia.

Proyek konstruksi adalah salah satu kegiatan yang terus berkembang seiring dengan berjalannya waktu dan perkembangan jaman. Setiap proyek konstruksi yang dibangun dipercaya dapat mencapai tujuan dan memenuhi sasaran. Menurut Al-Hazim et al. (2017) ada 3 (tiga) tahapan penting yang harus dilakukan untuk semua proyek

konstruksi yakni tahap persiapan perencanaan, tahap penjadwalan, dan tahap evaluasi biaya, 3 (tiga) tahap tersebut penting dan harus dilakukan secara matang agar dapat meminimalisir masalah mengenai waktu, biaya, dan kualitas. Proyek konstruksi pada saat proses pembangunan atau konstruksi diharapkan berjalan sesuai dengan kegiatan yang sudah direncanakan pada tahap perencanaan, maka dari itu proyek konstruksi juga diperlukan kegiatan pengendalian proyek (*project controlling*). Salah satu pengendalian proyek adalah memprediksi biaya dan durasi proyek konstruksi agar tidak terjadi keterlambatan dan pembengkakan biaya saat berlangsungnya proses konstruksi tersebut.

Pihak manajemen proyek konstruksi juga merasakan bahwa kemampuan untuk dapat memprediksi waktu dan biaya akhir proyek konstruksi merupakan manfaat paling penting dari salah satu teknik pengendalian proyek konstruksi. Durasi proyek adalah salah satu aspek penting dalam mengelola dan menilai keseluruhan kinerja proyek konstruksi (Khamooshi & Abdi, 2017). Namun seringkali durasi proyek tidak dapat diprediksi secara akurat, atau dapat dikatakan terjadi ketidakpastian dalam waktu konstruksi yang dapat disebabkan oleh berbagai macam hal salah satu contoh keterbatasan yang tidak dapat diduga adalah cuaca. Sehingga, kinerja jadwal proyek konstruksi sering kali menyeleweng dari rencana yang sudah disusun pada tahap perencanaan. Prediksi durasi proyek konstruksi ini termasuk dalam tahap perencanaan dikarenakan memiliki peran yang sangat penting.

Prediksi harus akurat jika data kinerja nyata pada suatu proyek akan diperkirakan dan jika penyimpangan jadwal dari rencana akan diidentifikasi dan, pada akhirnya, dihindari. Dalam konteks proyek konstruksi yang berisiko, prediksi sangat penting untuk keberhasilan (Khamooshi & Abdi, 2017). Keputusan di masa depan seringkali sangat dipengaruhi oleh pengetahuan dan data dari masa lalu, yang digunakan untuk membuat prediksi tentang kemungkinan alternatif terbaik yang akan diambil di masa depan. Hal ini membuka jalan bagi para pembuat keputusan yang terlibat dalam proyek untuk menggunakan tindakan pencegahan dan perbaikan dari berbagai jenis untuk mengurangi dampak negatif dari keterlambatan jadwal.

Untuk memperkirakan berapa lama suatu proyek akan berlangsung secara total, *Earned Value Method* (EVM) sering digunakan. Untuk waktu yang lama, pendekatan ini telah membantu menghemat pengeluaran dan mempersingkat durasi proyek, dua perhatian utama bagi mereka yang bertanggung jawab atas manajemen (Lipke et al., 2009). Terlepas dari ukuran, kerumitan, atau jenis proyek, pendekatan nilai yang diperoleh dapat dipercaya memberikan perkiraan untuk ruang lingkup, durasi, dan anggaran proyek. Pendekatan nilai yang diperoleh memiliki manfaat ganda untuk mengomunikasikan kemajuan yang dibuat pada proyek pembangunan melalui sarana keuangan dan kerangka waktu di mana kemajuan itu dicapai (Mubarak, 2010). *Earned value analysis* adalah teknik untuk memantau kemajuan proyek dan memberikan peringatan dini atas potensi masalah termasuk anggaran yang berlebihan dan jadwal yang tidak tepat (Anondho et al., 2017). Namun, tidak ada cara yang dapat diandalkan untuk mengantisipasi berapa lama proyek konstruksi menggunakan pendekatan nilai yang diperoleh (Moselhi, 2011) karena tidak ada tanda-tanda yang dapat menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek.

Strategi tersebut dibuat sebagai tanggapan atas kekurangan dalam pendekatan nilai yang diperoleh. Teknik jadwal yang diperoleh merupakan perluasan dari pendekatan nilai yang diperoleh. Teknik jadwal yang diperoleh adalah cara menghitung biaya proyek yang memanfaatkan waktu sebagai indikasi daripada uang (Vanhoucke et al., 2015). Bila dibandingkan dengan pendekatan lain, metode jadwal yang diperoleh lebih unggul dalam kapasitasnya untuk secara akurat mengantisipasi panjang proyek konstruksi karena dihitung menggunakan indikator berbasis biaya.

Menurut Lipke (2009) teknik jadwal yang diperoleh mengungguli metode nilai yang diperoleh dalam hal ketepatan waktu. Prediksi indeks kinerja jadwal menunjukkan kesalahan besar pada tahap awal, yang cenderung menghasilkan arah yang salah pada pekerjaan awal ketika pola penundaan jadwal sama dengan penentuan varians jadwal (Kim & Kim, 2014). Teknik jadwal yang diperoleh memiliki satu kelemahan utama: tidak dapat digunakan pada awal pekerjaan proyek konstruksi, dan perhitungannya hanya menghasilkan satu nilai—penekanan tunggal pada satuan waktu (Khamooshi & Abdi, 2017).

Berbeda dengan pendekatan berbasis biaya teknik nilai yang diperoleh untuk jadwal kerja, metode jadwal yang diperoleh menghasilkan indikasi berbasis waktu (Lipke, 2011). Jadwal dan prediksi waktu dapat dievaluasi dengan menggunakan pendekatan jadwal yang diperoleh (Anondho, 2018).

Metode ini masih dikembangkan oleh Walt Lipke dengan memperbaiki perhitungan estimasi durasi pada saat proyek konstruksi selesai atau disebut EAC (*Estimate at Complete*) tujuannya adalah agar dapat memberikan hasil yang lebih akurat. Penggunaan metode *earned schedule* ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk membantu pihak manajemen proyek dalam memperhitungkan kinerja proyek konstruksi agar dapat berjalan sesuai tujuan, rencana yang sudah disusun dan mampu dalam memprediksi durasi suatu proyek konstruksi (Anondho, 2018).

Kim & Kim (2014) menemukan bahwa menggunakan indeks kinerja jadwal dengan biaya satuan menghasilkan hasil yang hampir identik dengan menggunakan indeks kinerja jadwal dengan satuan waktu; namun, penelitian juga menemukan bahwa menggunakan indeks kinerja jadwal dengan biaya per unit menghasilkan perkiraan yang biasanya

tidak seakurat menggunakan indeks kinerja jadwal dengan satuan waktu, terutama pada jadwal proyek dengan kurva non-linier. Studi ini menunjukkan bahwa pendekatan manajemen nilai yang diperoleh berdasarkan biaya unit memberikan perkiraan waktu penyelesaian total proyek yang kurang dapat diandalkan dibandingkan pendekatan lainnya.

Pendekatan nilai yang diperoleh dan metode jadwal yang diperoleh keduanya dipelajari oleh Lipke et al. (2009). Untuk mengidentifikasi sifat atau pola yang berpotensi memprediksi di antara teknik, penelitian ini membagi data proyek menjadi 7 (tujuh) rentang persen keseluruhan untuk dianalisis. Untuk setiap proyek dan persentase total jarak pengujian, deviasi standar dari durasi akhir aktual vs estimasi dihitung. Temuan penelitian mengungkapkan bahwa teknik nilai yang diperoleh tidak memberikan perkiraan yang lebih akurat, menyangkal hipotesis nol.

Di sisi lain, manajemen konstruksi melihat bagaimana efisiensi dan produktivitas dapat ditingkatkan di sektor bangunan. Penelitian ini berusaha untuk memverifikasi teori tentang korelasi antara teknik jadwal yang diperoleh dan total waktu yang digunakan untuk menyelesaikan proyek bangunan masa lalu. Informasi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari proyek pembangunan jalan tol di berbagai wilayah Indonesia.

Batasan masalah

Dalam suatu penelitian diperlukan batasan masalah agar suatu masalah yang diteliti lebih jelas dan terarah. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Data kurva-s proyek yang digunakan adalah data kurva-s proyek jalan tol di Indonesia.
2. Data kurva-s yang dikumpulkan sebanyak 7 data proyek *on-going* dan 4 data proyek realisasi

Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah metode *Earned Schedule* (ES) dapat digunakan untuk memprediksi durasi proyek jalan tol di Indonesia.

Metode *earned schedule*

Untuk lebih akurat memprediksi berapa lama proyek akan berlangsung, teknik jadwal yang diperoleh dikembangkan sebagai cabang dari pendekatan nilai yang diperoleh (Lipke et al., 2009). Peneliti Walt Lipke pertama kali mengemukakan gagasan tersebut pada tahun 2003, ketika dia sedang mengerjakan proyek pengembangan perangkat lunak berdasarkan manajemen nilai yang diperoleh. Walt Lipke menghadiri seminar yang diselenggarakan oleh Quentin Fleming untuk mempelajari lebih lanjut tentang perangkat lunak yang sedang dibangun. Di sana, dia mendengar diskusi mendalam tentang indeks kinerja biaya, sebuah gagasan yang awalnya dibuat oleh Dr. Christensen. Saat itulah orang mulai bertanya-tanya mengapa indikasi indeks kinerja jadwal tidak diangkat sebagai cara untuk mengukur kemajuan proyek. Investigasi lebih lanjut mengungkapkan kelangkaan literatur tentang topik indeks kinerja jadwal, yang pada akhirnya mengarah pada konsepsi jadwal yang diperoleh.

Indikator jadwal berbasis waktu yang digunakan dalam teknik jadwal yang diperoleh ini lebih disukai daripada metrik moneter atau berbasis biaya. Gagasan penjadwalan yang diperoleh ini mencakup jadwal indeks kinerja baru dari waktu ke waktu, yang diberikan oleh notasi SPI(t). Parameter jadwal yang diperoleh identik dengan parameter nilai yang diperoleh; teknik nilai yang diperoleh membutuhkan BCWP dan BCWS tetapi bukan ACWP karena yang pertama akan tercermin di yang terakhir.

Validasi uji hipotesis selisih rata-rata

Pengertian pengesahan dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah memverifikasi atau menguji kehandalan. Validitas mengacu pada sejauh mana perbedaan dalam hasil tes mencerminkan perbedaan asli dalam sifat-sifat yang diuji antara peserta tes atau antara kelompok peserta tes, atau antara peserta tes serupa dalam konteks yang berbeda. Oleh karena itu, jika kita mendefinisikan validasi sebagai metrik yang menunjukkan tingkat validitas atau validitas suatu instrumen, maka kita dapat mengatakan bahwa instrumen tertentu valid jika dan hanya jika mampu mengukur variabel target.

Hipotesis adalah pernyataan tentatif yang berfungsi sebagai landasan untuk membuat keputusan atau melakukan penelitian. Karena hipotesis terbuka untuk kesimpulan yang benar dan salah, itu tidak dapat berfungsi sebagai dasar untuk penilaian atau kesimpulan. Untuk menentukan apakah suatu hipotesis benar atau salah, harus diuji dengan menggunakan bukti-bukti yang diperoleh dari pengamatan yang sebenarnya (Wicaksono, 2007). Hasil dari setiap pengujian yang dilakukan terhadap hipotesis ini akan menunjukkan valid atau tidaknya hipotesis tersebut.

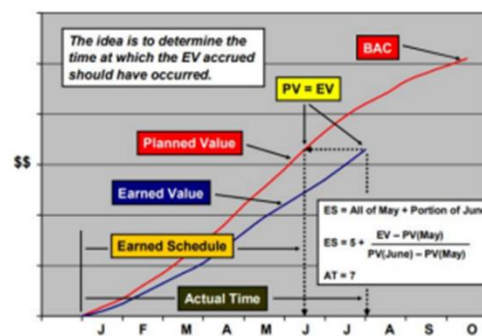
2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data Kurva-S proyek

Pendekatan dokumentasi dan pengarsipan digunakan untuk memperoleh data. 2 Analisis ini mengandalkan kurva-S yang diproyeksikan dan aktual untuk datanya. Kontraktor yang menangani proyek pembangunan jalan tol di Indonesia telah merilis data proyek melalui Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), sehingga informasi tersebut relevan dengan proyek yang sedang berjalan. Nilai berat yang diproyeksikan, nilai berat aktual, dan panjang keseluruhan proyek bangunan semuanya diambil dan digunakan dari kurva-s. *Earned Schedule* (ES) ditentukan oleh titik-titik pada kurva-S.

Perhitungan durasi dengan Metode *Earned Schedule* (ES)

Nilai ES diperoleh setelah mengumpulkan data kurva-s yang sedang berlangsung. Alat spreadsheet Microsoft Excel digunakan untuk memfasilitasi penelitian ini. Untuk menghitung nilai ES, kami menggunakan EV untuk menentukan titik di mana nilai biaya waktu PV harus naik (Lipke, 2011). Gambar 1 menggambarkan metodologi Earned Schedule dalam bentuk konseptualnya.



Gambar 1. Konsep Dasar *Earned Schedule* (Lipke, 2011)

Metode *earned schedule* ini memiliki 2 (dua) komponen utama yakni nilai C dan I, yaitu:

C: nilai periode yang ditentukan dengan menghitung jumlah penambahan waktu dari pengukuran kinerja dasar atau performance measurement Baseline (PMB) yang memenuhi kondisi $BCWP > BCWS$.

I: nilai hasil interpolasi linear untuk menentukan nilai PMB pada titik yang ditinjau dengan menggunakan persamaan 1.

$$I = (BCWP - BCWS_C) / (BCWS_{C+1} - BCWS_C) \quad (1)$$

dengan $BCWP$ = bobot kumulatif aktual pada titik pengamatan terakhir, $BCWS_C$ = bobot kumulatif rencana pada titik pengamatan terakhir, dan $BCWS_{C+1}$ = bobot kumulatif rencana pada titik pengamatan selanjutnya

Dengan demikian nilai ES (*Earned Schedule*) dapat diperoleh dari persamaan 2:

$$ES = C + I \quad (2)$$

dengan C = nilai periode yang ditentukan dengan menghitung jumlah penambahan waktu dari pengukuran kinerja dasar atau performance measurement Baseline (PMB) yang memenuhi kondisi $BCWP > BCWS$, dan I = nilai hasil interpolasi Persamaan 1.

Rumus ini dapat digunakan untuk menghitung nilai ES mingguan untuk satu proyek. Nilai ES setiap proyek dihitung pada akhir proyek menggunakan prosedur ini.

Perhitungan EAC dengan Metode *Earned Schedule* (ES)

Karena teknik *Earned Schedule* menggunakan data berbasis waktu, langkah selanjutnya adalah menghitung Varians Jadwal (t) dan Indeks Kinerja Jadwal (t) yang dapat diperoleh dengan persamaan 3 dan Persamaan 4.

Schedule Variance (time) atau $SV(t)$

$$SV(t) = ES - AT \quad (3)$$

dengan ES = nilai *Earned Schedule* dan AT = *Actual Time*, yakni waktu aktual dari durasi proyek yang diamati.

Schedule Performance Index (time) atau $SPI(t)$

$$SPI(t) = \frac{ES}{AT} \quad (4)$$

dengan $AT = Actual Time$, yakni waktu aktual dari durasi proyek yang diamati dan $ES =$ Nilai dari *Earned Schedule* yang diperoleh.

Pada awal atau akhir suatu proyek, data yang dihasilkan dari nilai indikator ini dapat digunakan untuk menentukan total waktu proyek. Dengan menggunakan persamaan 5 (Lipke et al., 2009), didapatkan nilai durasi proyek yang diharapkan dari metode *Earned Schedule*, juga dikenal sebagai *Estimate at Completion* (EAC):

$$EAC(t) = AT + \frac{PD-ES}{SPI(t)} \quad (5)$$

dengan $PD = Project Duration$, yakni durasi total proyek, $AT = Actual Time$, waktu aktual dari durasi proyek yang diamati, $ES =$ nilai *Earned Schedule*, dan $SPI(t) =$ nilai *Schedule Performance Index*.

Dengan menggunakan persamaan di atas, menghitung persentase kemajuan yang dibuat setiap minggu menuju nomor EAC (*Estimate at Completion*) proyek. Nilai EAC setiap proyek konstruksi kemudian dinormalisasi ke skala per kilometer persegi dengan membaginya dengan total luas jalan proyek. Untuk mendapatkan nilai EAC dapat menggunakan Persamaan 6.

$$EAC \left(\frac{\text{durasi}}{\text{Km}^2} \right) = \frac{EAC(t)}{\text{Luas Jalan}} \quad (6)$$

dengan $EAC(t) =$ nilai *Estimate at Completion*.

Selanjutnya nilai EAC perminggu yang telah diperoleh dirata-rata untuk mendapatkan EAC/Km^2 per satu proyek.

Perhitungan prediksi akhir rata-rata

EAC/Km^2 dihitung untuk setiap proyek individu, dan kemudian rata-rata dari semua nilai proyek individu ditentukan. Data realisasi proyek dianalisis dengan metode yang sama, dengan durasi masing-masing proyek dibagi dengan luas jalan untuk menstandarkan data dalam kilometer persegi. Ini menghasilkan nilai durasi realisasi (minggu)/ km^2 , yang merepresentasikan total durasi realisasi/ km^2 . rata-rata, lalu gunakan alat deviasi standar untuk melihat apakah hipotesis perbedaan rata-rata berlaku, secara rata-rata.

Uji hipotesis selisih rata-rata

Perhitungan perkiraan durasi ES rata-rata dibandingkan dengan rata-rata realisasi proyek konstruksi menggunakan data aktual untuk melihat apakah prediksi tersebut mewakili kenyataan. Untuk melakukan perbandingan ini, kami menggunakan metode ES untuk menguji hipotesis nol bahwa tidak ada perbedaan antara rata-rata sampel dari hasil perhitungan durasi akhir dan rata-rata populasi dari data sampel untuk implementasi proyek di dunia nyata.

Hipotesis ini dapat diuji dengan cara yang sama seperti rata-rata, namun uji statistik memerlukan persamaan 7.

- Jika standar deviasi populasi diketahui

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} \text{ dengan } \sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad (7)$$

dengan $X_1 =$ Rata-Rata EAC/km^2 , $X_2 =$ Rata-Rata durasi akhir realisasi proyek/ km^2 , $\sigma_1 =$ Standar Deviasi dari perhitungan EAC/km^2 , $\sigma_2 =$ Standar Deviasi dari durasi akhir realisasi proyek, $n_1 =$ Jumlah sampel kurva-s *on-going*, dan $n_2 =$ Jumlah sampel kurva-s realisasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebanyak tujuh proposal diajukan ke proyek pembangunan jalan tol di Indonesia, memberikan data studi kurva-S untuk investigasi ini. Setiap kontraktor proyek pembangunan jalan tol yang ditunjuk melaporkan informasi tersebut kepada Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT).

Data proyek *on-going* & realisasi

Tabel 1 merupakan data proyek jalan tol yang *on-going* sebanyak 7 proyek

Tabel 1. Data proyek jalan tol *on-going*

Proyek	Fungsi Proyek	Luas jalan (Km^2)
P1	Jalan Tol	137.76
P2	Jalan Tol	118.32

Tabel 1 (Lanjutan). Data proyek jalan tol *on-going*

Proyek	Fungsi Proyek	Luas jalan (Km ²)
P3	Jalan Tol	134.07
P4	Jalan Tol	13.92
P5	Jalan Tol	60.9
P6	Jalan Tol	290.928
P7	Jalan Tol	308

Tabel 2 merupakan data proyek jalan tol yang sudah realisasi sebanyak 4 data proyek.

Tabel 2. Data proyek jalan tol realisasi

Proyek	Luas Jalan (km ²)	Durasi Realisasi	Satuan Waktu
P1	179.975	35	Bulan
P2	165.69	50	Bulan
P3	564	56	Bulan
P4	60.9	48	Bulan

Perhitungan *earned schedule*

Selanjutnya untuk data proyek jalan tol yang *on-going* dilakukan perhitungan nilai *earned schedule* (ES) dengan persamaan (2). Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan nilai ES.

Tabel 3. Hasil perhitungan *Earned Schedule*

Proyek	Progres Aktual (BCWP) (%)	Kinerja Durasi (BCWSC) (%)	Kinerja Durasi+1 (BCWSC+1)(%)	C	I	ES
P1	7.914	7.673	10.226	214	0.094399	214.0944
P2	27.77	20.123	28.066	122	0.962734	122.9627
P3	2.946	1.54	4.23	92	0.522677	92.52268
P4	12.267	10.226	22.08	153	0.172178	153.1722
P5	12.94	7.073	13.11	92	0.97184	92.97184
P6	4.883	4.099	6.452	61	0.333192	61.33319
P7	24.167	21.622	25.321	429	0.688024	429.688

Setelah didapatkan nilai ES untuk setiap proyek jalan tol *on-going*, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai EAC (*Estimate At Complete*). Sebelum perhitungan nilai EAC, nilai SPI(t) dihitung terlebih dahulu untuk setiap proyek dengan persamaan (4). Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan nilai EAC untuk setiap proyek *on-going*.

Tabel 4. Hasil Perhitungan EAC

Proyek	Luas Jalan (Km ²)	EAC (minggu)	EAC (minggu/Km ²)
P1	137.76	117.571	0.853448026
P2	118.32	71.426	0.603668019
P3	134.07	158.8571	1.184882077
P4	13.92	77.5714	5.572658046
P5	60.9	92	1.510673235
P6	290.928	139.286	0.478764505
P7	308	197.4286	0.641001948
Rata-rata			151.9854286
Standar Deviasi			110.0461184

Proyek realisasi

Selanjutnya untuk perhitungan durasi proyek jalan tol yang sudah terlealisasi sebanyak 4 data jalan tol, dilakukan perhitungan durasi realisasi dengan Persamaan 8.

$$\text{Durasi realisasi/km}^2 = \frac{\text{durasi realisasi}}{\text{Luas Jalan}} \quad (8)$$

Tabel 5 menampilkan hasil perhitungan durasi realisasi untuk proyek yang sudah selesai.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Proyek Realisasi

Proyek	Luas Jalan (Km ²)	Durasi Realisasi	Satuan Waktu	Durasi Realisasi	Durasi Realisasi (minggu/Km ²)
P1	179.975	35	bulan	152.083	0.84502292
P2	165.69	50	bulan	217.262	0.76262761
P3	564	56	bulan	243.334	0.43144326
P4	60.9	48	bulan	208.572	0.2919855
Rata-rata					242.641250
Standar Deviasi					220.718434

Uji Hipotesis Selisih Rata-Rata

Dengan menggunakan pendekatan *Earned Schedule*, rata-rata EAC/km² untuk tujuh proyek aktif di Indonesia adalah 1,549299, dengan standar deviasi 110,04611. Terdapat waktu realisasi rata-rata 0,58277 minggu/km² berdasarkan data dari 4 proyek, dengan standar deviasi 220,7184345. Selanjutnya, apakah ada perbedaan yang signifikan secara statistik antara dua populasi dengan menguji hipotesis perbedaan rata-rata, yang akan dihitung setelah menghitung rata-rata temuan dari dua populasi. Ini adalah bagaimana dapat menyatakan hipotesis:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$$

Dengan:

μ_1 = Populasi prediksi durasi dengan metode *Earned Schedule*

μ_2 = Populasi durasi realisasi proyek yang telah selesai

Dalam penelitian ini digunakan angka tingkat kepercayaan sebesar 95% sehingga diperoleh nilai $Z_{\alpha/2} = \pm 1.96$.

Nilai rata-rata dan standar deviasi dari kedua populasi dapat dilihat pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi

Keterangan	Nilai
X1	1.549299
X2	0.58277
σ_1	110.04611
σ_2	220.7184345
n1	7
n2	4

Perhitungan dilakukan dengan persamaan 7.

$$\begin{aligned}
 \sigma_{x1-x2} &= \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \\
 &= \sqrt{\frac{110.04611^2}{7} + \frac{220.7184345^2}{4}} \\
 &= 117.9371782 \\
 Z &= \frac{(X1-X2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sigma_{x1-x2}} \\
 &= \frac{(1.549299 - 0.58277) - (0)}{117.9371782} \\
 &= 0,81678
 \end{aligned}$$

Nilai Z yang dihitung, 0,81678, berada dalam interval $Z_{\alpha/2} = 1,96$. Temuan ini memberikan dukungan untuk H_0 , hipotesis nol bahwa durasi akhir populasi tidak berbeda dari panjang yang diprediksi oleh pendekatan *Earned Schedule*.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian hipotesis uji selisih rata-rata menunjukkan bahwa hasil perhitungan prediksi durasi dengan menggunakan metode *earned schedule* masih merupakan populasi yang sama dengan durasi realisasi hal ini ditunjukkan dengan nilai $Z = 0,81678$ masih berada dalam rentang daerah penerimaan hipotesis. Sehingga metode *earned schedule* valid untuk digunakan memprediksi durasi akhir proyek jalan tol di Indonesia.

Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Data proyek yang dikumpulkan lebih banyak agar memperoleh tingkat validitas yang tinggi dan dapat berkembang.
2. Studi proyek ini terbatas pada data dari proyek konstruksi jalan tol di Indonesia sehingga kontraktor di negara tersebut dapat lebih percaya diri dalam menggunakan pendekatan jadwal yang diperoleh untuk memperkirakan panjang akhir proyek. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak penelitian untuk memperluas penelitian ini dengan memasukkan data dari berbagai inisiatif di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hazim, N., Salem, Z. A., & Ahmad, H. (2017). Delay and Cost Overrun in Infrastructure Projects in Jordan. *Procedia Engineering*, 182, 18-24.
- Anondho, B. (2018). Pengembangan Model Prediksi Durasi Probabilistik Proyek Pembangunan Gedung Bertingkat Tinggi Berbasis Faktor Pengaruh Eksternal Terukur. *Disertasi, Universitas Indonesia*.
- Anondho, B., Latief, Y., Rarasati, A. D., & Mochtar, K. (2017). Probabilistic Construction Project Duration Prediction Models for High Rise Building Based on Earned Schedule Method in Jakarta. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 8(5), 477-481.
- Grigg, N. (1988). *Infrastructure Engineering and Management*. John Wiley & Sons.
- Khamooshi, H., & Abdi, A. (2017). Project Duration Forecasting Using Earned Duration Management with Exponential Smoothing Techniques. *Journal of Management in Engineering*, 33(1), 04016032.
- Kim, B.-C., & Kim, H.-J. (2014). Sensitivity of Earned Value Schedule Forecasting to S-Curve Patterns. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(7), 04014023.
- Lipke, W. (2011). Earned Schedule Schedule Performance Analysis from EVM Measures. *Projects and Profits Magazine*, XIII(1), 1-15.
- Lipke, W., & Henderson, K. (2006). Earned Schedule an emerging enhancement to EVM.
- Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., & Anbari, F. (2009). Prediction of Project Outcome: The Application of Statistical Methods to Earned Value Management and Earned Schedule Performance Indexes. *International Journal of Project Management*, 27(4), 400-407.
- Moselhi, O. (2011). The Use of Earned Value in Forecasting Project Duration. *28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, (hal. 689-693). Seoul, Korea.
- Mubarak, S. (2010). *Construction Project Scheduling and Control*. John Wiley & Sons.
- Vanchoucke, M., & Vandevoorde, S. (2006). A Simulation and Evaluation of Earned Value Metrics to Forecast the Project Duration. *Journal of The Operational Research Society*, 58, 1361-1374.
- Vanhoucke, M., Andrade, P., Salvaterra, F., & Batselier, J. (2015, February). Introduction to Earned Duration. *The Quarterly Magazine of the College of Performance Management*, hal. 15-27.
- Wicaksono, Y. (2007). *Seri Solusi Bisnis Berbasis TI: Aplikasi Excel dalam Menganalisis Data*. Jakarta: Alex Media Komputindo.