

PENERAPAN ANALISIS EARNED VALUE DAN OPTIMASI DENGAN METODE TIME COST TRADE OFF PADA PROYEK TOL KATARAJA SEKSI 1 JAKARTA-BANTEN

Daltaliya Aisyah Yuwono¹, Setiono² dan Fajar Sri Handayani³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: aliyayuwono03@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: setiono@ft.uns.ac.id

³ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: fajarhani@ft.uns.ac.id

ABSTRAK

Proyek Tol Kataraja Seksi 1 memiliki tantangan dalam batasan waktu, mutu, dan biaya untuk mencapai tujuan. Perkembangan pelaksanaan proyek yang dinamis berisiko pada keterlambatan waktu penyelesaian atau pembengkakan biaya bisa terjadi karena pada perencanaan awal yang memberikan dampak terhadap keseluruhan pekerjaan pada proyek. Upaya Pengendalian yang dilakukan adalah dengan metode *Earned Value Analysis* (EVA) untuk menilai kinerja pelaksanaan proyek dan optimasi dengan *time cost trade off* untuk mengoptimalkan pelaksanaan proyek. Hasil dari EVA diperoleh bahwa pada minggu ke-40 dan minggu ke-48 biaya yang dikeluarkan sesuai dengan rencana tetapi mengalami keterlambatan. Alternatif optimasi TCTO yang dilakukan didapatkan hasil yang paling efisien, yaitu penambahan 2 pekerja dengan penurunan biaya sebesar Rp 60,357,475.11 dengan nilai efisiensi 0.0145% dan pengurangan durasi sebanyak 6 hari dari durasi normal (254 hari) dengan efisiensi 2.3622%. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan dua pekerja merupakan strategi paling efisien untuk optimasi biaya dan waktu, yang dapat dijadikan referensi dalam perencanaan proyek jalan tol serupa.

Kata kunci: *EVA*, *TCTO*, manajemen proyek, pengendalian proyek.

1. PENDAHULUAN

Proyek pembangunan berskala besar seperti Proyek Pembangunan Tol Kataraja memiliki kompleksitas tinggi dalam batasan waktu, biaya, dan mutu. Tujuan dilaksanakannya pembangunan ini adalah mengembangkan wilayah Tangerang serta mempermudah akses antara 2 provinsi yakni DKI Jakarta dan Banten. Keberhasilan jalannya suatu proyek untuk mencapai tujuannya diukur dari kesesuaian pelaksanaan dengan perencanaan. Sumber daya direncanakan untuk memenuhi tujuan dengan batasan waktu, biaya, dan mutu. Maka itu perlu manajemen proyek (Musostova et al., 2022; Too & Weaver, 2014) untuk mengontrol semua pelaksanaan proyek sampai selesai. Dalam keberjalanan proyek sangat mungkin terjadi masalah yang mempengaruhi keberjalanan proyek. Berdasarkan laporan pelaksanaan ditemukan indikasi keterlambatan pada jadwal pekerjaan. Hal tersebut perlu dilakukan pengendalian agar tidak memperluas masalah yang sudah ada. Pengendalian dapat dilakukan dengan menganalisis kesesuaian waktu dan ketepatan biaya serta mengoptimasi biaya dan waktu agar sesuai dengan perencanaan.

Pengendalian masalah yang terjadi pada sebuah proyek dapat dilakukan dengan kombinasi beberapa macam metode seperti Konsep Nilai Hasil atau *Earned Value Analysis* (Pramadha et al., 2024; Putra et al., 2024; Sukindrawati et al., 2023) dan optimasi dengan Metode *Time Cost Trade Off* (Senses & Kumral, 2024) dengan menggunakan beberapa perangkat lunak manajemen proyek Primavera P6 (Pharne et al., 2022) dan Microsoft Project (SUNATHA et al., 2024) sebagai alat bantu. Analisis *earned value* dilakukan untuk mengukur kinerja aktual berdasarkan perencanaan yang sudah ditetapkan. Analisis ini akan menghasilkan indikator *earned value*, varian dan kinerja, serta estimasi penyelesaian pekerjaan proyek. Sedangkan optimasi dengan *time cost trade off* dilakukan untuk mengembalikan waktu atau biaya agar sesuai dengan perencanaan awal. Optimasi proyek bisa dilakukan dengan melakukan variasi pada penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja. Kombinasi antara EVA dan TCTO akan memudahkan dalam pengendalian proyek secara komprehensif.

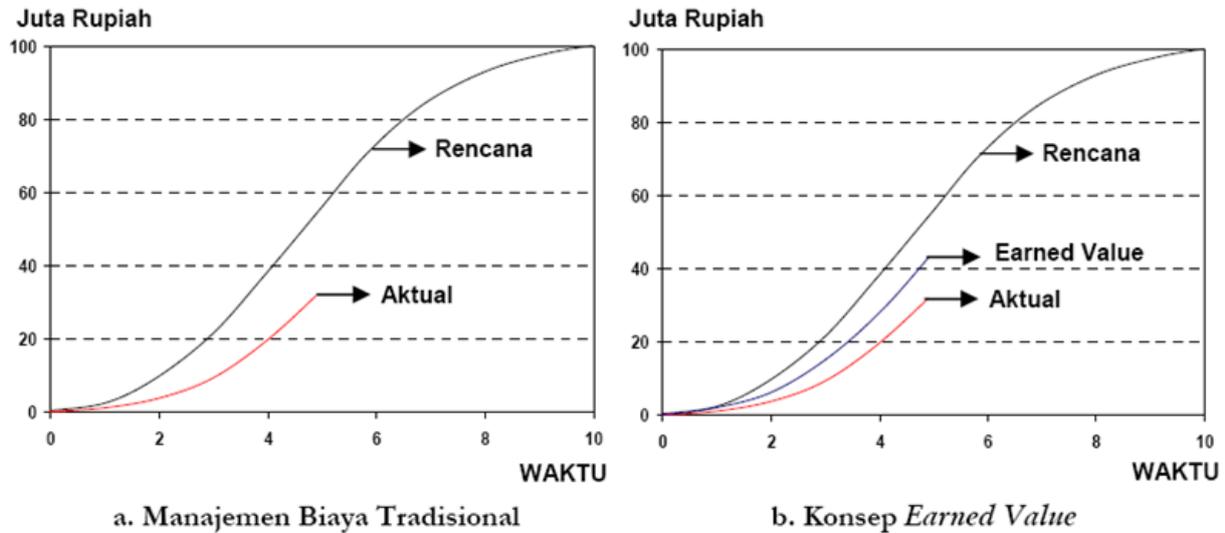
Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Tol Kamal – Teluk Naga – Rajeg Seksi 1 dan spesifiknya pada Zona 3 Ramp 1B. Studi sebelumnya masih terbatas pada analisis waktu atau biaya secara terpisah tanpa mengintegrasikan kedua metode secara simultan pada proyek jalan tol dengan perangkat Primavera P6. Dari penelitian

yang dilakukan diharapkan mendapat informasi tentang kondisi kinerja pelaksanaan dan waktu dan biaya yang optimal sehingga proyek bisa berjalan sesuai atau lebih singkat dari waktu rencana dengan biaya minimum.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Earned Value

Analisis *earned value* merupakan metode pengendalian proyek dalam menentukan keuntungan atau kerugian dan menyediakan untuk menyeimbangkan keduanya dan digunakan untuk pengontrol kinerja, kemajuan biaya, kualitas, risiko, serta menganalisis kinerja dan biaya proyek (Mandagi et al., 2022; Suresh & Ramasamy, 2015). Konsep *Earned Value* memiliki 3 dimensi seperti penyelesaian fisik yang mencerminkan penerapan biaya (BC), biaya aktual yang dikeluarkan (AC), serta aoa yang didapat dari biaya yang sudah dikeluarkan (EV).



Gambar 1. Perbandingan Manajemen Biaya Tradisional dengan Konsep Earned Value

Indikator *Earned Value*

Indikator dasar dalam menganalisa kinerja suatu proyek adalah sebagai berikut.

1. BCWS (*budgeted cost of work schedule*), anggaran berdasarkan jadwal pelaksanaan proyek
2. BCWP (*budgeted cost of work performed*), biaya yang seharusnya selesai pada waktu peninjauan
3. ACWP (*actual cost of work performed*), biaya aktual yang dikeluarkan selama masa konstruksi

Penilaian Kinerja Proyek

Kinerja proyek diukur dengan rumus-rumus dibawah ini.

1. *Cost Variance (CV)*

$$CV = BCWP - ACWP \tag{1}$$

Dengan $CV = 1$, Biaya sesuai dengan rencana, $CV > 1$, Biaya hemat, dan $CV < 1$, Biaya boros.

2. *Schedule Variance (SV)*

$$SV = BCWP - BCWS \tag{2}$$

Dengan $SV = 1$, Jadwal sesuai dengan rencana, $SV > 1$, Jadwal lebih cepat, dan $SV < 1$, Jadwal terlambat.

3. *Cost Index Performance (CPI)*

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \tag{3}$$

Dengan $CPI = 1$, Biaya aktual sesuai dengan rencana, $CPI > 1$, Biaya aktual hemat, dan $CPI < 1$, Biaya aktual boros.

4. *Schedule Index Performance (SPI)*

$$SPI = BCWP/BCWS \quad (4)$$

Dengan SPI = 1, Pelaksanaan proyek tepat waktu, SPI > 1, Pelaksanaan Proyek lebih cepat, dan SPI < 1, Pelaksanaan proyek terlambat.

Estimasi Penyelesaian Proyek

Penyelesaian pekerjaan pada proyek juga perlu diperhitungkan estimasi penyelesaiannya, dengan rumus sebagai berikut.

1. *Estimate to Complete*

$$ETC = (BAC - BCWP)/CPI \quad (5)$$

Dengan BAC = *Budgeted at Completion*

2. *Estimate at Completion*

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

3. *Variance at Completion*

$$VAC = ACWP - EAC \quad (7)$$

Time Cost Trade Off

Time cost trade off dilakukan secara dengaja untuk memerhatikan aktivitas pada suatu proyek dan terfokus pada kegiatan yang terdapat pada jalur kritis. Analisis ini mengacu pada pengurangan durasi pada aktivitas jalur kritis atau dapat berdampak pada seluruh kegiatan proyek. Adapun langkah-langkah melakukan analisis ini:

1. Menentukan jalur kritis proyek
2. Melakukan perhitungan *cost slope*
3. Menyusun kembali jaringan kerja
4. Menghitung biaya langsung dan biaya tidak langsung

Penambahan Jam Kerja Lembur

Berdasarkan Undang-Undang Cipta Kerja Nomor 1 Tahun 2020(Kemsetneg RI, 2020), Jam lembur dibatasi 4 jam perhari dan 1 minggu maksimal 18 jam kerja lembur. Penambahan jam lembur juga harus menyesuaikan kondisi serta persetujuan tenaga kerja terkait dan dibayar dengan upah sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021(Alfian Sangaji & Hadi Adha, 2023) , dimana upah jam lembur pertama dibayar 1,5 kali upah sejam sedangkan upah setiap jam lembur berikutnya dibayar 2 kali upah sejam

Penambahan Tenaga Kerja

Penambahan tenaga kerja dapat meningkatkan produktivitas pekerjaan perharinya dan diikuti durasi penyelesaian pekerjaan dapat dipersingkat. Dalam melakukan optimasi dengan penambahan ini perlu diperhatikan juga batasan ruang kerja, batasan alat yang tersedia, dan kondisi tenaga kerja(Hi Yusuf & Suleman, 2022). Selain itu juga mempertimbangkan faktor teknis dan kondisi aktual di lapangan.

Cost Slope

Rumus untuk menghitung *cost slope* adalah sebagai berikut.

$$Cost\ Slope = \frac{Crash\ Cost - Normal\ Cost}{Durasi\ Normal - Durasi\ Crash} \quad (8)$$

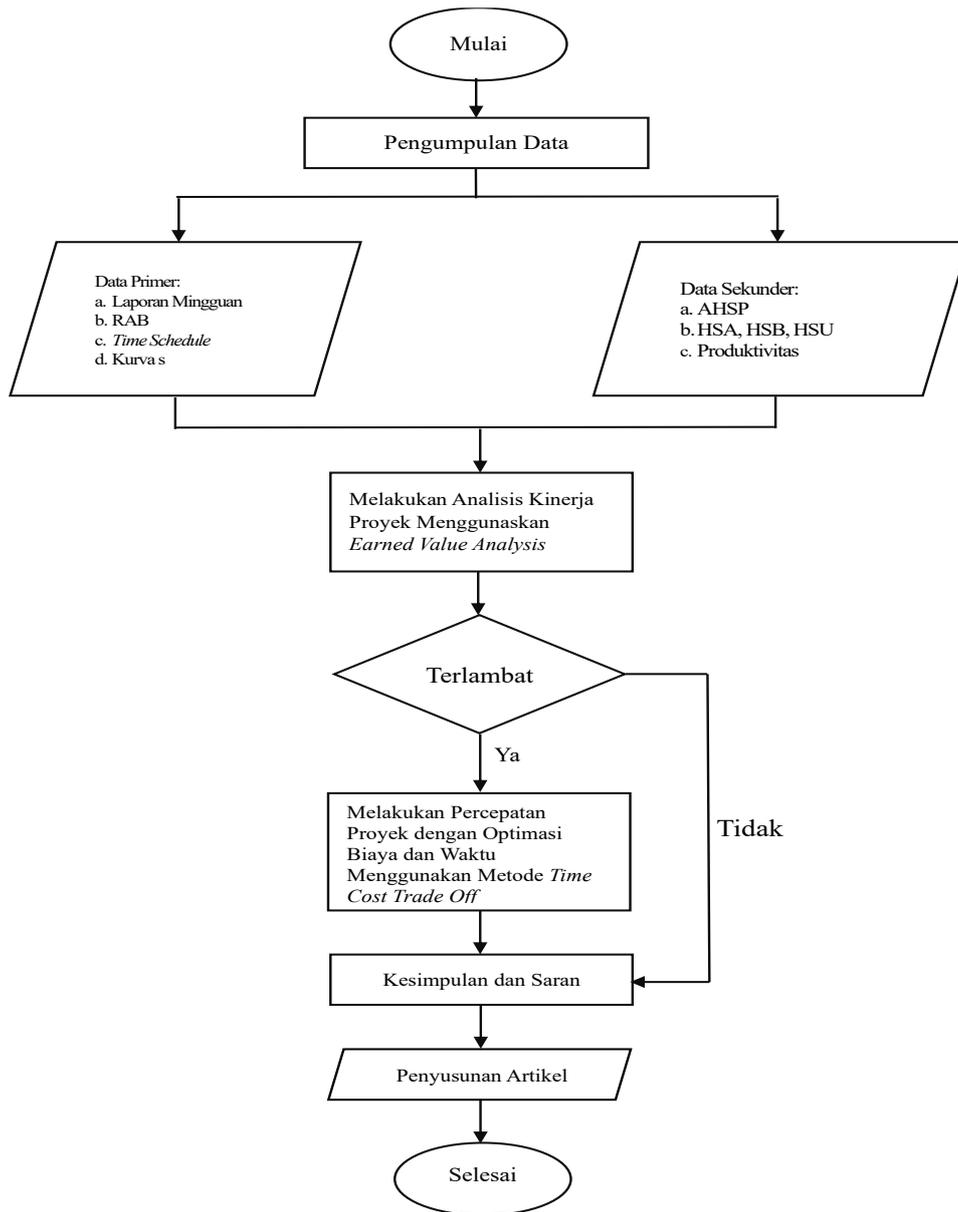
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat deskriptif kuantitatif dengan studi kasus Proyek Tol Kamal -Teluk Naga - Rajeg Seksi 1 Jakarta-Banten. Lokasi proyek yang ditinjau terbatas hanya pada IC Kosambi (Zona 3) Ramp 1B. Analisis *earned value* dilakukan di minggu ke-40 dan minggu ke-48 untuk mengetahui bagaimana kinerja pada minggu tersebut. Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan beberapa data antara lain:

1. Data Primer
Data primer yang dibutuhkan antara lain laporan mingguan, Rencana Anggaran Biaya, *Time Schedule*, dan Kurva S.
2. Data Sekunder (AHSP, Harga Satuan)

Data sekunder yang diperlukan untuk melakukan analisis pada penelitian ini adalah analisis harga satuan pekerjaan, harga satuan alat, harga satuan bahan, dan harga satuan upah.

Data yang didapatkan selanjutnya dilakukan pengolahan dengan *software Primavera P6* untuk dilakukan Proses EVA. Selanjutnya kesimpulan yang diperoleh dari EVA dipergunakan untuk melakukan proses selanjutnya yaitu optimasi dengan TCTO yaitu optimasi dengan beberapa skenario penambahan jam kerja lembur dan penambahan tenaga kerja. Hasil optimasi dengan TCTO selanjutnya dievaluasi dengan membandingkan terhadap kinerja waktu dan biaya terhadap masing-masing skenario. Skenario dengan biaya terendah dan waktu tercepat akan menjadi skenario alternatif yang layak untuk diterapkan pada proyek yang ditinjau. Berikut ini diagram alir yang menggambarkan pelaksanaan penelitian secara garis besar.



Gambar 2. *Flow Chart* Tahap Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi dan Data Umum Proyek

Tabel 1. Data Umum Proyek Tol Kataraja Seksi 1

| | |
|----------------------|--|
| Nama Proyek | Pekerjaan Konstruksi Jalan Tol Kataraja (Kamal – Teluk Naga - Rajeg) Seksi 1 (Sta. 0+000 s/d Sta. 6+700) |
| Lokasi | Jakarta Utara, DKI Jakarta & Tangerang, Banten |
| Nilai Kontrak | Rp 1.570.000.000.000,00 |
| Pemberi Tugas | PT. Duta Graha Karya |
| Konsultan | PT. Mega Trustlink |
| Kontraktor Pelaksana | PT. PP (Persero) |
| Waktu Pelaksanaan | 464 Hari Kalender |

Proyek pembangunan Tol Kataraja Seksi 1 Zona 3 Ramp 1B direncanakan selama 254 hari. Berikut merupakan rekapitulasi rencana anggaran biaya pada Proyek Tol Kataraja Seksi 1 Zona 3 Ramp 1B

Tabel 2. Rencana Anggaran Biaya Proyek Tol Kataraja Zona 3 Ramp 1B

| NO | JENIS PEKERJAAN | TOTAL BIAYA |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Divisi 1 (Umum) | Rp 8,219,510,794.69 |
| 2 | Divisi 2 (Pembersihan Tempat Kerja) | Rp 464,726,477.24 |
| 3 | Divisi 3 (Pembongkaran) | Rp 2,551,656,080.57 |
| 4 | Divisi 4 (Pekerjaan Tanah) | Rp 2,129,339,321.04 |
| 5 | Divisi 5 (Galian Struktur) | Rp 69,364,079.23 |
| 6 | Divisi 6 (Drainase) | Rp 775,550,131.83 |
| 7 | Divisi 7 (Penyiapan Tanah Dasar) | Rp 34,129,633.25 |
| 8 | Divisi 8 (Lapisan Pondasi Agregat) | Rp 763,624,181.27 |
| 9 | Divisi 9 (Perkerasan) | Rp 4,120,882,206.08 |
| 10 | Divisi 10 (Struktur Beton) | Rp 42,287,590,127.98 |
| JUMLAH | | Rp 61,416,373,033.17 |
| PPN 11% | | Rp 6,755,801,033.65 |
| TOTAL | | Rp 68,172,174,066.82 |

Baseline

Analisis dimulai dengan membuat baseline pada program *Primavera P6* untuk menjadi acuan dalam melakukan analisis *earned value* serta menentukan lintasan kritis untuk dilakukan optimasi dengan menambahkan beberapa skenario. Data proyek yang digunakan pada penyusunan baseline ini adalah *time schedule* dan rencana anggaran biaya.

Earned Value Analysis

Baseline dalam analisis *earned value* dibandingkan dengan *actual progress* yang diinput pada program. Pada penelitian ini data aktual yang digunakan adalah data minggu ke-40 dan minggu ke-48. Berikut merupakan hasil rekapitulasi hasil perhitungan indikator earned value, varians dan kinerja, serta estimasi penyelesaian proyek.

Tabel 3. Rekapitulasi Indikator Earned Value

| Minggu ke- | ACWP / AC (Rp) | BCWS / PV (Rp) | BCWP / EV (Rp) |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 40 | 28,440,017,822.38 | 55,833,066,393.79 | 28,440,017,822.38 |
| 48 | 33,473,842,635.80 | 55,833,066,393.79 | 33,473,842,635.80 |

Tabel 4. Rekapitulasi Varians dan Kinerja Proyek

| Minggu ke- | CV (Rp) | CPI | SV (Rp) | SVI |
|------------|---------|------|---------------------|------|
| 40 | 0.00 | 1.00 | - 27,393,048,571.41 | 0.51 |
| 48 | 0.00 | 1.00 | - 22,359,223,757.99 | 0.60 |

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa pada minggu ke 40 dan 48 CV diperoleh nilai Rp 0.00 serta CPI sebesar 1.00 yang dimana dapat diartikan bahwa biaya yang dikeluarkan sesuai dengan rencana yang sudah ditetapkan. Sedangkan hasil perhitungan SV diperoleh nilai negatif dan SVI yang bernilai kurang dari 1 pada minggu ke-40 maupun minggu ke-48 yang artinya dalam segi waktu proyek ini dapat dinyatakan terlambat dari rencana yang telah ditetapkan.

Tabel 5. Rekapitulasi Estimasi Penyelesaian Proyek

| Minggu ke- | BAC (Rp) | EAC (Rp) | ETC (Rp) | ETCt | VAC (Rp) |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|----------|
| 40 | 55,833,066,393.79 | 55,833,066,393.78 | 27,393,048,571.40 | 223 | 0.00 |
| 48 | 55,833,066,393.79 | 55,833,066,393.79 | 22,359,223,757.98 | 222 | 0.00 |

Dari tabel 5. dapat diketahui hasil perhitungan EAC pada minggu ke-40 dan ke-48 sama dengan BAC yang artinya perkiraan total biaya penyelesaian proyek sampai selesai sesuai dengan biaya yang telah direncanakan berdasarkan kinerja saat ini. Dari perhitungan pada *software Primavera P6* estimasi penyelesaian pada minggu ke-40 membutuhkan biaya (ETC) sebesar Rp 27,393,048,571.40 serta durasi (ETCt) tersisa 223 hari dan minggu ke-48 membutuhkan biaya (ETC) sebesar Rp 22,359,223,757.98 serta durasi (ETCt) tersisa 222 hari untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan. Perhitungan VAC juga menghasilkan selisih Rp 0.00 yang artinya proyek selesai dengan pengeluaran yang sesuai dengan perencanaan.

Time Cost Trade Off

Baseline yang sudah disusun akan menghasilkan kegiatan kritis yang digunakan untuk dilakukan optimasi dengan metode *time cost trade off*. Berikut merupakan kegiatan kritis yang dihasilkan dari program *Primavera P6*.

Tabel 6. Kegiatan Kritis Proyek Tol Kataraja Seksi 1 Zona 3 Ramp 1B

| Uraian Pekerjaan | Durasi Normal (Hari) | Volume | Satuan |
|---|----------------------|---------|--------|
| Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat) | 6 | 3495.20 | Kg |
| Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat) | 12 | 7237.99 | Kg |
| Asphalt Concrete Base Course | 12 | 1749.30 | Ton |
| Asphalt Concrete Binder Course | 12 | 553.43 | Ton |
| Asphalt Concrete Wearing Course | 11 | 533.92 | Ton |
| Aspal PG 70 | 11 | 66.91 | Ton |
| Beton Struktur Kelas B-1-1a: R1B P3-A2 | 4 | 34.40 | M3 |
| Beton Struktur Kelas B-1-2: R1B P3-A2 | 10 | 8.63 | M3 |
| Beton Struktur Kelas B-1 (CB): R1B P3-A2 | 2 | 15.25 | M3 |
| Beton Struktur Kelas C-4: R1B P3-A2 | 3 | 119.88 | M3 |

Optimasi dilakukan dengan penambahan jam kerja lembur (1 jam lembur dan 2 jam lembur) dan penambahan tenaga kerja (1 pekerja, 2 pekerja, dan 3 pekerja). Kegiatan kritis yang didapatkan dari *Baseline* perlu diperhitungkan cost slope yang memerlukan nilai *normal duration*, *crash duration*, *normal cost*, dan *crash cost*. Berikut merupakan rekapitulasi dari nilai-nilai tersebut

Tabel 7. Rekapitulasi Penambahan 1 Jam Kerja Lembur

| No | Uraian Pekerjaan | Normal Duration | Crash Duration | Normal Cost | Crash Cost | Cost Slope |
|----|---|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat) | 6 | 5 | 198,351.27 | 229,343.66 | 30,992.39 |
| 2 | Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat) | 12 | 11 | 449,428.57 | 526,674.11 | 77,245.54 |
| 3 | Asphalt Concrete Base Course | 12 | 11 | 3,806,226.85 | 4,460,422.09 | 654,195.24 |
| 4 | Asphalt Concrete Binder Course | 12 | 11 | 1,204,184.60 | 1,411,153.83 | 206,969.23 |
| 5 | Asphalt Concrete Wearing Course | 11 | 10 | 1,161,733.63 | 1,359,756.41 | 198,022.78 |
| 6 | Aspal PG 70 | 11 | 10 | 145,586.60 | 170,402.50 | 24,815.90 |
| 7 | Beton Struktur Kelas B-1-1a: R1B P3-A2 | 4 | 3.66 | 1,783,460.20 | 2,089,196.24 | 891,730.10 |
| 8 | Beton Struktur Kelas B-1-2: R1B P3-A2 | 10 | 9 | 662,831.59 | 774,684.42 | 111,852.83 |
| 9 | Beton Struktur Kelas B-1 (CB): R1B P3-A2 | 2 | 1.83 | 316,253.12 | 370,467.94 | 316,253.12 |
| 10 | Beton Struktur Kelas C-4: R1B P3-A2 | 3 | 2.74 | 2,429,710.94 | 2,846,232.81 | 1,619,807.29 |

Tabel 8. Rekapitulasi Penambahan 2 Jam Kerja Lembur

| No | Uraian Pekerjaan | Normal Duration | Crash Duration | Normal Cost | Crash Cost | Cost Slope |
|----|---|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat) | 6 | 5 | 198,351.27 | 270,666.84 | 72,315.57 |
| 2 | Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat) | 12 | 10 | 449,428.57 | 613,282.74 | 81,927.08 |
| 3 | Asphalt Concrete Base Course | 12 | 10 | 3,806,226.85 | 5,193,913.72 | 693,843.44 |
| 4 | Asphalt Concrete Binder Course | 12 | 10 | 1,204,184.60 | 1,643,210.24 | 219,512.82 |
| 5 | Asphalt Concrete Wearing Course | 11 | 9 | 1,161,733.63 | 1,577,581.46 | 207,923.92 |
| 6 | Aspal PG 70 | 11 | 9 | 145,586.60 | 197,699.98 | 26,056.69 |
| 7 | Beton Struktur Kelas B-1-1a: R1B P3-A2 | 4 | 3 | 1,783,460.20 | 2,368,658.08 | 585,197.88 |
| 8 | Beton Struktur Kelas B-1-2: R1B P3-A2 | 10 | 8 | 662,831.59 | 894,822.65 | 115,995.53 |
| 9 | Beton Struktur Kelas B-1 (CB): R1B P3-A2 | 2 | 1.68 | 316,253.12 | 432,767.42 | 368,961.97 |
| 10 | Beton Struktur Kelas C-4: R1B P3-A2 | 3 | 2.53 | 2,429,710.94 | 3,324,867.60 | 1,889,775.17 |

Tabel 9. Rekapitulasi Penambahan 1 Pekerja

| No | Uraian Pekerjaan | Normal Duration | Crash Duration | Normal Cost | Crash Cost | Cost Slope |
|----|---|-----------------|----------------|--------------|--------------|------------|
| 1 | Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat) | 6 | 1 | 198,351.27 | 412,940.88 | 42,917.92 |
| 2 | Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat) | 12 | 2 | 449,428.57 | 883,021.80 | 43,359.32 |
| 3 | Asphalt Concrete Base Course | 12 | 8 | 3,806,226.85 | 7,618,478.94 | 953,063.02 |

| No | Uraian Pekerjaan | Normal Duration | Crash Duration | Normal Cost | Crash Cost | Cost Slope |
|----|--|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 4 | Asphalt Concrete Binder Course | 12 | 4 | 1,204,184.60 | 2,336,245.88 | 141,507.66 |
| 5 | Asphalt Concrete Wearing Course | 11 | 4 | 1,161,733.63 | 1,174,785.11 | 164,407.24 |
| 6 | Aspal PG 70 | 11 | 1 | 145,586.60 | 350,857.35 | 20,527.08 |
| 7 | Beton Struktur Kelas B-1-1a: R1B P3-A2 | 4 | 3 | 1,783,460.20 | 3,411,998.40 | 1,628,538.20 |
| 8 | Beton Struktur Kelas B-1-2: R1B P3-A2 | 10 | 2 | 662,831.59 | 1,134,437.67 | 58,950.76 |
| 9 | Beton Struktur Kelas B-1 (CB): R1B P3-A2 | 2 | 1 | 316,253.12 | 633,622.67 | 317,369.56 |
| 10 | Beton Struktur Kelas C-4: R1B P3-A2 | 3 | 2 | 2,429,710.94 | 4,174,842.87 | 1,745,131.93 |

Tabel 10. Rekapitulasi Penambahan 2 Pekerja

| No | Uraian Pekerjaan | Normal Duration | Crash Duration | Normal Cost | Crash Cost | Cost Slope |
|----|---|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat) | 6 | 1 | 198,351.27 | 606,399.92 | 81,609.73 |
| 2 | Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat) | 12 | 1 | 449,428.57 | 859,684.23 | 37,295.97 |
| 3 | Asphalt Concrete Base Course | 12 | 6 | 3,806,226.85 | 7,826,170.16 | 669,990.55 |
| 4 | Asphalt Concrete Binder Course | 12 | 3 | 1,204,184.60 | 2,633,607.68 | 158,824.79 |
| 5 | Asphalt Concrete Wearing Course | 11 | 3 | 1,161,733.63 | 1,467,449.56 | 180,439.39 |
| 6 | Aspal PG 70 | 11 | 1 | 145,586.60 | 544,316.39 | 39,872.98 |
| 7 | Beton Struktur Kelas B-1-1a: R1B P3-A2 | 4 | 2 | 1,783,460.20 | 3,256,070.42 | 736,305.11 |
| 8 | Beton Struktur Kelas B-1-2: R1B P3-A2 | 10 | 1 | 662,831.59 | 1,092,093.67 | 47,695.79 |
| 9 | Beton Struktur Kelas B-1 (CB): R1B P3-A2 | 2 | 1 | 316,253.12 | 827,081.71 | 510,828.60 |
| 10 | Beton Struktur Kelas C-4: R1B P3-A2 | 3 | 2 | 2,429,710.94 | 4,561,760.95 | 2,132,050.01 |

Tabel 11. Rekapitulasi Penambahan 3 Pekerja

| No | Uraian Pekerjaan | Normal Duration | Crash Duration | Normal Cost | Crash Cost | Cost Slope |
|----|---|-----------------|----------------|--------------|--------------|------------|
| 1 | Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat) | 6 | 1 | 198,351.27 | 799,858.96 | 120,301.54 |
| 2 | Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat) | 12 | 1 | 449,428.57 | 1,053,143.27 | 54,883.15 |
| 3 | Asphalt Concrete Base Course | 12 | 4 | 3,806,226.85 | 7,260,025.22 | 431,724.80 |
| 4 | Asphalt Concrete Binder Course | 12 | 2 | 1,204,184.60 | 2,544,051.40 | 133,986.68 |
| 5 | Asphalt Concrete Wearing Course | 11 | 2 | 1,161,733.63 | 1,373,195.93 | 149,917.94 |
| 6 | Aspal PG 70 | 11 | 1 | 145,586.60 | 737,775.43 | 59,218.88 |
| 7 | Beton Struktur Kelas B-1-1a: R1B P3-A2 | 4 | 2 | 1,783,460.20 | 3,642,988.50 | 929,764.15 |

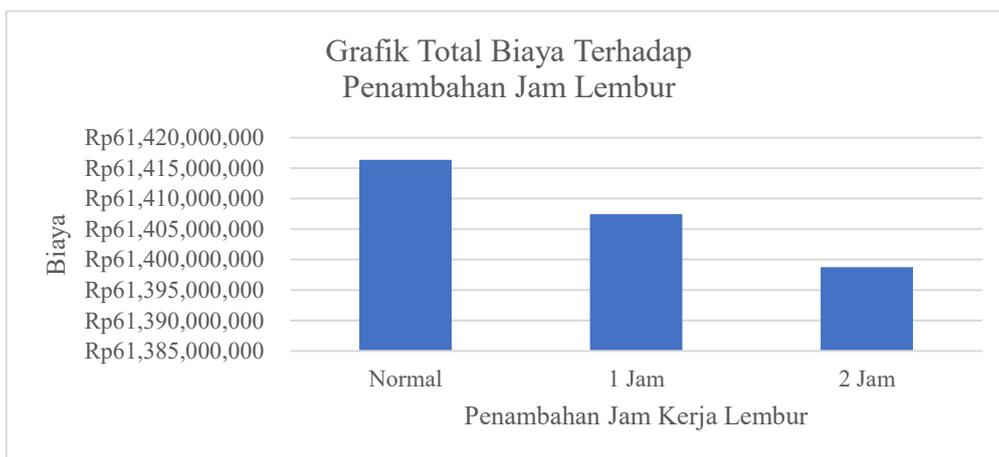
| No | Uraian Pekerjaan | Normal Duration | Crash Duration | Normal Cost | Crash Cost | Cost Slope |
|----|--|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 8 | Beton Struktur Kelas B-1-2: R1B P3-A2 | 10 | 1 | 662,831.59 | 1,285,552.71 | 69,191.24 |
| 9 | Beton Struktur Kelas B-1 (CB): R1B P3-A2 | 2 | 1 | 316,253.12 | 1,020,540.75 | 704,287.64 |
| 10 | Beton Struktur Kelas C-4: R1B P3-A2 | 3 | 2 | 2,429,710.94 | 4,948,679.03 | 2,518,968.09 |

Setelah didapatkan *cost slop*, dilakukan penyusunan jaringan baru dengan durasi serta biaya baru dari setiap skenario penambahan. Dari jaringan baru yang dibuat pada program *Primavera P6* diperhitungkan juga biaya langsung dan biaya tidak langsung dengan rekapitulasi seperti pada tabel 12.

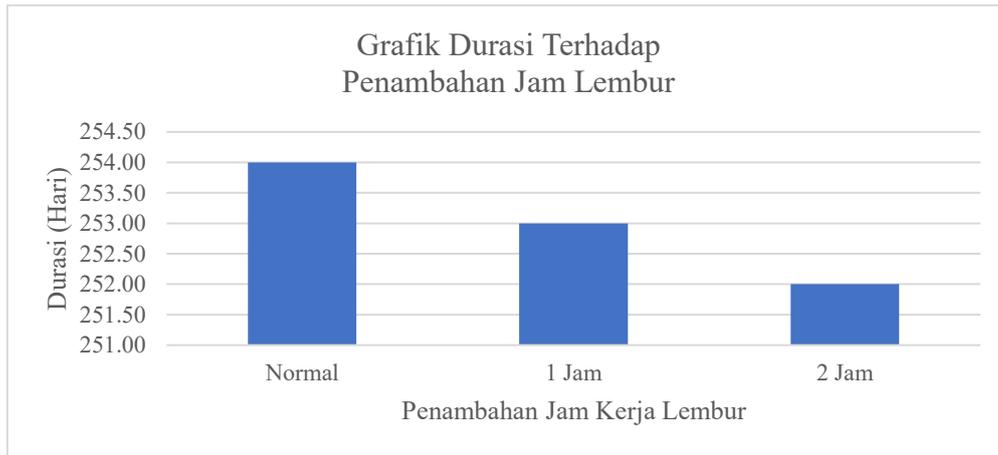
Tabel 12. Rekapitulasi Biaya Langsung dan Biaya Tidak Langsung

| No. | Kondisi | Durasi (hari) | Biaya Langsung | Biaya Tidak Langsung | Total Biaya |
|-----|----------------------|---------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | Normal | 254.00 | 55,833,066,393.80 | 5,583,306,639.38 | 61,416,373,033.17 |
| 2 | 1 Jam Lembur | 253.00 | 55,835,146,960.42 | 5,572,315,878.28 | 61,407,462,838.70 |
| 3 | 2 Jam Lembur | 252.00 | 55,837,426,097.16 | 5,561,325,117.18 | 61,398,751,214.34 |
| 4 | Penambahan 1 Pekerja | 250.00 | 55,836,718,894.89 | 5,539,343,594.97 | 61,376,062,489.87 |
| 5 | Penambahan 2 Pekerja | 248.00 | 55,838,653,485.29 | 5,517,362,072.77 | 61,356,015,558.06 |
| 6 | Penambahan 3 Pekerja | 248.00 | 55,840,588,075.69 | 5,517,362,072.77 | 61,357,950,148.46 |

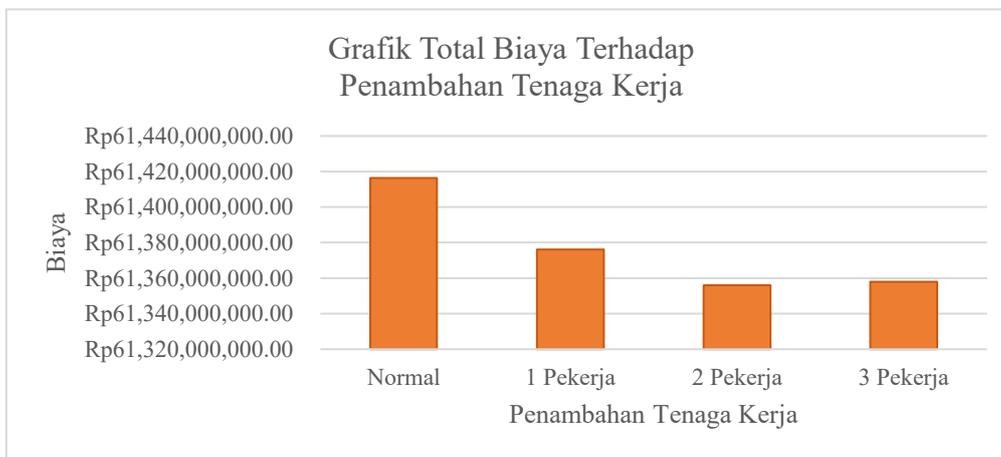
Dari Tabel 12. Dapat dilihat untuk biaya langsung pada setiap alternatif penambahan biaya mengalami peningkatan tetapi pada total biaya selalu turun disetiap penambahan biaya. Hal ini dikarenakan pada perhitungan biaya tidak langsung *overhead cost* yang digunakan memakai dari nominal pada kondisi normal. Tabel 12. dapat digambarkan dengan grafik hubungan biaya terhadap penambahan dan juga grafik hubungan durasi terhadap penambahan untuk dapat dibandingkan.



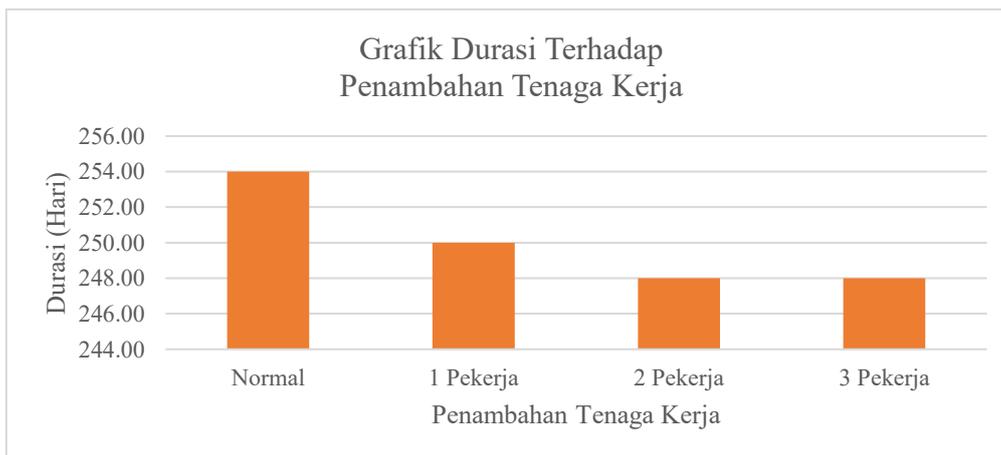
Gambar 1. Grafik Biaya Terhadap Penambahan Jam Kerja Lembur



Gambar 2. Grafik Durasi Terhadap Penambahan Jam Kerja Lembur



Gambar 3. Grafik Biaya Terhadap Penambahan Tenaga Kerja



Gambar 4. Grafik Durasi Terhadap Penambahan Tenaga Kerja

Untuk menentukan skenario optimasi yang paling efisien untuk diterapkan bisa dilihat dari perhitungan efisiensi biaya dan efisiensi waktu. Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan efisiensi.

Tabel 13. Rekapitulasi Perhitungan Efisiensi Biaya dan Efisiensi Waktu

| No. | Skenario Optimasi | Efisiensi Biaya (%) | Efisiensi Waktu (%) |
|-----|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 1 Jam Lembur | 0.0145 | 0.3937 |
| 2 | 2 Jam Lembur | 0.0287 | 0.7874 |
| 3 | 1 Pekerja | 0.0656 | 1.5748 |
| 4 | 2 Pekerja | 0.0983 | 2.3622 |
| 5 | 3 Pekerja | 0.0951 | 2.3622 |

Dari Tabel 13. pada skenario penambahan 1 jam kerja lembur dapat dinyatakan efisien dalam mengurangi biaya sebesar 0.0145% dari biaya normal dan mengurangi durasi sebanyak 0.3937% dari durasi normal. Lalu pada skenario pada skenario penambahan 2 jam kerja lembur dapat dinyatakan efisien dalam mengurangi biaya sebesar 0.0287% dari biaya normal dan mengurangi durasi sebanyak 0.7874% dari durasi normal. Selain itu, pada skenario penambahan 1 penambahan pekerja dapat dinyatakan efisien dalam mengurangi biaya sebesar 0.0656% dari biaya normal dan mengurangi durasi sebanyak 1.5748% dari durasi normal. pada skenario penambahan 2 penambahan pekerja dapat dinyatakan efisien dalam mengurangi biaya sebesar 0.0983% dari biaya normal dan mengurangi durasi sebanyak 2.3622% dari durasi normal. Skenario lain yaitu penambahan 2 penambahan pekerja juga dapat dinyatakan efisien dalam mengurangi biaya sebesar 0.0951% dari biaya normal dan mengurangi durasi sebanyak 2.3622% dari durasi normal. Dari hasil perhitungan efisiensi tersebut dapat dilihat bahwa yang paling efisien adalah penambahan 2 pekerja dikarenakan paling banyak mengurangi total biaya dan durasi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *earned value* dan *time cost trade off* yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Tol Kataraja Seksi 1 IC Kosambi Ramp 1B, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan analisis *earned value* pada minggu ke-40 dapat dinyatakan terlambat tetapi biaya masih sesuai dengan rencana awal dengan estimasi biaya sampai selesai Rp 27,393,048,571.40. Sedangkan pada minggu ke-48 diperoleh kesimpulan bahwa proyek masih terlambat dan pengeluaran biaya tetap sesuai rencana dengan estimasi biaya penyelesaian sebesar Rp 22,359,223,757.98.
2. Skenario optimasi yang dilakukan didapatkan yang paling efisien, yaitu penambahan 2 pekerja dengan penurunan biaya sebesar Rp 60,357,475.11 dengan nilai efisiensi 0.0145% dan pengurangan durasi sebanyak 6 hari dari durasi normal (254 hari) dengan efisiensi 2.3622%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian Sangaji, M., & Hadi Adha, L. (2023). Tinjauan Yuridis Pekerja Alih Daya (Outsourcing) Setelah Berlakunya Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021. *Private Law*, 3(1). <https://doi.org/10.29303/prlw.v3i1.2151>
- Hi Yusuf, R. D., & Suleman, F. (2022). Analisis Biaya Percepatan Antara Kerja Lembur (Overtime) dengan Penambahan Tenaga Kerja (Outsourcing). *JURNAL BIOSAINSTEK*, 5(1). <https://doi.org/10.52046/biosainstek.v5i1.1382>
- Kemsetneg RI. (2020). Undang-Undang Cipta Kerja. *Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia*, 052692.
- Mandagi, J. V., Nisumanti, S., & Puspita, N. (2022). Evaluasi Kinerja Biaya Dan Waktu Pada Pelaksanaan Pekerjaan Bracing Perkuatan Tiang Pancang Proyek Tol Kapal Betung Paket I Seksi IA. *Jurnal Tekno Global*, 11(2). <https://doi.org/10.36982/jtg.v11i2.3051>
- Musostova, D., Dzobelova, V., & Markaryan, V. (2022). PROJECT RISK MANAGEMENT. *Reliability: Theory and Applications*, 17. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2022-470-549-552>
- Pharne, P. N., Wagdare, N. R., Limbone, N. P., & Gaikwa, J. D. (2022). Project Management Using Primavera P6. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(5). <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.42891>
- Pramadha, I. Y., Tjendani, H. T., & Witjaksana, B. (2024). COST AND TIME ANALYSIS USING EARNED VALUE METHOD ON THE CONSTRUCTION OF THE NATIONAL KEDIRI AIRPORT ACCESS ROAD PHASE 1 KEDIRI - NGANJUK. *International Journal on Advanced Technology, Engineering, and Information System (IJATEIS)*, 3(1). <https://doi.org/10.55047/ijateis.v3i1.1023>
- Putra, H. R., Koespiadi, K., & Oetomo, W. (2024). Cost And Time Analysis Using Methods Earned Value. *Asian*

- Journal of Engineering, Social and Health*, 3(1). <https://doi.org/10.46799/ajesh.v3i1.204>
- Senses, S., & Kumral, M. (2024). Trade-off between time and cost in project planning: a simulation-based optimization approach. *Simulation*, 100(2). <https://doi.org/10.1177/00375497231196889>
- Sukindrawati, B., Kartika, W., & Sarju, S. (2023). Evaluasi Kinerja Waktu Dengan Metode Konsep Nilai Hasil. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 18(2). <https://doi.org/10.21009/jmenara.v18i2.36648>
- Sunatha, I. G. N., Praganingrum, T. I., Nada, I. M., & Dwiyanti, N. M. M. F. (2024). Perbandingan Penjadwalan Proyek Antara Metode Konvensional Dengan Aplikasi Microsoft Project (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Dua Lantai Sdn 1 Pedungan). *GANEC SWARA*, 18(1). <https://doi.org/10.35327/gara.v18i1.774>
- Suresh, S., & Ramasamy, G. (2015). Analysis of Project Performance Using Earned Value Analysis. *Analysis of Project Performance Using Earned Value Analysis*, 4(4).
- Too, E. G., & Weaver, P. (2014). The management of project management: A conceptual framework for project governance. *International Journal of Project Management*, 32(8). <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.07.006>