

Analisis Waktu dan Biaya Penyelesaian Proyek Transmisi 150 kV Dengan Pendekatan *Critical Path Method* dan *Time Cost Trade Off*

Muhammad Eriq Ashari¹, Haryo Dwito Armono^{1*}

¹Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jalan Raya ITS Sukolilo Kota Surabaya 60111 Jawa Timur

*armono@oe.its.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i2.20501>

Abstrak

Pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan Transmisi 150 kV oleh PT PLN (Persero) merupakan penugasan dari Pemerintah dalam rangka mendukung pertumbuhan listrik di Indonesia. Beberapa proyek Transmisi 150 kV mengalami keterlambatan dalam penyelesaian proyek dikarenakan kurang akuratnya dalam penentuan waktu dan biaya penyelesaian proyek, hal ini terlihat dari waktu penyelesaian proyek lebih lama daripada waktu kontrak. Proyek pembangunan transmisi 150 kV terdiri dari aktivitas *engineering*, *procurement*, *construction* dan *commissioning* sehingga diperlukan perhitungan waktu dan biaya yang matang dengan mempertimbangkan sumber daya (*Man*, *Material*, *Machine* dan *Method*). Pendekatan metode *Critical Path Method* (CPM) digunakan dalam analisis waktu dikarenakan bersifat deterministik dan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) digunakan ketika ada potensi permasalahan keterlambatan, percepatan maupun pembengkakan biaya proyek. Kombinasi pendekatan metode CPM dan TCTO tepat digunakan pada aktivitas proyek yang diketahui pasti dengan tetap memperhatikan pekerjaan paralel dan serial. Dari hasil penelitian bahwa proyek transmisi 150 kV terdapat 13 lintasan kritis, skema percepatan yang berdampak besar terhadap waktu dan biaya yaitu percepatan pada tahap *construction* serta perubahan seluruh variabel sumber daya (*Man*, *Material*, *Machine* dan *Method*) berdampak terhadap perubahan waktu dan biaya, sedangkan perubahan salah satu variabel sumber daya yaitu *Method* berpengaruh terhadap waktu namun belum tentu berpengaruh terhadap biaya.

Kata Kunci : infastruktur, listrik, sumberdaya, lintasan kritis

Abstract

The construction of the 150 kV Transmission electricity infrastructure by PT PLN (Persero) is an assignment from the Government in order to support electricity growth in Indonesia. Several 150 kV Transmission projects experienced delays in project completion due to inaccurate timing and project completion costs. The construction project of the 150 kV transmission involves engineering, procurement, construction, and commissioning activities, requiring careful calculations of time and costs while considering resources (Man, Material, Machine, and Method). The Critical Path Method (CPM) is used as the deterministic analysis approach for time analysis, while the Time Cost Trade-Off (TCTO) method is employed when there is a potential for project delays, acceleration, or cost overrun. The combination of the CPM and TCTO methods is suitable for project activities that are precisely known, while considering both parallel and serial work. Based on the research results, the 150 kV transmission project has 13 critical paths. The acceleration scheme that significantly impacts time and cost is the acceleration during the construction phase, and changes in all resource variables (Man, Material, Machine, and Method) affect both time and cost. However, a change in a single resource variable, namely Method, may impact time but not necessarily cost.

Key words : infrastructure, electricity, resources, critical path

PENDAHULUAN

Pertumbuhan kebutuhan tenaga listrik di Indonesia diproyeksi rata-rata sebesar 4,9% per tahun sesuai tertuang dalam Kepmen ESDM No.

Article History:

Received: May, 25th 2022; **Accepted:** July, 29th 2023

Cite this as :

Ashari, M E & Armono, H.D. 2023. Analisis Waktu dan Biaya Penyelesaian Proyek Transmisi 150 Kv dengan Pendekatan Critical Path Method dan Time Cost Trade Off. *Rekayasa*. Vol 16(2). 195-203

188.K/HK.02/MEM.L/2021 tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2021 sampai dengan Tahun 2030. Pemerintah melakukan penugasan melalui PT PLN (Persero) untuk melakukan pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan dimana salah satu infrastruktur yang rencana dibangun yaitu jaringan transmisi 150 kV, hal ini artinya diperlukan perencanaan yang tepat untuk memastikan pembangunan

dapat tercapai sesuai yang ditargetkan baik dari segi waktu, biaya dan kualitas. Fase proyek ini terdiri dari pekerjaan utama yaitu *engineering, procurement, construction* dan *commissioning*. Terdapat beberapa pekerjaan yang dilakukan secara paralel dan serial, hal ini berpengaruh terhadap waktu dan biaya penyelesaian proyek.

Suatu proyek dikatakan baik jika penyelesaian proyek tersebut efisien ditinjau dari segi waktu, biaya dan mutu (Anggraeni *et al.*, 2017). Penjadwalan merupakan bagian dari Perencanaan proyek konstruksi, dari penjadwalan akan tampak uraian pekerjaan, durasi setiap kegiatan, waktu mulai dan akhir kegiatan dan hubungan antar masing-masing kegiatan (Amat Pawiro *et al.*, 2015).

Beberapa proyek Transmisi 150 kV yang telah dilaksanakan sebelumnya diketahui bahwa terjadi *cost* dan *time overrun* akibat ketidaksesuaian waktu pelaksanaan pekerjaan dan biaya pelaksanaan pekerjaan dimana hal ini dapat terlihat dari beberapa kontrak konstruksi Transmisi 150 kV dengan durasi pelaksanaan relatif sama padahal dengan lingkup pekerjaan yang berbeda. Sebagai contoh pada proyek SUTT 150 kV Mataram Inc Phi yang memiliki panjang transmisi 62.82 kms dengan proyek SUTT 150 kV Sumbawa Merah Putih-GI Labuhan yang memiliki panjang transmisi 31.92 kms memiliki waktu penyelesaian kontrak yang sama yaitu 1.23 Tahun padahal karakteristiknya berbeda jika dilihat dari panjang transmisinya. Disamping itu juga, pendekatan terhadap penentuan waktu pelaksanaan proyek Transmisi 150 kV masih belum terstandarisasi sehingga akan kesulitan dalam penentuan anggaran biaya, hal ini dapat dilihat pada kajian kelayakan proyek pada masing-masing proyek. Hal lain yang perlu juga diperhatikan adalah terjadi ketidaksesuaian antara jadwal *Commercial Operation Date* (COD) pada RUPTL dengan tahap pelaksanaan proyek yang diakibatkan oleh kurang matang/akurat dalam penentuan target beroperasinya proyek. Sehingga diperlukan cara mengoptimalkan sumber daya untuk proyek yang berulang (sejenis) (Khaled & Moselhi, 2001). Cara untuk mengantisipasi masalah ini tidak terjadi adalah harus memperhatikan *time schedule* yang akan dibuat karena setiap kegiatan proyek yang berlangsung harus pada waktu yang tepat dan biaya yang minimalis (Priyo & Putra, 2021). Menurut Harjanto *et al.* (2019), dalam menemukan solusi yang optimal terhadap biaya dan waktu proyek maka diperlukan pengontrolan

kinerja waktu dan biaya dalam penjadwalan proyek.

Sejak pengembangan *Critical Path Method* (CPM), analisis *time-cost trade-off* telah menjadi fokus penelitian yang luas dalam penjadwalan proyek (Vanhoucke & Debels, 2007). Durasi aktivitas dapat diukur dengan tingkat kepastian yang tinggi, sehingga variabel dan parameter deterministik dapat dihitung secara akurat (Soeharto, 1999). CPM sendiri berguna untuk mengidentifikasi jalur kritis dari suatu proyek sehingga menurut Kamandang (2020) dengan adanya identifikasi perubahan jalur kritis diharapkan dapat mencegah penundaan dengan meningkatkan kemajuan pekerjaan.

Sedangkan pendekatan *Time Cost Trade Off* (TCTO) ini dapat digunakan ketika ada potensi permasalahan keterlambatan, percepatan maupun pembengkakan biaya proyek dimana analisis pertukaran waktu dan biaya proyek dilakukan berdasarkan optimalisasi terhadap lintasan kritis (aktivitas kritis) dari proyek (Soeharto, 1999). Menurut Metwally El-Kholy *et al.* (2021) bahwa dengan mengembangkan model optimasi biaya proyek melalui identifikasi solusi pertukaran waktu dan biaya dengan mempertimbangkan skenario yang berbeda untuk menggabungkan interupsi, waktu buffer dan percepatan jadwal. Pendekatan kombinasi tersebut juga bertujuan untuk mendalami lebih jauh kesesuaian metode baru dalam percepatan jaringan PERT/CPM (Haga & Marold, 2004). Dalam mengestimasi waktu dan biaya penyelesaian proyek diperlukan dukungan dari sumber daya diantaranya tenaga kerja (*man power*), peralatan kerja (*machine*), material kerja (*material*) dan metode kerja (*Method*). Menurut Priyo & Putra (2021) bahwa terjadi perubahan biaya proyek akibat percepatan durasi dengan adanya penambahan jam kerja dan tenaga kerja serta alat kerja.

Berdasarkan beberapa hal tersebut di atas, penulis bermaksud untuk melakukan kajian terhadap penentuan waktu dan biaya pekerjaan pembangunan jaringan transmisi 150 kV dengan studi kasus proyek SUTT 150 kV GI Labuan Bajo – PLTMG Flores sepanjang 13.07 kmr dimana proyek tersebut merupakan proyek prioritas yang berada dikawasan super prioritas untuk mendukung keandalan listrik di kawasan pariwisata. Implikasi teoritis dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dalam bentuk kebaruan dari hasil penelitian, dimana data dan pendekatan

kombinasi metode CPM & TCTO yang digunakan dapat dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya khususnya di bidang konstruksi ketenagalistrikan pembangunan Transmisi. Sedangkan implikasi praktis diharapkan dapat memberikan masukan hasil penelitian bagi Perusahaan sebagai bahan pertimbangan menentukan waktu dan biaya penyelesaian proyek Transmisi 150 kV dengan pendekatan kombinasi metode CPM dan TCTO sebagai antisipasi risiko potensi keterlambatan, percepatan maupun pembengkakan biaya proyek.

METODE PENELITIAN

Identifikasi jalur kritis merupakan tahapan awal dalam penelitian ini. Jalur kritis merupakan jalur waktu terpanjang yang terdapat di seluruh jaringan dimana masing-masing aktivitas tidak memiliki waktu longgar (Heizer & Render, 2014). Dalam definisi yang lain jalur kritis adalah jalur yang memiliki rangkaian komponen kegiatan dengan jumlah waktu terlama dan tidak memiliki float (Soeharto, 1999). Float adalah sejumlah waktu longgar yang tersedia dalam suatu kegiatan sehingga memungkinkan kegiatan tersebut ditunda atau diperlambat secara sengaja atau tidak sengaja namun penundaan tersebut tidak akan menyebabkan keterlambatan proyek (Ervianto & Wulfram, 2002). Terdapat 2 jenis float yaitu Total Float (TF) dan Free Float (FF), dimana Total Float merupakan waktu longgar yang dimiliki oleh kegiatan yang berada di jalur tertentu sedangkan Free Float merupakan waktu longgar satu kegiatan tertentu. Float dirumuskan sebagai berikut:

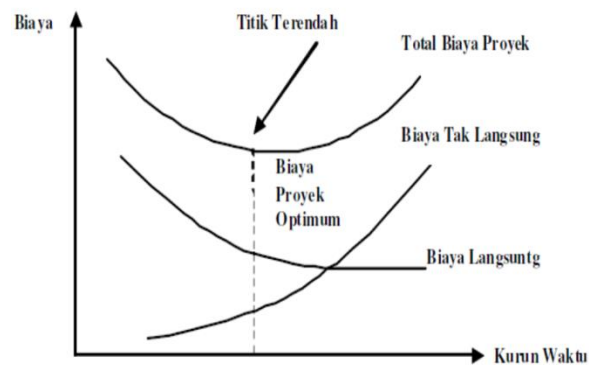
$$\text{Float} = \text{LS} - \text{ES} = \text{LF} - \text{EF} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

- LS = Latest Start
- ES = Earliest Start
- LF = Latest Finish
- EF = Earliest Finish

Tahapan berikutnya yaitu menghitung biaya proyek dimana Biaya total proyek adalah suatu penjumlahan dari biaya langsung dan biaya tak langsung yang digunakan selama pelaksanaan proyek. Besarnya biaya ini sangat tergantung oleh lamanya waktu (durasi) penyelesaian proyek, kedua-duanya berubah sesuai dengan waktu dan kemajuan proyek. Meskipun tidak dapat diperhitungkan dengan rumus tertentu, tapi pada umumnya makin lama proyek berjalan makin tinggi komulatif biaya tak langsung yang

diperlukan (Soeharto, 1999). Pada Gambar 1 ditunjukkan hubungan antara biaya langsung, biaya tak langsung dan biaya total proyek.



Gambar 1. Grafik Hubungan Waktu Vs Biaya Proyek

Data - data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang tidak secara langsung didapatkan oleh penulis. Data-data tersebut terkait pembangunan Transmisi 150 kV GI Labuan Bajo – PLTMG Flores yaitu berupa data jenis kegiatan proyek, jenis sumber daya yang digunakan di proyek, data teknis (*engineering*), data harga pasar dan standar perhitungan analisis harga satuan pekerjaan proyek. Data-data tersebut diperoleh dengan cara diantaranya: *benchmark* proyek sejenis, riset pasar, pengalaman di lapangan, dokumen *feasibility study*, dokumen PUPR, dokumen *soil investigation*, dokumen *design drawing*, dokumen survei lapangan dan dokumen lain yang mendukung dalam pengumpulan data penelitian.

Tabel 1. Tabel Alokasi Sumber Daya

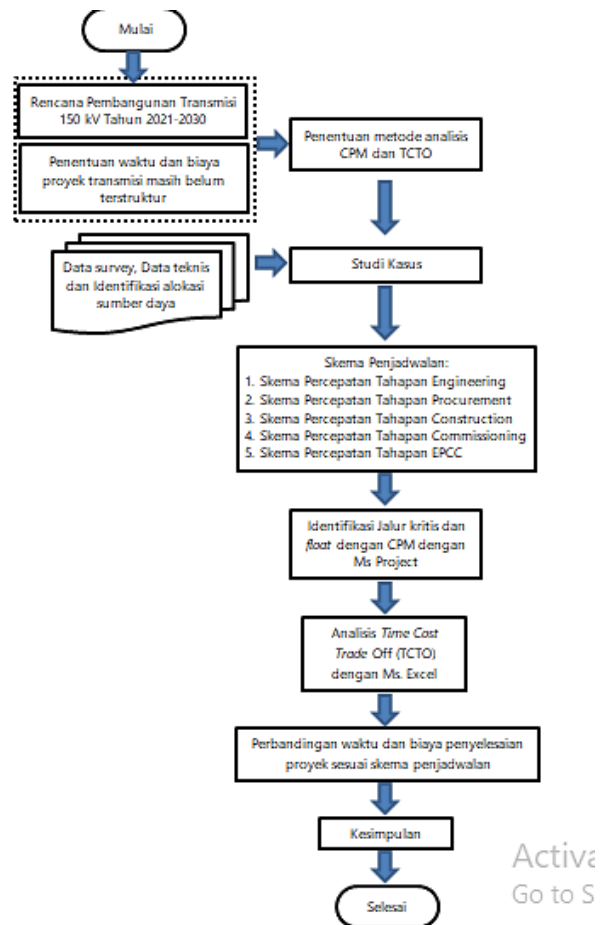
| Alokasi Sumber Daya | Volume | Satuan |
|---|--------|--------|
| Panjang Transmisi | 13.07 | Kmr |
| Jumlah Tower | 42 | Tower |
| Waktu Pelaksanaan | 540 | Hari |
| Tim Pondasi | 8 | Group |
| Tim Erection | 4 | Group |
| Tim Stringing | 1 | Group |
| Alat Stringing | 1 | Unit |
| Pengiriman Material | 14 | Hari |
| Pekerjaan setting out, galian, langsir material, pembesian (rebar), bekisting (formwork) dan pengecoran | 21 | Hari |
| Pengeringan Beton | 28 | Hari |
| Pekerjaan sortir, langsir material dan erection | 14 | Hari |
| Pekerjaan langsir material, scaffolding, eret-eret pancingan, penarikan dan sagging-clamping | 42 | Hari |

Tahap pengolahan data pertama yaitu identifikasi jalur kritis dan *float* dengan CPM yaitu membuat perencanaan penjadwalan proyek dengan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dengan menggunakan persamaan (1) untuk menentukan aktivitas kritis dan non kritis pada proyek Transmisi 150 kV GI Labuan Bajo – PLTMG Flores. Analisis dilakukan dengan bantuan aplikasi *Microsoft Project*. Jalur kritis merupakan jalur waktu terpanjang yang terdapat di seluruh jaringan dimana masing-masing aktivitas tidak memiliki waktu longgar (Heizer & Render, 2014).

Pada tahap analisis ini dilakukan perhitungan waktu dan biaya penyelesaian proyek Transmisi 150 kV GI Labuan Bajo – PLTMG Flores dengan kondisi *Normal time* dan *Normal cost*. *Time cost trade off* (TCTO) atau pertukaran waktu dan biaya merupakan suatu proses yang disengaja, sistematis dan analitik dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis (Ervianto & Wulfram, 2004). Perhitungan dalam TCTO dilakukan dengan perubahan sumber daya diantaranya: penambahan tenaga kerja, material zat additive, penambahan alat kerja dan penambahan pabrikan material. Kemudian dilakukan perhitungan dengan kondisi *Crash time* dan *Crash cost* dengan melakukan perubahan pada sumber daya (*Man, Material, Machine* dan *Method*). Sehingga akan terjadi pertukaran waktu dan biaya dalam tujuan penyelesaian proyek. Analisis dilakukan dengan bantuan aplikasi *Microsoft Excel*. Adapun skema penjadwalan yang akan dianalisis yaitu berdasarkan tahapan proyek antara lain: Skema percepatan Tahapan *Engineering*; Skema percepatan Tahapan *Procurement*; Skema percepatan Tahapan *Construction*; Skema percepatan Tahapan *Commissioning* dan Skema percepatan Tahapan EPCC. Skema ini dimaksudkan sebagai antisipasi apabila terjadi keterlambatan pada masing-masing tahapan dengan menganalisis terhadap optimasi terhadap waktu dan biaya (Budianto & Husin, 2021).

Setelah diperoleh hasil perhitungan dalam pengolahan data maka akan diketahui waktu dan biaya penyelesaian proyek dalam kondisi normal dan kondisi tidak normal (sesuai skema percepatan). Kemudian dilakukan perbandingan antar kondisi tersebut dan kemudian hasil perbandingan ini akan menjadi pertimbangan dalam keputusan untuk menentukan biaya

investasi dan waktu penyelesaian proyek. Diagram alir penelitian dapat dilihat dalam gambar berikut:



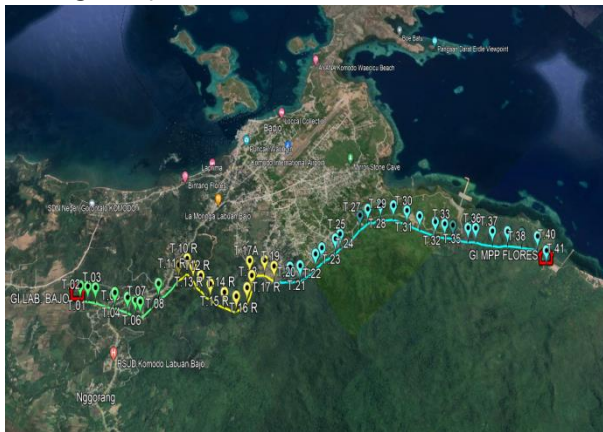
Gambar 2. Diagram Alir Analisis Data

HASIL PEMBAHASAN

PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangunan Nusa Tenggara (UIP Nusra) merupakan salah unit induk PLN yang mengelola proyek pembangunan pembangkit, transmisi dan gardu induk. PLN UIP Nusra berencana membangun jaringan transmisi 150 kV GI Labuan Bajo – PLTMG Flores sepanjang 13,07 kmr dengan 42 tower yang membentang di Kabupaten Manggarai Barat. Tower 01 dimulai dari Gardu Induk Labuan Bajo yang berada di Desa Tanjung Boleng Kecamatan Boleng hingga berakhir pada Tower 42 di PLTMG Flores yang berada di Desa Golo Bilas Kecamatan Komodo. Penelitian dilakukan sejak tahun 2022 yaitu pada saat penyusunan dokumen rencana pengadaan proyek tersebut.

Adapun aktivitas utama dalam proyek transmisi 150 kV terbagi menjadi 4 tahapan antara lain: *Engineering*, *Procurement*, *Construction* dan *Commissioning* dimana setiap tahapan memiliki pekerjaan yang saling terkait dan dapat

dilaksanakan secara paralel maupun serial. Analisis dilakukan pada masing-masing tahapan tersebut dikarenakan pada setiap tahapan memiliki karakteristik aktivitas dan sumber daya yang berbeda serta potensi terjadinya percepatan ataupun keterlambatan dapat terjadi pada masing-masing tahapan.



Gambar 3. Peta Jalur Transmisi 150 kV GI Labuan Bajo – PLTMG Flores

Analisis dan perhitungan terhadap identifikasi jalur kritis dan perubahan variabel sumber daya (*Man, Material, Machine* dan *Method*) serta biaya proyek terhadap beberapa skema tersebut dan hasilnya dapat dilihat pada tabel rekapitulasi berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi biaya proyek dan durasi waktu akibat skema percepatan

| | Biaya proyek (Rp) | | Analisis TCTO | | Analisis CPM |
|--------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| | Total | Per kmr | Kenaikan Biaya proyek | Durasi Pekerjaan (hari) | Jumlah Lintasan Kritis |
| <i>Schedule normal time</i> | 41,523,489,623.- | 3,177,007,622.- | | 540 | 13 |
| <i>Skema crash time eng.</i> | 41,713,539,384.- | 3,191,548,537.- | 0.46% | 510 | 13 |
| <i>Skema crash time proc.</i> | 41,523,489,623.- | 3,177,007,622.- | 0% | 510 | 13 |
| <i>Skema crash time const.</i> | 44,134,352,487.- | 3,376,767,596.- | 6.29% | 343 | 9 |
| <i>Skema crash time coms.</i> | 41,690,557,627.- | 3,189,790,178.- | 0.40% | 537 | 13 |
| <i>Skema crash time EPCC</i> | 44,491,470,253.- | 3,404,091,067.- | 7.15% | 262 | 12 |

a) *Skema normal*

Pada skema normal teridentifikasi 13 aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis dimana aktivitas tersebut tidak memiliki *Total float* ($float = 0$) sehingga memiliki resiko keterlambatan apabila terjadi penundaan *start* atau *finish* salah satu aktivitasnya.

b) *Skema percepatan tahapan engineering*

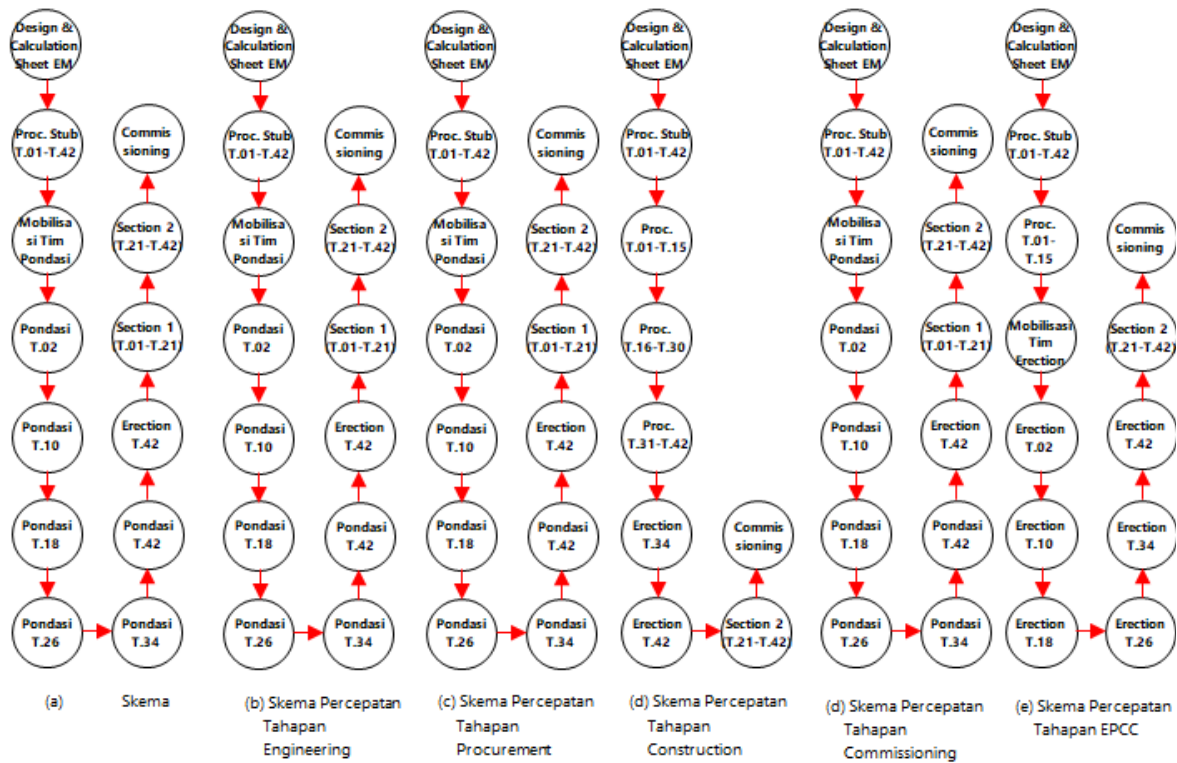
Pada skema percepatan tahapan *engineering* teridentifikasi 13 aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis dimana aktivitas tersebut tidak memiliki *Total float* ($float = 0$) sehingga jalur kritis yang dimiliki sama dengan skema normal. Namun yang membedakan yaitu pada salah satu aktivitas jalur kritis yaitu *Design & Calculation Sheet EM* terjadi penambahan tenaga kerja (*man*) dan peralatan kerja (*machine*) pada pekerjaan *survey soil investigation* sehingga menyebabkan perubahan durasi waktu sebesar 30 hari sehingga akan mempengaruhi secara total durasi waktu penyelesaian proyek tersebut menjadi 510 hari.

c) *Skema percepatan tahapan procurement*

Pada skema percepatan tahapan *procurement* teridentifikasi 13 aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis dimana aktivitas tersebut tidak memiliki *Total float* ($float = 0$) sehingga jalur kritis yang dimiliki sama dengan skema normal. Namun yang membedakan yaitu pada salah satu aktivitas jalur kritis yaitu *Procurement Stub T.01-T.42* terjadi perubahan metode kerja dengan penambahan jumlah pabrikan *stub* dan tower (*method*) sehingga menyebabkan perubahan durasi waktu sebesar 30 hari sehingga akan mempengaruhi secara total durasi waktu penyelesaian proyek tersebut menjadi 510 hari. Sedangkan perubahan durasi waktu pada *procurement* T.01-T.42 tidak berdampak pada total waktu penyelesaian karena aktivitas tersebut memiliki *total slack* (*float*) lebih besar daripada perubahan waktu aktivitasnya sendiri.

d) *Skema percepatan tahapan construction*

Pada skema percepatan tahapan *construction* teridentifikasi 9 aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis dimana aktivitas tersebut tidak memiliki *Total float* ($float = 0$). Skema ini melibatkan beberapa perubahan sumber daya diantaranya penambahan grup kerja (*man*), penambahan material zat additive (*material*), penambahan alat kerja (*machine*) dan perubahan metode kerja stringing (*method*) sehingga menyebabkan perubahan durasi waktu sebesar 197 hari sehingga akan mempengaruhi secara total durasi waktu penyelesaian proyek tersebut menjadi 343 hari.



Gambar 5. Jalur kritis Pada Setiap Skema Penjadwalan

- e) Skema percepatan tahapan *commissioning*
 Pada skema percepatan tahapan *commissioning* teridentifikasi 13 aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis dimana aktivitas tersebut tidak memiliki *Total float* ($float = 0$) sehingga jalur kritis yang dimiliki sama dengan skema normal. Namun yang membedakan yaitu pada salah satu aktivitas jalur kritis yaitu *Commissioning* terjadi penambahan tenaga kerja (*man*) dan peralatan pengujian (*machine*) pada pekerjaan pengujian sistem sehingga menyebabkan perubahan durasi waktu sebesar 3 hari sehingga akan mempengaruhi secara total durasi waktu penyelesaian proyek tersebut menjadi 537 hari.
- f) Skema percepatan tahapan EPCC
 Pada skema percepatan tahapan *EPCC* teridentifikasi 12 aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis dimana aktivitas tersebut tidak memiliki *Total float* ($float = 0$). Skema ini melibatkan beberapa perubahan sumber daya diantaranya penambahan grup kerja (*man*), penambahan material zat additive (*material*), penambahan alat kerja (*machine*) dan perubahan metode kerja stringing (*method*) ketika aktivitas *engineering*, *procurement*, *construction* maupun *commissioning* sehingga menyebabkan perubahan durasi waktu sebesar 278 hari sehingga akan mempengaruhi secara

total durasi waktu penyelesaian proyek tersebut menjadi 262 hari.

Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa skema percepatan kombinasi tahapan *engineering*, *procurement*, *construction* dan *commissioning* mempunyai perubahan durasi waktu pelaksanaan dan biaya proyek terbesar yaitu mampu mempercepat waktu pelaksanaan proyek dari 540 hari menjadi 262 hari atau mengurangi waktu selama 278 hari namun akibat percepatan tersebut menimbulkan kenaikan biaya proyek sebesar Rp2,967,980,630.- atau dengan persentase kenaikan sebesar 7.15% dimana angka kenaikan ini masih berada dibawah standar aturan kenaikan biaya proyek sebesar 10%.

Sedangkan apabila dibandingkan skema percepatan pada masing-masing tahapan *engineering*, *procurement*, *construction* dan *commissioning* maka diperoleh hasil bahwa perubahan durasi waktu pelaksanaan dan biaya proyek terbesar yaitu pada skema percepatan pada tahapan *Construction* yaitu mampu mempercepat waktu pelaksanaan proyek dari 540 hari menjadi 343 hari atau mengurangi waktu selama 197 hari namun akibat percepatan tersebut menimbulkan kenaikan biaya proyek sebesar Rp2,610,862,864.- atau dengan persentase kenaikan sebesar 6.29%. Perubahan tersebut merupakan dampak dari kombinasi seluruh

variabel sumber daya yaitu penambahan jumlah grup pondasi dan erection (*Man*), penggunaan zat Additive untuk mempercepat pengeringan beton (*Material*), penambahan alat kerja (*Machine*) dan perubahan metode kerja dilapangan (*Method*).

Dari tabel tersebut juga diketahui bahwa pada skema percepatan tahapan procurement telah terjadi perubahan waktu pelaksanaan proyek dari 540 hari menjadi 510 hari atau mengurangi waktu selama 30 hari namun tidak terjadi kenaikan biaya pelaksanaan proyek dimana perubahan tersebut hanya merubah salah satu variabel sumber daya yaitu metode (*method*). Hal ini mengindikasikan bahwa melakukan optimalisasi waktu dapat dilakukan dengan tanpa melakukan perubahan terhadap biaya.

Hasil penelitian ini dapat mengidentifikasi strategi skema penjadwalan yang efektif untuk percepatan proyek sehingga dapat memberikan implikasi manajerial terkait perencanaan dan pelaksanaan proyek. Implikasi tersebut dapat mencakup penggunaan metode kompresi waktu, optimalisasi sumber daya, atau penggunaan teknologi dan alat yang dapat mempercepat proses. Dengan kata lain, Perusahaan dapat mengadopsi strategi tersebut untuk mengurangi durasi proyek dan berpotensi meningkatkan efisiensi. Disamping itu, hasil penelitian ini dapat mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi biaya percepatan proyek sehingga dapat memberikan implikasi manajerial terkait pengelolaan anggaran proyek. Hasil penelitian tersebut dapat memberikan wawasan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi biaya tambahan yang diperlukan untuk percepatan proyek. Implikasi manajerial dapat berupa pengambilan keputusan Perusahaan yang lebih baik dalam pengalokasian anggaran, penekanan pada pengendalian biaya dan penyesuaian rencana proyek yang lebih realistis.

Implikasi manajerial selanjutnya yaitu dari hasil penelitian yang membandingkan metode proyek dengan skema penjadwalan yang berbeda dapat memberikan implikasi manajerial terkait pemilihan skema penjadwalan yang paling efektif. Hasil penelitian tersebut dapat memberikan wawasan tentang kelebihan dan kekurangan dari masing-masing skema penjadwalan serta kondisi dimana skema penjadwalan yang paling cocok digunakan. Implikasi manajerial dapat berupa perubahan dalam pendekatan manajemen proyek yang

digunakan oleh perusahaan dan pengembangan pedoman atau panduan percepatan proyek khususnya proyek infrastruktur ketenagalistrikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa penelitian diketahui bahwa terdapat 13 jalur kritis yang mencerminkan aktivitas kritis dalam transmisi proyek GI Labuan Bajo - PLTMG Flores 150 kV tergantung pada alokasi sumber daya pada tahap perencanaan. Skema percepatan pada tahap kombinasi EPCC memiliki dampak terbesar pada perubahan dibandingkan dengan skema percepatan lainnya dan bila dibandingkan dalam setiap tahap maka skema percepatan pada tahap *construction* memiliki dampak paling besar pada percepatan waktu dan peningkatan biaya dibandingkan dengan skema percepatan pada tahap *engineering*, *procurement*, dan *commissioning* karena melibatkan perubahan pada semua sumber daya (*Man power*, *material*, *machine*, dan *method*). Dan perubahan pada variabel sumber daya secara keseluruhan berdampak pada perubahan waktu dan biaya, namun perubahan pada satu variabel sumber daya, yaitu Metode, mungkin tidak selalu mempengaruhi biaya.

Berdasarkan dari kesimpulan diatas maka Perusahaan perlu mempertimbangkan beberapa faktor penting dalam memperkirakan waktu dan biaya penyelesaian proyek Transmisi 150 kV dan mengantisipasi risiko potensial. Alokasi sumber daya yang tepat, termasuk *Man power*, *material*, *machine*, dan *method* harus dipertimbangkan dengan cermat. Dengan memperhatikan aspek-aspek ini, perusahaan dapat menghindari penundaan proyek, meminimalkan dampak negatif dari percepatan, dan mengendalikan peningkatan biaya. Selanjutnya, penting bagi perusahaan untuk mengembangkan analisis harga satuan dan durasi kerja yang terstandarisasi, terutama untuk tugas konstruksi listrik yang tidak diatur oleh Kementerian Pekerjaan Umum. Menetapkan standar seperti itu akan memberikan titik referensi yang umum baik secara internal maupun eksternal. Dalam proses perencanaan dan pelaksanaan proyek, penggunaan alat seperti Ms. Project dapat bermanfaat. Namun, penting untuk dicatat bahwa penelitian lebih lanjut harus memperhatikan keterbatasan data yang diperoleh hanya dari perspektif pengguna akhir barang dan jasa, karena hal tersebut dapat memengaruhi analisis. Oleh

karena itu, penelitian masa depan harus mempertimbangkan arus kas dari pemasok barang dan jasa serta menganalisis variabel seperti perubahan jam kerja dan peralatan sebagai faktor sumber daya yang relevan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amat Pawiro, D., Suharyanto, & Atmojo, P. S. (2015). Optimasi Biaya dan Waktu dalam Penyusunan Jadwal Pelaksanaan Proyek (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Pusat Kegiatan Mahasiswa Universitas Diponegoro Semarang). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 20(2), 103–108. <https://doi.org/10.12777/mkts.20.2.103-108>
- Aslimeri, Ganefri, & Hamdi, Z. (2008). *Teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Departemen Pendidikan Nasional.
- Bindu, P. H. (2015). *Approach of Crashing Critical Activity (CCA) and Stretching Non-critical Activities (SNA) of Time Cost Trade off problems using Critical Path Method*. 5(2), 1–10.
- Budianto, E. A., & Husin, A. E. (2021). Analisis Optimasi Waktu dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Gudang Amunisi. In *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* (Vol. 19, Nomor 3).
- Erviyanto, & Wulfram, I. (2002). *Manajemen Proyek Konstruksi* (Edisi Pert). Salemba Empat.
- Erviyanto, & Wulfram, I. (2004). *Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*. Salemba Empat.
- Gray, C. F., Larson, E. W., & Desai, G. V. (2011). *Project Management The Managerial Process* (6th ed.). Mc Graw Hill Education.
- Haga, W. A., & Marold, K. A. (2004). *A Simulation Approach To The PERT/CPM Time-Cost Trade-Off Problem*. June.
- Handayani, A., & Khoerul, D. (2020). Time Cost Trade Off Analysis on the Training Center Project PT. X With Additional Working Hours. *International Journal of Engineering and Natural Science*, 6(1), 38–46. <http://adrijournal.or.id/index.php/ijens/index>
- Harjanto, R., Azis, S., & Hidayat, S. (2019). The accelerating of duration and change of cost on construction project implementation. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(1), 825–832.
- Heizer, J., & Render, B. (2001). *Prinsip-Prinsip Manajemen Operasi*. Salemba Empat.
- Heizer, J., & Render, B. (2008). *Operations Management*. Salemba Empat.
- Heizer, J., & Render, B. (2014). *Manajemen Operasi* (S. Empat (Ed.)).
- Herdianti, W. A. (2016). *Perencanaan Proyek Pipa Transmisi Gas Gresik-Semarang*. <https://repository.its.ac.id/1428/>
- Herjanto, E. (2007). *Manajemen Operasi* (Edisi Ketii). Grasindo.
- Izzah, N. (2017). *Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya Menggunakan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) pada Proyek Pembangunan Perumahan di PT. X*. 10(1), 51–58.
- Kamandang, Z. R. (2020). Identification of Critical Path Changes and Concurrent Delays Using EDAM Method for Building Project. *Journal of Applied Sciences, Management and Engineering Technology*, 1(1), 8–13. <https://doi.org/10.31284/j.jasmet.2020.v1i1.867>
- Khaled, E.-R., & Moselhi, O. (2001). *Optimizing Resource Utilization for Repetitive Construction Projects*. February, 18–27.
- Laily, N., Azizah, L., Dosen, P., Silvianita, S. T., Mulyadi, E. Y., Teknik, J., Fakultas, K., & Kelautan, T. (2016). *Analisa percepatan waktu pada proyek transmisi gas gresik-semarang dengan metode time cost trade off*.
- Metwally El-Kholy, A., Sheshtawy, A. I., Ragheb, S. R., & Mohammed, O. F. (2021). Time-Cost Trade-off in Recurring Projects Considering Interruption, Buffer, and Schedule Acceleration. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 2, 31–47. <https://doi.org/10.5923/j.ijcem.20211002.02>
- Munawaroh. (2003). *Principle of Management Construction*. Jendela Ilmu.
- Nuciferani, F. T., Aulady, M. F. N., & Wibowo, P. A. (2019). (cetak); ISSN 2527-3892 (elektronik) Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar. 2019. Pengurangan Risiko Pinalti dengan Time Cost Trade Off pada Proyek Konstruksi. In *Jurnal Qua Teknika* (Vol. 9, Nomor 2).
- Pratama, Y. A. (2020). *Analisis Penjadwalan Proyek Dengan Metode PERT*. Universitas Islam

- Indonesia.
- Priyo, M., & Putra, R. H. (2021). *Studi Optimasi Biaya Dan Waktu Menggunakan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Pembangunan Gedung Global Sevilla School Jakarta (Studi of Cost and Time Optimization Method Using Time Cost Trade Off on Building Global Sevilla School Jakarta)* (Vol. 3, Nomor 2).
- Priyo, M., & Sudiro, S. (2017). *Studi Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Konstruksi: Studi Kasus Proyek Jalan Bugel-Galur-Poncosari Cs. Tahap I, Provinsi D.I. Yogyakarta (Cost and Time Optimization Study with Time Cost Trade Off Method on Constructio. 20(2), 172–186.*
- Siagian, S. P. (1998). *Manajemen Sumber Daya Manusia*. Bumi Aksara.
- Soeharto, I. (1997). *Manajemen Proyek dari Konseptual Sampai Operasional*. Erlangga.
- Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)* (Edisi Kedu). Erlangga.
- Soemardi, B.W., R.D. Wirahadikusumah, M. A. dan N. P. (2007). *Konsep Earned Value untuk Pengelolaan Proyek Konstruksi. Laporan Hasil Riset, ITB*. 1–13.
- Vanhoucke, M., & Debels, D. (2007). The discrete time/cost trade-off problem: Extensions and heuristic procedures. *Journal of Scheduling*, 10(4–5), 311–326. <https://doi.org/10.1007/s10951-007-0031-y>