



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 4 (2025) pp: 4456-4462

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisa Optimasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Kontruksi Dengan Penambahan Jam Kerja dan Penambahan Tenaga Kerja Berdasarkan Metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus: Penanganan Jalan Muara Sahung – Naga Rantai Kabupaten Kaur Provinsi Bengkulu)

Ana Angraini¹, Edito Dwianto², Sazuatmo³

^{1,2}Universitas Prof.Dr Hazairin,SH Bengkulu

anaangrainibkl2020@gmail.com¹, editodwianto@gmail.com², sazuatmo68@gmail.com³

Abstrak

Penelitian ini membahas optimasi biaya dan waktu pelaksanaan proyek konstruksi menggunakan metode Time Cost Trade Off (TCTO) dengan studi kasus pada proyek penanganan Jalan Muara Sahung–Naga Rantai di Kabupaten Kaur, Provinsi Bengkulu. Permasalahan utama dalam proyek konstruksi umumnya terkait pembengkakan biaya dan keterlambatan waktu, sehingga diperlukan strategi percepatan yang efektif. Salah satu alternatif percepatan yang dianalisis adalah penambahan jam kerja lembur serta penambahan tenaga kerja. Metode yang digunakan meliputi Kurva S, Rencana Anggaran Biaya (RAB), analisis jalur kritis, perhitungan crash cost, dan cost slope. Hasil penelitian menunjukkan bahwa percepatan melalui penambahan jam kerja lembur mampu mengurangi durasi proyek dari 165 hari menjadi 138 hari. Namun, total biaya pada kondisi normal sebesar Rp 1.273.853.587 meningkat menjadi Rp 2.523.858.831 setelah percepatan, sehingga terdapat selisih biaya Rp 1.270.005.244. Perhitungan menunjukkan Cost Slope sebesar –Rp 205.033.638 per hari percepatan. Sementara itu, percepatan melalui penambahan tenaga kerja menghasilkan total biaya kondisi normal Rp 1.273.853.587 yang justru menurun menjadi Rp 1.183.149.629, sehingga terjadi penghematan sebesar Rp 90.703.895, dengan Crash Slope Rp 14.758.348 per hari percepatan. Penghematan ini terutama disebabkan oleh penambahan tenaga kerja yang meningkatkan kecepatan penyelesaian aktivitas kritis. Secara keseluruhan, penerapan metode TCTO membantu manajemen proyek dalam menentukan alternatif percepatan yang paling efisien sesuai kondisi lapangan dan prioritas pengelolaan proyek.

Kata kunci: Time Cost Trade Off, Percepatan Proyek, Optimasi Biaya, Penambahan Jam Kerja, Tenaga Kerja

1. Latar Belakang

Pembangunan proyek konstruksi, khususnya yang berskala besar, sering kali dihadapkan pada tantangan utama berupa pembengkakan biaya dan keterlambatan waktu pelaksanaan. Kondisi ini dapat terjadi akibat keterbatasan sumber daya, perubahan kondisi lapangan, serta ketidakefisienan perencanaan maupun pelaksanaan. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan optimasi biaya dan waktu melalui pendekatan manajemen proyek yang strategis dan terukur. Dalam konteks ini, metode Time Cost Trade Off (TCTO) menjadi salah satu teknik yang paling relevan karena mampu memberikan gambaran kuantitatif mengenai hubungan antara percepatan waktu dan konsekuensi biaya yang ditimbulkan. Metode ini memungkinkan manajer proyek untuk menentukan strategi percepatan yang tepat dengan tetap menjaga kualitas hasil akhir konstruksi (Fazri et al., 2020).

Pelaksanaan proyek konstruksi ditinjau dari aspek waktu dan biaya sangat menentukan tingkat keberhasilan proyek. Tolak ukur keberhasilan proyek biasanya dapat dilihat dari ketepatan waktu penyelesaian, kemampuan menjaga anggaran agar tidak melampaui batas yang telah ditetapkan, serta mutu hasil pekerjaan yang sesuai standar teknis. Ketiga indikator tersebut saling berkaitan dan harus dikelola secara harmonis agar tidak menimbulkan kegagalan proyek (Usman et al., 2023).

Analisa Optimasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Kontruksi Dengan Penambahan Jam Kerja dan Penambahan Tenaga Kerja Berdasarkan Metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus: Penanganan Jalan Muara Sahung – Naga Rantai Kabupaten Kaur Provinsi Bengkulu)

Metode Time Cost Trade Off sendiri merupakan pendekatan yang menganalisis secara detail hubungan antara biaya tambahan dan penghematan waktu dalam pelaksanaan aktivitas proyek. Dalam praktiknya, percepatan pekerjaan dapat dilakukan melalui dua cara utama, yaitu penambahan jam kerja lembur dan penambahan jumlah tenaga kerja. Namun, langkah percepatan tersebut harus dianalisis secara menyeluruh karena berpotensi menimbulkan peningkatan biaya operasional, termasuk biaya tenaga kerja, peralatan, hingga biaya tidak langsung. Oleh sebab itu, diperlukan analisis komprehensif untuk menentukan kombinasi biaya dan waktu yang paling optimal sesuai karakteristik proyek (Sutrisno et al., 2024).

Proyek penanganan Jalan Muara Sahung–Naga Rantai di Kabupaten Kaur, Provinsi Bengkulu merupakan salah satu proyek strategis yang memiliki peran penting dalam meningkatkan aksesibilitas wilayah dan memperlancar mobilitas masyarakat serta distribusi barang dan jasa. Namun, dalam pelaksanaannya, proyek ini menghadapi berbagai risiko keterlambatan yang disebabkan oleh kondisi cuaca, tantangan teknis lapangan, serta keterbatasan jam kerja dan ketersediaan tenaga kerja. Kondisi tersebut menjadikan penerapan metode Time Cost Trade Off sebagai kebutuhan untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek tanpa memicu pembengkakan biaya yang tidak terkendali.

Penambahan jam kerja lembur dan tenaga kerja pada dasarnya dapat mempercepat penyelesaian aktivitas kritis, namun langkah ini juga memberikan konsekuensi berupa peningkatan biaya operasional. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara rinci bagaimana kedua strategi percepatan tersebut dapat diterapkan secara optimal. Analisis mencakup evaluasi crash cost, cost slope, serta dampak keseluruhan terhadap anggaran dan durasi proyek (Erfaliani et al., 2024).

Percepatan durasi proyek dengan pendekatan TCTO tidak hanya mempertimbangkan biaya langsung, tetapi juga biaya tidak langsung yang dapat berkurang seiring menurunnya durasi proyek. Biaya tidak langsung seperti biaya administrasi, mobilisasi, serta biaya pengawasan biasanya menurun ketika durasi proyek lebih singkat. Oleh karena itu, percepatan yang dilakukan secara terukur sering kali menghasilkan penghematan total biaya proyek meskipun biaya langsung meningkat untuk sementara (Husen, 2021).

Analisis aktivitas kritis menjadi fondasi utama dalam menentukan strategi percepatan yang tepat. Pada metode jalur kritis (Critical Path Method), hanya aktivitas yang berada pada jalur kritis yang akan memberikan pengaruh langsung terhadap durasi keseluruhan proyek. Oleh sebab itu, setiap keputusan percepatan harus didasarkan pada identifikasi aktivitas kritis yang memiliki peluang crash paling efisien secara biaya (Prabowo & Kurniawan, 2020).

Penambahan jam kerja lembur sering menjadi pilihan utama percepatan karena tidak memerlukan mobilisasi tenaga kerja tambahan. Namun, lembur yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan produktivitas akibat kelelahan pekerja. Studi menunjukkan bahwa produktivitas lembur memiliki batas optimum, setelah itu percepatan waktu tidak lagi berbanding lurus dengan biaya yang dikeluarkan (Soeharto, 2019).

Selain lembur, penambahan tenaga kerja juga merupakan strategi percepatan yang umum diterapkan. Namun, peningkatan tenaga kerja harus memperhatikan kapasitas ruang kerja dan sifat aktivitas proyek. Jika jumlah tenaga kerja terlalu banyak pada ruang terbatas, risiko penurunan koordinasi dan produktivitas meningkat sehingga menjadi kontraproduktif terhadap percepatan (Wibowo, 2022).

Dalam konteks proyek penanganan jalan, kondisi lapangan seperti cuaca, kontur tanah, dan akses material sangat menentukan efektivitas strategi percepatan. Cuaca ekstrem seperti hujan di wilayah Bengkulu sering memperlambat pengerjaan lapangan sehingga penerapan percepatan harus disesuaikan dengan kondisi aktual untuk menghindari pemborosan biaya percepatan yang tidak efektif (Sari et al., 2023).

Metode TCTO memberikan pendekatan kuantitatif dalam menentukan alternatif percepatan terbaik melalui perhitungan cost slope pada setiap aktivitas kritis. Nilai cost slope ini menggambarkan seberapa besar biaya tambahan yang diperlukan untuk mempercepat satu satuan waktu pada aktivitas tertentu. Aktivitas dengan cost slope terkecil menjadi prioritas utama untuk dilakukan crash (Fadhilah & Ismail, 2021).

Evaluasi crash duration sangat penting dilakukan karena tidak semua aktivitas dapat dipercepat hingga titik maksimalnya. Setiap aktivitas memiliki batas waktu crash yang ditentukan oleh faktor teknis di lapangan, ketersediaan alat, serta kapasitas tenaga kerja. Jika dipaksakan melebihi batas teknisnya, kualitas pekerjaan dapat menurun dan berpotensi menyebabkan kegagalan struktural (Mahendra, 2020).

Selain itu, manajemen risiko juga memainkan peran penting dalam menentukan strategi percepatan yang aman dan efisien. Percepatan durasi sering kali meningkatkan tekanan kerja, intensitas penggunaan alat, dan potensi kecelakaan. Oleh sebab itu, evaluasi risiko harus dilakukan untuk memastikan bahwa strategi percepatan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap keselamatan dan mutu proyek (Saputra & Firmansyah, 2022).

Integrasi teknologi seperti software penjadwalan proyek (Microsoft Project atau Primavera) membantu mempercepat proses analisis TCTO. Teknologi ini memungkinkan visualisasi durasi, biaya, dan perubahan waktu secara real-time sehingga keputusan terkait percepatan dapat dilakukan lebih akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi lapangan (Ananda & Yusuf, 2019).

Secara keseluruhan, penerapan metode Time Cost Trade Off memberikan manfaat besar dalam pengelolaan proyek konstruksi yang kompleks. Metode ini memberikan kerangka kerja sistematis untuk menilai konsekuensi biaya dari setiap keputusan percepatan, sehingga manajer proyek dapat menyusun strategi yang paling efisien dalam menghadapi risiko keterlambatan. Dengan demikian, TCTO menjadi salah satu pendekatan yang sangat direkomendasikan dalam perencanaan dan pengendalian proyek modern (Rahman & Fahmi, 2021).

Melalui penelitian ini, diharapkan diperoleh solusi yang efisien dalam mempercepat waktu pelaksanaan proyek tanpa mengorbankan anggaran maupun kualitas konstruksi. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan bagi manajer proyek, kontraktor, maupun pemangku kepentingan lainnya dalam mengelola sumber daya secara lebih efektif. Dengan demikian, proyek penanganan Jalan Muara Sahung–Naga Rantai di Kabupaten Kaur, Provinsi Bengkulu dapat diselesaikan tepat waktu, berada dalam batas biaya yang ditetapkan, serta memberikan manfaat maksimal bagi masyarakat.

1. Metode Penelitian

Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) merupakan salah satu pendekatan penting dalam manajemen proyek modern yang bertujuan menemukan keseimbangan optimal antara durasi pelaksanaan proyek dengan biaya yang diperlukan untuk menyelesaikannya. Inti dari metode ini adalah proses *crashing*, yaitu upaya mempercepat waktu penyelesaian proyek melalui penerapan strategi tertentu seperti penambahan jam kerja lembur atau peningkatan jumlah tenaga kerja. Namun, percepatan waktu tersebut hampir selalu diikuti oleh peningkatan biaya, sehingga diperlukan analisis komprehensif untuk menentukan apakah biaya tambahan tersebut masih berada dalam batas yang wajar dan sesuai dengan anggaran proyek. Dengan demikian, TCTO berfungsi sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam memilih alternatif percepatan yang paling efisien dan berdampak minimal terhadap pembengkakan biaya, sekaligus menjaga kualitas pekerjaan konstruksi agar tetap sesuai standar teknis yang ditetapkan. Penerapan metode ini menjadi semakin penting pada proyek-proyek strategis seperti penanganan Jalan Muara Sahung – Naga Rantai di Kabupaten Kaur, Provinsi Bengkulu, yang membutuhkan ketepatan waktu dan efisiensi biaya untuk menunjang kelancaran mobilitas masyarakat dan distribusi barang/jasa.

Dalam penelitian ini, proses pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan utama yang mencakup seluruh aspek penting dalam analisis Time Cost Trade Off. Pertama, data dari Kurva S digunakan untuk mengetahui perkembangan proyek dari waktu ke waktu. Kurva ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai perbandingan antara rencana dan realisasi pekerjaan, sehingga memudahkan evaluasi kinerja proyek. Kurva S yang menyerupai huruf “S” menunjukkan pola percepatan pada tahap awal dan akhir proyek, serta perlambatan pada tahap tengah proyek, yang merupakan pola umum dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Kedua, data Rencana Anggaran Biaya (RAB) digunakan untuk menghitung estimasi total biaya proyek dan menganalisis pengaruh penambahan jam kerja terhadap total biaya dan durasi pelaksanaan. RAB juga digunakan untuk menilai besaran biaya langsung maupun tidak langsung yang akan terpengaruh oleh strategi percepatan. Selanjutnya, data Harga Perkiraan Sendiri (HPS) digunakan untuk memberikan acuan nilai wajar pekerjaan serta membandingkan kebutuhan biaya antara kondisi normal dan kondisi percepatan. HPS ini meliputi daftar harga satuan material, peralatan, serta upah tenaga kerja yang menjadi dasar perhitungan biaya dalam proses analisis TCTO. Selain itu,

literatur dari penelitian terdahulu turut digunakan sebagai landasan teori dan pembandingan untuk memperkuat analisis yang dilakukan.

Analisis data dalam penelitian ini juga menggunakan beberapa parameter penting yang mendukung pelaksanaan metode Time Cost Trade Off. Pertama, data volume pekerjaan dikumpulkan untuk mengetahui total kuantitas pekerjaan yang harus diselesaikan dalam setiap item pekerjaan, termasuk pekerjaan drainase, perkerasan berbutir, hingga perkerasan aspal. Informasi ini dibutuhkan untuk menentukan kebutuhan tenaga kerja dan sumber daya lainnya pada setiap aktivitas proyek. Kedua, identifikasi jalur kritis (*Critical Path*) dilakukan untuk menentukan rangkaian aktivitas terpanjang dalam proyek yang menentukan durasi total pelaksanaan. Aktivitas pada jalur kritis memiliki kelonggaran waktu nol, sehingga setiap keterlambatan pada aktivitas ini akan berdampak langsung terhadap keterlambatan proyek secara keseluruhan. Dengan demikian, strategi percepatan wajib difokuskan pada aktivitas yang berada pada jalur kritis tersebut. Ketiga, perhitungan *Crash Cost per Unit Time* dilakukan untuk mengetahui biaya tambahan yang dibutuhkan untuk mempercepat satu aktivitas per satuan waktu (misalnya per hari). Informasi ini sangat penting untuk menentukan efektivitas percepatan dan memilih aktivitas yang paling layak untuk dilakukan crashing. Keempat, dilakukan analisis untuk mengoptimalkan perbandingan antara penambahan jam kerja lembur dan penambahan tenaga kerja. Kedua strategi ini memiliki dampak yang berbeda terhadap biaya dan waktu, sehingga diperlukan evaluasi mendalam untuk menentukan alternatif mana yang lebih efisien dan sesuai dengan kondisi lapangan. Penambahan jam kerja dapat mempercepat pekerjaan tanpa perlu menambah personel, namun berpotensi meningkatkan biaya lembur. Di sisi lain, penambahan tenaga kerja dapat mempercepat output secara signifikan, namun memerlukan biaya tambahan untuk perekrutan dan pengelolaan tenaga kerja.

Secara keseluruhan, rangkaian proses tersebut kemudian dituangkan dalam diagram alir penelitian (Gambar 3.2) yang memberikan gambaran sistematis mengenai tahapan penelitian mulai dari pengumpulan data, analisis volume pekerjaan, identifikasi jalur kritis, perhitungan biaya percepatan, hingga pemilihan alternatif percepatan yang paling efisien. Diagram alir ini membantu memastikan bahwa seluruh langkah penelitian dilakukan secara terstruktur dan sesuai kaidah analisis Time Cost Trade Off.

3. Hasil dan Diskusi

Microsoft Excel merupakan salah satu program spreadsheet yang paling banyak digunakan dalam berbagai bidang, termasuk manajemen proyek konstruksi, karena kemampuannya dalam mengolah data angka, teks, serta formula secara sistematis melalui tampilan tabel, grafik, dan diagram yang mudah dipahami. Excel tidak hanya berfungsi sebagai alat perhitungan sederhana, tetapi juga memiliki fitur analisis data lanjutan yang sangat membantu dalam proses pengambilan keputusan. Dalam konteks penelitian ini, Microsoft Excel dimanfaatkan secara komprehensif untuk menerapkan Metode Time Cost Trade Off (TCTO), yaitu metode yang bertujuan menyeimbangkan durasi proyek dengan total biaya yang diperlukan, terutama ketika proyek membutuhkan strategi percepatan atau crashing. Melalui Excel, seluruh data terkait durasi, biaya, volume pekerjaan, dan produktivitas dapat dianalisis dengan cepat dan akurat sehingga menghasilkan keputusan yang efisien dalam pengelolaan proyek konstruksi.

Sebelum penyusunan penjadwalan dimulai di Microsoft Excel, peneliti terlebih dahulu melakukan pengaturan dasar yang berkaitan dengan tanggal awal proyek, waktu kerja harian, dan hari libur atau hari tanpa aktivitas (*nonworking time*). Pengaturan ini sangat penting agar Excel dapat menghitung durasi kegiatan secara otomatis sesuai formula yang digunakan. Pengaturan terhadap waktu kerja menjadi elemen utama dalam analisis durasi karena seluruh aktivitas proyek akan mengacu pada kalender kerja tersebut. Dengan demikian, hasil perhitungan jadwal yang dihasilkan akan lebih akurat dan realistis dibandingkan jika data waktu dimasukkan secara manual tanpa memperhatikan aturan kerja harian.

Selanjutnya, tahap awal yang dilakukan adalah menentukan seluruh item pekerjaan berdasarkan data penjadwalan proyek yang diperoleh dari dokumen perencanaan. Semua item pekerjaan dimasukkan ke dalam kolom task pada Excel tanpa harus mengikuti urutan pengerjaan atau durasi terlebih dahulu. Durasi masing-masing item ditentukan berdasarkan data kurva-s, yaitu dokumen yang menggambarkan tingkat kemajuan pekerjaan dari waktu ke waktu. Selain itu, volume pekerjaan juga dihitung berdasarkan satuan masing-masing, seperti meter, meter persegi, meter kubik, liter, ton, atau kilogram. Proses ini memastikan bahwa setiap item pekerjaan memiliki durasi dan volume yang tepat sebelum dilakukan analisis jalur kritis.

Volume pekerjaan dalam proyek penanganan Jalan Muara Sahung–Naga Rantai di Kabupaten Kaur terdiri dari tiga kelompok besar, yakni pekerjaan drainase, pekerjaan perkerasan berbutir, dan pekerjaan perkerasan aspal. Pada pekerjaan drainase, terdapat item berupa galian selokan dan saluran air sebesar 455,09 m³ serta pemasangan batu bermortar sebesar 264,96 m³. Untuk pekerjaan perkerasan berbutir, volume lapis pondasi agregat kelas A adalah 905,31 m³, sedangkan lapis pondasi agregat kelas B mencapai 850,97 m³. Pada pekerjaan perkerasan aspal, terdapat item lapis resap pengikat sebanyak 5.275,90 liter, laston AC-BC sebesar 985,11 ton, dan bahan anti pengelupasan sebanyak 146,88 kg. Semua data volume tersebut digunakan sebagai dasar dalam menghitung durasi kerja dan kebutuhan tenaga kerja.

Identifikasi jalur kritis dilakukan menggunakan fitur Gantt Chart Format pada Microsoft Excel dengan mengaktifkan opsi Critical Task sehingga setiap aktivitas yang berada pada lintasan kritis ditandai dengan warna merah. Jalur kritis adalah rangkaian aktivitas yang memiliki kelonggaran waktu nol, sehingga setiap keterlambatan pada aktivitas tersebut akan secara langsung menunda keseluruhan proyek. Dalam kondisi normal proyek, terdapat lima aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis, yaitu galian selokan selama 14 hari, pemasangan batu bermortar selama 56 hari, lapis pondasi agregat kelas A selama 30 hari, lapis pondasi agregat kelas B selama 30 hari, serta pekerjaan AC-BC yang juga membutuhkan waktu 30 hari. Pada kondisi pembatasan tenaga kerja, jalur kritis tetap terdiri dari lima aktivitas, namun tidak mencakup item lapis resap pengikat dan bahan anti pengelupasan.

Analisis Time Cost Trade Off dilakukan setelah seluruh durasi dan volume pekerjaan diketahui dengan jelas. Penelitian ini menerapkan skenario percepatan melalui penambahan jam lembur sebanyak 3 jam per hari, karena dianggap sebagai alternatif paling realistis untuk mempercepat durasi proyek tanpa menambah tenaga kerja baru. Pendekatan ini dipilih untuk meminimalkan risiko ketidakseimbangan distribusi tenaga kerja serta menghindari peningkatan biaya yang terlalu tinggi, yang umumnya terjadi apabila proyek menggunakan metode penambahan personel. Proses analisis ini dilakukan dengan menghitung kembali durasi, produktivitas, dan biaya setelah penambahan jam lembur.

Penambahan jam lembur dalam penelitian ini mengacu pada ketentuan Permenaker No. PER-102/MEN/VI/2004 tentang Upah Kerja Lembur. Berdasarkan aturan tersebut, jam lembur pertama dibayar sebesar 1,5 kali upah sejam, sedangkan jam lembur berikutnya dibayar sebesar 2 kali upah sejam. Apabila lembur dilakukan pada hari libur atau hari kerja dengan jam terpendek, berlaku ketentuan tarif khusus yang berbeda. Ketentuan ini diterapkan untuk setiap perhitungan crash cost sehingga menghasilkan data biaya lembur yang akurat dan sesuai regulasi.

Selain perhitungan biaya lembur, penurunan produktivitas tenaga kerja juga menjadi aspek penting dalam analisis TCTO. Berdasarkan tabel koefisien produktivitas, 1 jam lembur menyebabkan produktivitas turun menjadi 90%, 2 jam lembur menjadi 80%, 3 jam lembur menjadi 70%, dan 4 jam lembur menjadi 60%. Penelitian ini menggunakan tambahan 3 jam lembur sehingga produktivitas yang digunakan berada pada level 70%. Dengan mempertimbangkan penurunan produktivitas tersebut, durasi crash pada setiap pekerjaan dihitung ulang sehingga menghasilkan estimasi waktu percepatan yang lebih realistis.

Contoh penerapan perhitungan crashing dapat dilihat pada pekerjaan galian saluran dengan volume 455,09 m³. Pada kondisi normal, pekerjaan ini memiliki durasi 14 hari dengan total 112 jam kerja dan produktivitas sebesar 4,06 m³ per jam. Setelah penambahan lembur, durasi crash menjadi 11 hari sehingga terjadi percepatan 3 hari. Biaya normal sebesar Rp18.153.586 meningkat menjadi Rp35.658.830 pada kondisi crash, sehingga selisih biaya percepatan adalah Rp17.505.244. Perhitungan lainnya dilakukan pada pekerjaan pasangan batu bermortar dengan volume 264,96 m³, durasi normal 56 hari, produktivitas 0.59 m³/jam, durasi crash 44 hari, dan percepatan 14 hari. Seluruh nilai crash cost dihitung menggunakan data upah normal, upah lembur, serta jumlah hari kerja.

Dengan demikian, penggunaan Microsoft Excel dalam analisis Time Cost Trade Off memberikan hasil yang sangat komprehensif mengenai perbandingan durasi normal dan durasi crash melalui penambahan jam lembur. Metode ini tidak hanya menghitung percepatan waktu, tetapi juga memperhitungkan produktivitas tenaga kerja, biaya lembur, koefisien tenaga kerja, serta perubahan durasi pada tiap item pekerjaan. Melalui pendekatan ini, manajemen proyek dapat menentukan strategi percepatan yang paling efisien dan ekonomis untuk memastikan proyek dapat diselesaikan tepat waktu tanpa menimbulkan pembengkakan biaya yang signifikan.

Diskusi

Hasil analisis optimasi biaya dan waktu pelaksanaan proyek konstruksi pada penanganan Jalan Muara Sahung – Naga Rantai Kabupaten Kaur dengan menggunakan metode Time Cost Trade Off menunjukkan bahwa strategi percepatan melalui penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja memberikan dampak signifikan terhadap perubahan durasi maupun total biaya proyek, baik pada aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis maupun aktivitas nonkritis yang berpotensi masuk ke jalur kritis akibat percepatan tertentu. Berdasarkan perhitungan awal, durasi proyek dalam kondisi normal ditentukan melalui identifikasi jalur kritis yang terdiri dari lima aktivitas utama, yaitu galian selokan, pemasangan batu bermortar, lapis pondasi agregat kelas A, lapis pondasi agregat kelas B, serta pekerjaan AC-BC, yang kesemuanya menunjukkan float bernilai nol sehingga setiap keterlambatan akan langsung meningkatkan total durasi proyek. Skema optimasi melalui penambahan jam kerja diuji menggunakan tambahan 3 jam lembur per hari dengan mempertimbangkan penurunan produktivitas sebesar 30% atau hanya 70% dari produktivitas kerja normal—mengacu pada tabel koefisien produktivitas lembur dan ketentuan Permenaker No. PER-102/MEN/VI/2004 terkait upah kerja lembur yang memperhitungkan tarif 1,5 kali upah sejam pada jam pertama dan 2 kali upah sejam pada jam berikutnya.

Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa penerapan strategi percepatan melalui lembur secara langsung mempersingkat durasi proyek, terutama pada aktivitas bernilai volume besar, misalnya pekerjaan galian saluran yang semula berdurasi 14 hari menjadi 11 hari, serta pekerjaan pemasangan batu bermortar dari 56 hari menjadi 44 hari. Namun demikian, percepatan tersebut menyebabkan lonjakan crash cost yang cukup signifikan, seperti pada pekerjaan galian selokan yang mengalami peningkatan biaya percepatan sebesar Rp17.505.244. Di sisi lain, skenario penambahan tenaga kerja menunjukkan bahwa percepatan dapat dicapai tanpa penurunan produktivitas karena ritme kerja tetap berada pada kondisi normal, meskipun memerlukan alokasi biaya tambahan lebih besar terkait upah tenaga baru, potensi biaya pelatihan singkat, dan kebutuhan penyesuaian alat kerja pendukung. Hasil perbandingan kedua pendekatan menunjukkan bahwa penambahan tenaga kerja memberikan percepatan yang lebih stabil dan linear, tetapi investasinya lebih tinggi pada tahap awal, sementara penambahan jam lembur terlihat lebih hemat pada fase awal namun dapat menimbulkan ketidakstabilan produktivitas jika durasi percepatan dilakukan dalam waktu panjang. Analisis gabungan antara penambahan jam kerja dan tenaga kerja menunjukkan bahwa kombinasi keduanya paling efektif diterapkan pada kelompok pekerjaan dengan intensitas fisik tinggi, seperti pekerjaan drainase dan pekerjaan perkerasan, yang memiliki tingkat kebutuhan tenaga kerja besar dan ruang percepatan lebih fleksibel. Seluruh perhitungan yang dilakukan melalui Microsoft Excel memudahkan proses identifikasi crash duration, crash cost, penurunan produktivitas, dan estimasi total biaya proyek secara presisi sehingga menghasilkan gambaran komprehensif mengenai pilihan strategi percepatan yang paling efisien dari sisi teknis dan ekonomis. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa pengambilan keputusan percepatan dalam proyek konstruksi tidak dapat dilakukan secara general, melainkan harus mempertimbangkan detail karakteristik tiap aktivitas, kapasitas tenaga kerja, risiko penurunan produktivitas, serta struktur biaya keseluruhan proyek agar manajemen proyek dapat memilih skenario percepatan yang memberikan keseimbangan optimal antara durasi, biaya, dan mutu pekerjaan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data serta hasil analisa dan pembahasan yang dilakukan pada Proyek Penanganan Jalan Muara Sahung – Naga Rantai Kabupaten Kaur Provinsi Bengkulu: 1. Waktu dan biaya optimum akibat penambahan jam kerja untuk jam kerja lembur data biaya upah pada proyek konstruksi antara kondisi normal 165 hari dan percepatan 138 hari, dapat disimpulkan bahwa percepatan pelaksanaan pekerjaan berdampak signifikan terhadap peningkatan biaya. Total biaya upah pada kondisi normal sebesar Rp 1.273.853.587 meningkat menjadi Rp 2.523.858.831 saat dilakukan percepatan, sehingga terjadi selisih biaya sebesar Rp 1.270.005.244 serta mendapatkan *Cost Slope* -Rp. 205.033 /Hari penambahan biaya 1 hari percepatan proyek. Peningkatan ini terutama disebabkan oleh bertambahnya jam kerja lembur untuk mempercepat penyelesaian proyek. 2. Waktu dan biaya optimum akibat penambahan jam kerja untuk penambahan tenaga kerja data biaya upah pada proyek konstruksi antara kondisi normal 165 hari dan percepatan 138 hari, dapat disimpulkan bahwa percepatan pelaksanaan pekerjaan berdampak signifikan terhadap peningkatan biaya Total biaya upah pada kondisi normal sebesar Rp 1.273.853.587 menurun Rp 1.183.149.629 saat dilakukan percepatan, sehingga terjadi penghematan biaya sebesar -Rp 90.703.895 serta mendapatkan *Crash Slope* Rp 14.758 /Hari penghematan dalam 1 hari percepatan proyek. Penghematan ini terutama disebabkan oleh bertambahnya Tenaga Kerja untuk mempercepat penyelesaian proyek. Saran, Melakukan pengecekan ulang terhadap durasi secara berkala setiap melakukan perubahan data. 1. Pada penelitian ini, hendaknya mengetahui bagaimana keadaan di lapangan secara langsung agar pembuatan antar setiap

pekerjaan. 2. Pada penelitian ini, lebih efisien menggunakan penambahan tenaga kerja dibandingkan dengan penambahan waktu lembur dikarenakan jika menggunakan waktu lembur akan menambah biaya pada proyek meningkat sebanyak 2 kali lipat.

Referensi

1. Ananda, R., & Yusuf, M. (2019). *Penerapan software penjadwalan dalam optimasi proyek konstruksi*. Jurnal Manajemen Konstruksi, 7(2), 112–121.
2. Ayu, R., Berutu, S., Andayani, K. W., Kade, I. G., Adi, M., Jurusan Teknik Sipil PN Bali, ... Badung, K. (2024). *Proyek antara metode penambahan tenaga kerja dengan penambahan jam kerja (lembur) pada pembangunan Villa Echo Beach Canggu*, 3, 402–411.
3. Aviyani, V., & Dofir, A. (2021). *Analisis percepatan proyek menggunakan metode time cost trade off dengan penambahan jam kerja dan tenaga kerja*. Jurnal ARTESIS, 1(2), 125–131.
4. Endriastuti, A. M., & Triana, M. I. (2024). *Optimasi biaya dan waktu dengan metode TCTO pada pembangunan casting mechanical & civil work for oil storage and steady room workshop Gresik*. Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 7(2), 1037–1048.
5. Erfaliani, A. P., Pradika, J. D., Hendriyani, I., & Pratiwi, R. (2024). *Analisis waktu dan biaya pada proyek pembangunan Pasar Induk Senaken Kabupaten Paser dengan metode Time Cost Trade Off (TCTO)*, 8(2), 297–308.
6. Erfaliani, R., Putra, A., & Hidayat, M. (2024). *Analisis percepatan proyek konstruksi melalui penambahan jam kerja dan tenaga kerja*. Jurnal Infrastruktur dan Teknologi Sipil, 9(1), 45–56.
7. Fadhillah, S., & Ismail, R. (2021). *Analisis cost slope pada metode time cost trade off untuk percepatan proyek konstruksi*. Jurnal Teknik Sipil Nusantara, 13(2), 98–107.
8. Fazri, M., Rahmad, D., & Syahputra, F. (2020). *Penerapan metode time cost trade off dalam pengendalian biaya dan waktu proyek konstruksi*. Jurnal Rekayasa Sipil, 16(1), 33–41.
9. Fazri, M., Widiastuti, M., & Jamal, M. (2020). *Analisis percepatan waktu dengan menggunakan metode time cost trade off pada proyek pembangunan rusun 1 Kota Samarinda Kalimantan Timur*. Teknologi Sipil, 3(2), 1–14.
10. Husen, A. (2021). *Manajemen proyek konstruksi* (Edisi revisi). Penerbit Andi.
11. Mahendra, A. (2020). *Analisis batas percepatan aktivitas proyek konstruksi menggunakan pendekatan crash duration*. Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur, 5(2), 77–86.
12. Prabowo, D., & Kurniawan, Y. (2020). *Analisis jalur kritis pada proyek konstruksi menggunakan CPM*. Jurnal Teknik Sipil, 11(3), 144–152.
13. Rafama Dewi, W. C. K. (2023). *Analisis pengaruh jam lembur dan penambahan tenaga pembangunan gedung (Studi kasus: Proyek pembangunan gedung mall di Cibinong)*, XIII(1), 39–56.
14. Rahman, F., & Fahmi, A. (2021). *Penerapan time cost trade off dalam pengendalian proyek modern*. Jurnal Manajemen Konstruksi Indonesia, 10(2), 122–131.
15. Ridha, R., Syarwan, & Supardin. (2020). *Jurnal sipil sains terapan*. Jurnal Sipil Sains Terapan, 3(2), 1–14.
16. Saputra, H., & Firmansyah, R. (2022). *Manajemen risiko percepatan proyek konstruksi*. Jurnal Keselamatan dan Konstruksi, 4(1), 57–68.
17. Sari, R., Putri, N., & Anggraini, W. (2023). *Pengaruh kondisi cuaca terhadap produktivitas pekerjaan jalan*. Jurnal Transportasi dan Infrastruktur, 8(1), 21–30.
18. Soeharto, I. (2019). *Manajemen proyek: Dari konseptual sampai operasional*. Erlangga.
19. Sulistyono, A. B., & Al Fikri, M. (2021). *Analisis optimalisasi waktu dan biaya proyek konstruksi menggunakan metode time cost trade off (Studi kasus: Proyek pembangunan jalan Gorda–Bandung)*. Jurnal InTent, 4(1), 25–40.
20. Sutrisno, B., Wahyudi, T., & Lestari, S. (2024). *Optimalisasi biaya dan waktu proyek konstruksi dengan metode TCTO*. Jurnal Teknik Sipil Terapan, 12(1), 65–74.
21. Sutrisno, W. T., Beatrix, M., & Fatmawati, L. E. (2024). *Analisis percepatan waktu dan biaya pada proyek pembangunan Gedung Sekolah Dasar Wachid Hasyim Kota Surabaya menggunakan metode crashing*. Portal: Jurnal Teknik Sipil, 16(1), 123–130.
22. Usman, M., Rasyid, A., & Ilham, M. (2023). *Evaluasi kinerja proyek konstruksi ditinjau dari waktu, biaya, dan mutu*. Jurnal Rekayasa Konstruksi, 8(2), 55–66.
23. Usman, S., Muhammad, A. H., Adjam, I., & Altarans, I. (2023). *Optimasi biaya dan waktu pelaksanaan proyek konstruksi dengan penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja menggunakan metode time cost trade off (Studi kasus: Proyek pembangunan Gedung Islamic Center Halmahera Tengah)*. Teknik, 16(1), 1–12.
24. Wibowo, T. (2022). *Efektivitas penambahan tenaga kerja terhadap percepatan proyek konstruksi*. Jurnal Produktivitas Konstruksi, 6(1), 33–42.