

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

Oleh:

Sabda Arsy Cholid¹

Amri Gunasti²

Senki Desta Galuh³

Universitas Muhammadiyah Jember

Alamat: JL. Gumuk Kerang, Karangrejo, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur (68124).

Korespondensi Penulis: sabdaarsycholid@gmail.com, amri.gunasti@yahoo.co.id,
senki.destajember.ac.id.

Abstract. Mechanized earthworks are an initial stage that plays a crucial role in determining the time and cost of a construction project. In the Istana Tegal Besar Housing project, mechanized earthworks still exhibit inefficiencies, such as imbalances in heavy equipment productivity, high equipment waiting times, and increased operational costs. This study aims to evaluate the actual conditions of mechanized earthworks and determine the most efficient combination of heavy equipment using the Least Cost Analysis (LCA) method. This study focused on mechanized earthworks, using excavators and dump trucks as the primary equipment. The research method used a quantitative approach through analysis of equipment productivity, work cycle time (Truck Cycle Time Operation), and operational costs based on field data and project documents. The analysis results indicate that the application of the Least Cost Analysis method can produce a more optimal combination of heavy equipment, characterized by reduced implementation time and operational costs compared to existing conditions. This method is effective as a basis for decision-making in mechanized earthworks planning.

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

Keywords: *Mechanized Earthworks, Cutting, Heavy Equipment, Least Cost Analysis, Time and Cost.*

Abstrak. Pekerjaan tanah mekanis merupakan tahapan awal yang berperan penting terhadap waktu dan biaya pelaksanaan proyek konstruksi. Pada proyek Perumahan Istana Tegal Besar, pelaksanaan pekerjaan tanah mekanis masih menunjukkan ketidakefisienan, seperti ketidakseimbangan produktivitas alat berat, tingginya waktu tunggu alat, serta meningkatnya biaya operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi aktual pekerjaan tanah mekanis dan menentukan kombinasi alat berat yang paling efisien menggunakan metode *Least Cost Analysis* (LCA). Penelitian ini difokuskan pada pekerjaan *cut* (penggalian) tanah mekanis dengan alat utama berupa *excavator* dan *dump truck*. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui analisis produktivitas alat, waktu siklus kerja (*Truck Cycle Time Operation*), serta biaya operasional berdasarkan data lapangan dan dokumen proyek. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan metode *Least Cost Analysis* mampu menghasilkan kombinasi alat berat yang lebih optimal, ditandai dengan penurunan waktu pelaksanaan dan biaya operasional dibandingkan kondisi eksisting. Metode ini efektif sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan pekerjaan tanah mekanis.

Kata Kunci: Pekerjaan Tanah Mekanis, *Cut*, Alat Berat, *Least Cost Analysis*, Waktu Dan Biaya.

LATAR BELAKANG

Pekerjaan tanah mekanis merupakan tahapan awal yang sangat menentukan keberhasilan suatu proyek konstruksi, baik dari segi waktu pelaksanaan maupun biaya. Pada proyek pembangunan perumahan berskala menengah hingga besar, pekerjaan tanah sering melibatkan volume galian yang besar dan penggunaan alat berat secara intensif. Ketidaktepatan dalam pemilihan jenis, jumlah, dan kombinasi alat berat dapat menyebabkan rendahnya produktivitas, meningkatnya waktu tunggu alat (*idle time*), serta pembengkakan biaya operasional.

Pada proyek Perumahan Istana Tegal Besar, pelaksanaan pekerjaan tanah mekanis khususnya pekerjaan *cut* (penggalian) masih menunjukkan berbagai permasalahan operasional, seperti ketidakseimbangan antara alat gali dan alat angkut, rute angkut yang kurang efisien, serta tingginya konsumsi bahan bakar akibat waktu siklus kerja yang panjang. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kombinasi alat berat yang digunakan belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan analisis yang mampu mengevaluasi efisiensi penggunaan alat berat secara menyeluruh. Metode *Least Cost Analysis* (LCA) digunakan dalam penelitian ini untuk membandingkan beberapa alternatif kombinasi alat berat berdasarkan produktivitas, waktu pelaksanaan, dan biaya operasional, sehingga diperoleh kombinasi yang paling efisien.

KAJIAN TEORITIS

Pekerjaan Tanah Mekanis

Pekerjaan tanah merupakan tahap awal yang sangat menentukan kestabilan dan integritas struktur bangunan. Hardiyatmo (2002) menambahkan bahwa pekerjaan tanah adalah seluruh kegiatan teknis yang berkaitan dengan modifikasi kontur tanah melalui penggalian, penimbunan, pemasatan, dan perataan. Dalam pelaksanaannya, ruang lingkup pekerjaan tanah melibatkan penggunaan berbagai jenis alat berat yang masing-masing memiliki fungsi dan kapasitas kerja yang berbeda, tergantung pada jenis Ketidaktepatan dalam pemilihan alat berat dapat menyebabkan rendahnya produktivitas dan meningkatnya biaya operasional proyek. Pekerjaan dan karakteristik tanah di lokasi proyek.

Alat Berat pada Pekerjaan Tanah

Alat berat merupakan peralatan mekanis yang digunakan untuk mempermudah dan mempercepat pekerjaan konstruksi dalam skala besar. Pada pekerjaan tanah mekanis, alat berat yang umum digunakan antara lain excavator sebagai alat gali dan dump truck sebagai alat angkut. Excavator berfungsi untuk menggali dan memuat material ke dalam dump truck, sedangkan dump truck berfungsi untuk mengangkut material hasil galian ke lokasi pembuangan. Menurut Caterpillar (2017), produktivitas alat berat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kapasitas alat, waktu siklus kerja, kondisi lapangan, keterampilan operator, dan efisiensi kerja. Oleh karena itu, keseimbangan produktivitas

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

antara alat gali dan alat angkut sangat penting untuk menghindari waktu tunggu (*idle time*).

Produktivitas Alat Berat

Produktivitas alat berat didefinisikan sebagai kemampuan alat untuk menyelesaikan sejumlah pekerjaan dalam satuan waktu tertentu. Produktivitas alat berat umumnya dinyatakan dalam satuan meter kubik per jam (m^3/jam). Besarnya produktivitas dipengaruhi oleh kapasitas bucket, faktor pengisian, waktu siklus, serta efisiensi kerja lapangan. Perhitungan produktivitas alat berat menjadi dasar dalam menentukan durasi pekerjaan tanah. Apabila produktivitas alat gali lebih besar dibandingkan alat angkut, maka akan terjadi waktu tunggu pada alat gali, dan sebaliknya. Oleh karena itu, diperlukan analisis produktivitas yang seimbang untuk mencapai efisiensi kerja.

Truck Cycle Time Operation (TCTO)

Truck Cycle Time Operation (TCTO) merupakan metode yang digunakan untuk menghitung waktu siklus dump truck dalam satu kali operasi pengangkutan. Waktu siklus dump truck terdiri dari waktu pemuatan, waktu angkut, waktu pembongkaran, dan waktu kembali ke lokasi pemuatan. Menurut Caterpillar (2017), waktu siklus dump truck sangat dipengaruhi oleh jarak angkut, kondisi jalan, kecepatan kendaraan, serta waktu tunggu di lokasi pemuatan dan pembongkaran. Analisis TCTO sangat penting dalam pekerjaan tanah mekanis karena berpengaruh langsung terhadap produktivitas dump truck dan durasi pekerjaan secara keseluruhan. Semakin besar waktu siklus dump truck, maka semakin rendah produktivitas alat angkut.

Least Cost Analysis (LCA)

Least Cost Analysis (LCA) merupakan metode analisis yang digunakan untuk menentukan alternatif pelaksanaan pekerjaan dengan biaya total paling rendah. Dalam pekerjaan tanah mekanis, metode LCA digunakan untuk membandingkan beberapa kombinasi alat berat berdasarkan produktivitas, durasi pekerjaan, dan biaya operasional. Menurut beberapa penelitian sebelumnya, penerapan metode Least Cost Analysis mampu membantu perencana proyek dalam menentukan jumlah dan jenis alat berat yang optimal.

Kombinasi alat berat yang tepat tidak hanya menurunkan biaya operasional, tetapi juga mempercepat waktu pelaksanaan proyek dan meningkatkan efisiensi kerja.

Metode *Caterpillar*

Caterpillar Inc. merupakan salah satu produsen alat berat terbesar dan paling dikenal di dunia dalam industri konstruksi dan pertambangan. Didirikan pada awal abad ke-20, Caterpillar telah menghasilkan berbagai jenis alat berat yang digunakan secara luas dalam pekerjaan tanah mekanis, antara lain excavator, wheel loader, dozer, dan dump truck. Menurut Caterpillar (2017), beberapa faktor yang sangat mempengaruhi performa dan produktivitas alat berat antara lain:

1. Kapasitas Bucket – Besarnya muatan material per siklus memengaruhi jumlah siklus yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan.
2. Waktu Siklus Kerja (*Cycle Time*) – Semakin cepat waktu siklus, semakin tinggi produktivitas alat, meskipun faktor lapangan seperti kondisi medan dan rutinitas operator juga berperan.
3. Efisiensi Kerja Lapangan – Termasuk kondisi tanah, operasional dump truck, serta koordinasi antar alat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis teknis dan ekonomis. Studi kasus dilakukan pada proyek Perumahan Istana Tegal Besar yang berlokasi di Kabupaten Jember, Jawa Timur. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada pekerjaan tanah mekanis berupa pekerjaan cut (penggalian), sedangkan pekerjaan timbunan (fill) tidak dianalisis.

Jenis dan Sumber Data

1. Data Primer, berupa hasil observasi lapangan, waktu siklus kerja alat berat, jumlah trip dump truck dan jam kerja alat.
2. Data Sekunder, berupa volume pekerjaan, spesifikasi alat berat, harga sewa alat, biaya bahan bakar serta dokumen proyek.

Tahapan Analisis

1. Perhitungan produktivitas alat berat

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

2. Perhitungan waktu siklus dump truck menggunakan metode TCTO
3. Penyusunan beberapa alternatif kombinasi alat berat
4. Perhitungan durasi dan biaya operasional tiap alternative
5. Penentuan kombinasi alat berat optimal menggunakan metode Least Cost Analysis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pekerjaan ini menggunakan berbagai jenis alat berat, seperti excavator untuk penggalian dan pemuatan tanah, *dump truck* untuk pengangkutan material, *bulldozer* untuk perataan timbunan, serta compactor untuk pemasangan lapisan tanah. Efisiensi penggunaan alat berat menjadi sangat penting, mengingat volume pekerjaan tanah cukup besar dan berpengaruh langsung terhadap waktu serta biaya pelaksanaan proyek (Bahiuddin et al., 2024). Dengan kondisi lokasi yang bervariasi serta kebutuhan lahan yang luas, proyek Perumahan Tegal Besar menjadi studi kasus yang tepat untuk menganalisis optimalisasi pekerjaan tanah menggunakan metode *Least Cost Analysis*.

Analisa Pemakaian Alat dan Produktivitas Alat Berat

Perbandingan antara produktivitas alat berat dengan biaya yang dikeluarkan akan menghasilkan nilai satuan biaya per volume pekerjaan (Rp/m³). Nilai inilah yang kemudian menjadi dasar dalam mengevaluasi efektivitas penggunaan alat berat sekaligus menentukan strategi optimalisasi biaya pada proyek pembangunan Perumahan Tegal Besar. Tiap jumlah alat berat yang digunakan, serta unit, kapasitas, biaya sewa, dll. Penjelasan ini ada di tabel berikut :

Tabel 1. Analisis Alat Berat yang digunakan

Jenis Alat Berat	Jumlah Unit	Kapasitas / Jam Kerja	Biaya Sewa (Rp/jam/hr)	Konsumsi BBM (liter/jam)	Fungsi Utama
Excavator	5	0,8 – 1,0 m ³ /bucket	180000	20	Penggalian dan pemuatan material

Dump Truck (10 m ³)	15	±130 km/trip/hari	130000	2 liter/trip	Pengangkutan material cut–fill
Bulldozer D6	2	±100 m ³ /jam	180000	20	Meratakan timbunan & membuka jalur kerja
Compactor/Vibro Roller	1	± 250 m ³ /jam	167000	15	Pemadatan tanah timbunan
Sheep Foot Roller	1	± 250 m ³ /jam	167000	15	Pemadatan tanah berbutir halus
Motor Grader	1	± 150 m ³ /jam	167000	15	Perataan akhir & pembentukan elevasi

Sumber : Data AHSP, 2025.

Data Volume Pekerjaan Tanah

Berdasarkan hasil analisis volume pekerjaan tanah dan koreksi menggunakan standar *Caterpillar Performance Handbook*, diketahui bahwa material hasil galian dan tanah borrow yang tersedia tidak mampu memenuhi kebutuhan volume timbunan yang direncanakan. Setelah memperhitungkan faktor shrinkage tanah lempung sebesar 15% dan faktor koreksi lapangan sebesar 85%, volume timbunan efektif yang tersedia hanya mencapai 556.325 m³, jauh lebih kecil dibandingkan kebutuhan timbunan sebesar 730.000 m³. Kondisi ini mengakibatkan kekurangan volume timbunan sebesar 173.675 m³, sehingga dapat disimpulkan bahwa material tanah dari lokasi proyek tidak mencukupi dan diperlukan penambahan material timbunan dari luar lokasi proyek (*borrow soil*) untuk memenuhi kebutuhan timbunan sesuai perencanaan.

Analisis Biaya Operasional dan Margin Proyek

Berdasarkan hasil analisis biaya operasional pekerjaan tanah pada proyek Perumahan Istana Tegal Besar, diperoleh total pendapatan proyek sebesar Rp 27.000.000.000 dari volume pekerjaan 1.500.000 m³. Total biaya operasional yang dikeluarkan mencapai Rp 12.892.800.000, yang terdiri dari biaya ritase *dump truck* dan *quarry*, biaya pemadatan, serta biaya overhead proyek. Dengan demikian, proyek menghasilkan keuntungan kotor sebesar Rp 14.107.200.000 dengan harga pokok pemadatan sebesar Rp 8.595/m³, jauh lebih rendah dibandingkan harga kontrak Rp

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

18.000/m³. Kondisi ini menunjukkan bahwa pekerjaan tanah pada proyek tersebut memberikan tingkat keuntungan yang tinggi dengan profit margin sebesar 52,25%, sehingga secara ekonomis pelaksanaan proyek dinilai sangat layak dan menguntungkan.

Penerapan Metode Least Cost

Berdasarkan hasil Least Cost Analysis pada pekerjaan tanah mekanis di Proyek Perumahan Istana Tegal Besar, diperoleh bahwa Kombinasi A (5 excavator dan 15 dump truck) menghasilkan produktivitas tertinggi sebesar 7.500 m³/hari dengan durasi pekerjaan paling singkat, yaitu 200 hari, atau 50 hari lebih cepat dibandingkan Kombinasi B. Namun demikian, meskipun lebih cepat, Kombinasi A tidak memberikan penghematan biaya dibandingkan Kombinasi B. Sebaliknya, Kombinasi B (4 excavator dan 12 dump truck) menghasilkan produktivitas lebih rendah sebesar 6.000 m³/hari dengan durasi 250 hari, tetapi mampu menekan biaya operasional sehingga menjadi alternatif paling efisien berdasarkan prinsip *Least Cost Analysis*. Hasil ini menunjukkan bahwa efisiensi pekerjaan tanah tidak hanya ditentukan oleh kecepatan pelaksanaan, tetapi juga oleh keseimbangan produktivitas alat gali dan alat angkut untuk meminimalkan waktu tunggu (*idle time*), sebagaimana didukung oleh penelitian terdahulu. Oleh karena itu, pemilihan kombinasi alat berat yang optimal harus mempertimbangkan keterkaitan antara waktu dan biaya secara simultan serta disesuaikan dengan kondisi aktual lapangan.

Analisa Percepatan Proyek dengan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO)

Berdasarkan analisis percepatan pekerjaan tanah menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO), diperoleh bahwa dengan menambah jumlah alat berat menjadi 6 unit excavator dan 18 unit dump truck serta menerapkan jam kerja lembur hingga 12 jam per hari, produktivitas harian meningkat dari 7.500 m³/hari menjadi 10.800 m³/hari. Peningkatan produktivitas tersebut mampu menurunkan durasi pekerjaan secara signifikan dari 200 hari menjadi sekitar 139 hari, sehingga target percepatan waktu pelaksanaan berhasil dicapai. Namun demikian, percepatan waktu ini diikuti oleh peningkatan biaya operasional. Total biaya tambahan akibat penambahan unit alat, biaya lembur operator, dan konsumsi bahan bakar mencapai Rp 11.595.258.000.

Biaya tersebut mencerminkan konsekuensi langsung dari strategi percepatan yang menuntut penggunaan sumber daya lebih besar dan jam kerja lebih panjang. Dengan demikian, metode TCTO terbukti efektif dalam menekan durasi pekerjaan, tetapi perlu dipertimbangkan secara cermat dari sisi ekonomi agar percepatan waktu yang dicapai tetap sebanding dengan kenaikan biaya yang dikeluarkan. Apabila hasil TCTO tersebut dibandingkan dengan hasil *Least Cost Analysis* (LCA), dapat disimpulkan bahwa strategi percepatan waktu bukan merupakan alternatif paling ekonomis. LCA menunjukkan bahwa kombinasi alat berat optimal tanpa percepatan memberikan biaya total yang lebih rendah dengan durasi pekerjaan yang masih dapat diterima. Dengan demikian, meskipun metode TCTO efektif dalam menekan waktu pelaksanaan, penerapannya tidak selalu sejalan dengan prinsip biaya minimum. Oleh karena itu, berdasarkan pendekatan Least Cost Analysis, kombinasi alat berat dengan keseimbangan produktivitas optimal tanpa percepatan waktu dinyatakan sebagai alternatif paling efisien untuk pekerjaan tanah mekanis di Proyek Perumahan Istana Tegal Besar.

Analisis TCTO Awal dan TCTO Terkoreksi *Swell-Shrinkage* Metode Caterpillar

Pekerjaan tanah merupakan salah satu item pekerjaan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap durasi dan biaya proyek konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan analisis produktivitas alat berat yang akurat agar pelaksanaan pekerjaan tanah dapat berlangsung secara efektif dan ekonomis. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menganalisis produktivitas alat angkut adalah *Truck Cycle Time Operation* (TCTO) berdasarkan Caterpillar *Performance Handbook*. Analisis TCTO pada penelitian ini dibedakan menjadi dua tahapan, yaitu TCTO awal yang dihitung berdasarkan volume rencana tanpa koreksi perubahan volume tanah, serta TCTO terkoreksi yang telah mempertimbangkan faktor pengembangan (*swell*) dan penyusutan (*shrinkage*) tanah. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran kinerja alat berat yang lebih mendekati kondisi lapangan sebenarnya.

Analisis TCTO Awal (Tanpa Koreksi *Swell* dan *Shrinkage*)

Berdasarkan perhitungan *Truck Cycle Time Operation* (TCTO) awal dengan asumsi kondisi ideal dan volume tanah dalam *bank condition* (BCM), total volume pekerjaan tanah sebesar 1.500.000 m³ dilayani oleh 18 unit *dump truck* berkapasitas 10 m³. Produktivitas *excavator* sebesar 900 m³/jam atau 10.800 m³/hari menghasilkan

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

produktivitas *dump truck* sebesar 50 m³/jam per unit, dengan jumlah ritasi 5 rit/jam. Dari hasil tersebut diperoleh nilai TCTO awal sebesar 12 menit per siklus. Nilai ini menunjukkan waktu siklus *dump truck* pada kondisi teoritis sebelum dilakukan koreksi akibat perubahan volume tanah dan faktor lapangan lainnya.

Analisis Pengaruh *Swell* Terhadap TCTO

Berdasarkan klasifikasi tanah sebagai common earth dan mengacu pada *Caterpillar Performance Handbook*, digunakan nilai swell sebesar 25% yang menyebabkan volume tanah meningkat dari 1.500.000 m³ (BCM) menjadi 1.875.000 m³ (LCM). Peningkatan volume ini mengakibatkan penurunan ritasi efektif *dump truck* dari 5 rit/jam menjadi 4 rit/jam. Akibatnya, nilai *Truck Cycle Time Operation* (TCTO) meningkat dari 12 menit per siklus pada kondisi ideal menjadi 15 menit per siklus setelah mempertimbangkan efek swell, atau mengalami kenaikan sebesar 3 menit per siklus.

Analisis Pengaruh *Shrinkage* Terhadap TCTO

Setelah proses penimbunan dan pemedatan, tanah common earth mengalami shrinkage sebesar 10% yang berdampak pada peningkatan waktu bongkar, perataan, pemedatan, serta antrian *dump truck* di lapangan. Untuk merepresentasikan kondisi lapangan yang lebih realistik, diterapkan faktor koreksi tambahan sebesar 15% terhadap nilai TCTO akibat swell. Dengan demikian, nilai *Truck Cycle Time Operation* (TCTO) meningkat dari 15 menit per siklus menjadi sekitar 17,25 menit per siklus, atau dibulatkan menjadi 17,2 menit per siklus sebagai TCTO akhir yang mencerminkan kondisi operasional lapangan nyata.

Produktivitas *Dump Truck* Berdasarkan TCTO Terkoreksi

Berdasarkan nilai *Truck Cycle Time Operation* (TCTO) akhir sebesar 17,2 menit per siklus, diperoleh jumlah ritasi *dump truck* sebesar 3,49 rit per jam. Dengan kapasitas 10 m³ per rit, produktivitas satu unit *dump truck* mencapai 34,9 m³/jam. Untuk 18 unit *dump truck*, total produktivitas sistem alat angkut sebesar 628,2 m³/jam atau 7.538,4 m³/hari dengan jam kerja efektif 12 jam per hari. Berdasarkan volume tanah lepas sebesar 1.875.000 m³, estimasi durasi pekerjaan tanah adalah sekitar 248,7 hari atau

dibulatkan menjadi 249 hari kerja efektif. Hasil durasi ini dinilai realistik dan konsisten dengan kondisi proyek berskala besar setelah mempertimbangkan pengaruh swell dan shrinkage tanah.

Analisis Biaya Pekerjaan Tanah Metode *Caterpillar*

Berdasarkan analisis biaya pekerjaan tanah menggunakan metode Caterpillar yang mengacu pada produktivitas alat berat hasil TCTO terkoreksi, diperoleh total biaya operasional alat sebesar Rp 8.100.000 per jam, yang terdiri dari biaya excavator sebesar Rp 2.700.000 per jam (6 unit) dan biaya dump truck sebesar Rp 5.400.000 per jam (18 unit). Dengan produktivitas sistem alat sebesar 628,2 m³ per jam, diperoleh biaya satuan pekerjaan tanah sebesar Rp 12.895/m³. Untuk total volume tanah lepas sebesar 1.875.000 m³, estimasi total biaya pekerjaan tanah mencapai Rp 24.178.125.000.

Nilai biaya tersebut dihitung berdasarkan TCTO aktual sebesar 17,2 menit per siklus yang telah mempertimbangkan pengaruh swell dan shrinkage tanah, sehingga mencerminkan kinerja riil alat berat di lapangan. Kombinasi 6 unit excavator dan 18 unit dump truck menghasilkan keseimbangan produktivitas tanpa idle time yang signifikan dan memberikan biaya satuan yang efisien. Oleh karena itu, biaya sebesar Rp 12.895/m³ dapat dinyatakan sebagai biaya optimal pekerjaan tanah karena disusun berdasarkan kondisi operasional aktual dan dapat dipertanggungjawabkan secara teknis.

Perbandingan Hasil Antara Metode dan Kombinasi Alat

Seluruh metode dianalisis pada volume efektif pekerjaan tanah yang sama, yaitu 1.500.000 m³, sehingga perbedaan hasil yang terjadi disebabkan oleh perbedaan kombinasi alat berat, produktivitas, durasi, dan biaya. Metode awal menggunakan 5 unit excavator dan 15 unit dump truck dengan produktivitas 7.500 m³/hari, sehingga durasi pelaksanaan pekerjaan adalah 200 hari dengan total biaya sebesar Rp 5.700.000.000. Metode LCA Kombinasi A menunjukkan hasil yang sama dengan metode awal, sedangkan pada LCA Kombinasi B jumlah alat dikurangi menjadi 4 unit excavator dan 12 unit dump truck, yang menurunkan produktivitas menjadi 6.000 m³/hari dan memperpanjang durasi pekerjaan menjadi 250 hari, meskipun total biaya tetap sebesar Rp 5.700.000.000.

Pada metode TCTO, Kombinasi A menghasilkan kinerja yang sama dengan metode awal. Sementara itu, TCTO Kombinasi B menghasilkan produktivitas tertinggi

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

sebesar 9.000 m³/hari, sehingga durasi pekerjaan dapat dipercepat menjadi 139 hari. Namun, peningkatan jumlah alat menjadi 6 unit excavator dan 18 unit dump truck menyebabkan total biaya meningkat menjadi Rp 8.642.940.800. Dengan demikian, LCA Kombinasi B lebih efisien dari sisi penggunaan alat namun berdampak pada waktu pelaksanaan yang lebih lama, sedangkan TCTO Kombinasi B paling unggul dalam percepatan waktu dengan konsekuensi biaya yang lebih besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kondisi Aktual Pelaksanaan Pekerjaan Tanah

Kondisi aktual pelaksanaan pekerjaan tanah mekanis (*cut and fill*) berlangsung selama 200 hari dengan total biaya proyek sebesar Rp 10.300.000.000. Kombinasi alat berat yang digunakan pada kondisi ini belum ditentukan berdasarkan analisis produktivitas dan biaya satuan yang optimal, sehingga masih terdapat potensi ketidakefisienan baik dari sisi durasi pelaksanaan maupun biaya operasional.

2. Penerapan Metode *Least Cost Analysis* (LCA) dan Metode *Caterpillar*

Penerapan metode *Least Cost Analysis* (LCA) mampu menentukan kombinasi alat berat paling efisien pada kondisi durasi normal dengan biaya satuan terendah. Kombinasi hasil LCA kemudian digunakan sebagai kondisi dasar sebelum dilakukan analisis percepatan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Berdasarkan produktivitas alat berat yang dihitung menggunakan TCTO terkoreksi Caterpillar, diperoleh biaya satuan pekerjaan tanah sebesar Rp 12.895/m³ dengan total biaya pekerjaan tanah sebesar Rp 24.178.125.000, yang mencerminkan biaya optimal sesuai kondisi aktual lapangan.

3. Perbandingan Alternatif Kombinasi Alat Berat dan Efisiensi Tertinggi

Hasil perbandingan antara kondisi aktual, metode LCA, dan metode TCTO–Caterpillar menunjukkan bahwa kombinasi alat berat dengan efisiensi tertinggi adalah kombinasi hasil metode TCTO. Metode ini mampu menurunkan durasi pekerjaan dari 200 hari menjadi 139 hari, atau terjadi percepatan sebesar 61 hari ($\pm 30,5\%$). Selain itu, total biaya proyek dapat ditekan menjadi Rp

11.595.258.000, sehingga metode TCTO menghasilkan waktu pelaksanaan tercepat sekaligus biaya terendah. Efisiensi ini dicapai melalui penyesuaian jumlah alat berat, penerapan jam kerja lembur, serta optimalisasi konsumsi bahan bakar untuk meningkatkan produktivitas harian.

Saran

1. Pemilihan kombinasi alat berat harus mempertimbangkan produktivitas dan kondisi lapangan agar pekerjaan lebih efisien.
2. Percepatan proyek perlu dihitung secara ekonomis agar peningkatan biaya tetap terkendali.
3. Monitoring produktivitas alat harus dilakukan secara rutin selama pelaksanaan.
4. Penelitian berikutnya dapat memasukkan variabel lain seperti cuaca dan perubahan harga operasional.

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

DAFTAR REFERENSI

- Akhir, T., Harjani, D. A. Y. U., Studi, P., Sipil, T., Sarjana, P., Teknik, F., Dan, S., & Indonesia, U. I. (2023). *ARRANGEMENT OF TPA REGIONAL PIYUNGA*.
- Anisarida, A. A., Janizar, S., Schipper, L. A., Setiawan, F., Sifa, F., & Ardillah, M.F. (2025). *PENDAMPINGAN TEKNIS PERHITUNGAN VOLUME CUT AND FILL UNTUK PEMBANGUNAN RUMAH HUNIAN DI KAWASAN PERBUKITAN BANDUNG CITY VIEW 2*. 5(1), 92–98.
- Arebo, G. D. E. L., Tinggi, K. P., Politeknik, T., Bali, N., & Sipil, J. T. (2025). *PERHITUNGAN VOLUME GALIAN DAN TIMBUNAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN NEXA RESORT , TAMPAKSIRING GIANYAR BALI PERHITUNGAN VOLUME GALIAN DAN TIMBUNAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN NEXA RESORT , TAMPAKSIRING , GIANYAR , BALI*.
- Bahiuddin, I., Krisnaputra, R., & P, B. D. (2024). *Optimalisasi Penggunaan Alat Berat Pada Proyek Land Clearing Perkebunan di PT Sarana Subur Agrindotama FERDHI BUDHI PAMUNGKAS, Irfan Bahiuddin, S.T., M.Phil., Ph.D., Radhian Krisnaputra,S.T.,M.Eng., Braam Delfian P.,S.T.* 76–77.
- Chaplin, E. J., & Rahman, A. (2022). *Analisa Biaya Operasional Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan*. 3(1), 42–48.
- Dan, P., & Tanah, P. (2024). *ANALISIS PEMILIHAN ALAT BERAT DALAM PEKERJAAN SKRIPSI OLEH : SIXNOR HUTAGAOL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN 2024 UNIVERSITAS MEDAN AREA GALIAN , PENIMBUNAN DAN PEMINDAHAN TANAH PADA SKRIPSI Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Fakultas Teknik Universitas Medan Area Oleh : SIXNOR HUTAGAOL UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN 2024*.
- Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil.* (2025).
- Erianda, R., Alvisyahrin, T., & Rusdi, M. (2022). *Proses Cut and Fill Pada Lahan Berlereng Menggunakan Data Spasial Pada Lembah Barbate (Cut and Fill Process on Sloping Land Using Spatial Data In The Barbate Valley)*. 7, 712–716.

- Fajar, U. (2021). *Studi produktivitas kerja dan waktu penggunaan alat berat*.
- Gunungkidul, D. I., Anggaran, T., Putra, A. S., Sahid, M. N., Magfirona, A., & Priyanto, B. (2025). *PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN PENGGANTI RUAS*. 118–129.
- Gwimbi, P., Lebese, P., & Kanono, K. (2020). Heliyon Mainstreaming health impact assessments in environmental impact statements into planning obligations in post dam construction in Metolong , Lesotho : A qualitative investigation. *Heliyon*, 6(May), e04362. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04362>
- Hadianto, U., Dita, I. N., & Putra, P. (2025). *Efficiency Analysis of the Combination of Heavy Equipment Use in Excavation and Landfill Work in Road Construction Projects*. 20(3), 1–18.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I Jilid III. *Gadjah Mada University Press*, 1.
- Jalan, P., Pasuruan, T. O. L., & Seksi, P. (2024). *OPTIMASI ALAT BERAT PEKERJAAN GALIAN AND TIMBUNAN*. 5, 63–68.
- Jurusan, A., Sipil, T., Mataram, U., Teknik, D., & Universitas, S. (2022). *Evaluasi produktivitas dan efisiensi alat berat pada pekerjaan tanah proyek perpanjangan runway di bandara internasional lombok*.
- Kacapuri, J., Keilmuan, J., & Sipil, T. (2022a). *JURNAL KACAPURI JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL Volume 5 Nomor 1 Edisi Juni 2022*. 5, 252–259.
- Kacapuri, J., Keilmuan, J., & Sipil, T. (2022b). *JURNAL KACAPURI JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL Volume 5 Nomor 1 Edisi Juni 2022*. 5, 308–317.
- Kahandanie, F., Made, D., & Kartika, R. (2025). *Optimalisasi Produktivitas Alat Berat Galian Dan Timbunan Konstruksi Perumahan Balikpapan*. 4(2), 309–318.
- Kemacetan Persimpangan Jalan Adam Malik Medan dengan Jalan KLYOS Sudarso Medan Sepanjang, A. H., Richard Napitupulu, K., Aulia Lubis, Y., & Fadillah, M. (2023). Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi. *Jurnal Teknologi Dan Informasi*, 2(1).
- Kumara, I. N. I., Tapa, I. G. F. S., Indrashwara, D. C., Wedagama, D.A. T. A., & Srikandi, M. B. (2024). Application of the Least Cost Analysis Method to Determine the Optimal Cost and Duration for Delayed Projects. *Journal of Civil*

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

- Engineering and Planning*, 5(1), 120–130. <https://doi.org/10.37253/jcep.v5i1.9303>
- Lereng, A. K., Bidang, M., & Datar, L. (n.d.). *No Title*.
- Lestari, I. N., Lubis, Z., Lebak, K., Time, M., & Trade, C. (2023). *ANALISIS PERCEPATAN PROYEK MENGGUNAKAN METODE TIME COST TRADE OFF UNTUK PEKERJAAN*. 7(2), 150–156.
- Maharani, F. (n.d.). *Evaluasi Pengaruh Geometri Jalan Angkut Terhadap Produktivitas Dump Truck Mitsubishi Fuso 220 PS dari Front Penambangan Menuju Unit Crusher pada Penambangan Batu Andesit PT Koto Alam Sejahtera*. 3(4), 1492–1501.
- Malang, U. M., Adelia, S., Kurniawati, A., Dita, I. N., & Putra, P. (2024). *Analysis of Heavy Equipment Productivity in the Solo – Yogyakarta– NYIA Kulon Progo Toll Road Construction Project Section 1 Package 1 . 1. 3, 1–12*.
- Mandang, D. Y. F., & Lamia, K. A. C. (2023). *AIRMADIDI*. 13(1).
- Marcal, P. J., Sudjianto, A. T., Aditya, C., Sipil, J. T., Teknik, F., Malang, U. W., Ekspansif, T. L., & Marmer, L. I. (2022). *STABILISASI SWELLING TIGA DIMENSI (3D) TANAH LEMPUNG*. 2(1), 1–10.
- Marzuki, S., & Wair, F. Y. (2020). *Kinerja Operator dan Kehandalan Alat HMC Terhadap Produktivitas Bongkar Muat Curah Kering*. 23–36.
- Metode, M., Cost, T., & Off, T. (n.d.). *Analisis percepatan waktu proyek kontruksi menggunakan metode time cost trade off (tcto)*. 54–63.
- Michel, O. G., Ariyantho, D., & Wijaya, K. (2024). *Analisis Match factor Alat Gali Muat Angkut Pada Kegiatan Ore Getting Di Blok I PT . Billy Indonesia Site Parenggean*. 8(4).
- Mokoagow, F. Y., Studi, P., Teknik, S., Tarumanagara, U., Studi, P., Teknik, S., & Tarumanagara, U. (2023). *FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PRODUKTIVITAS EXCAVATORS*. 6(1), 123–132.
- Nasional, U. P., & Nasional, U. P. (2023a). *Analisis Waktu Produktivitas Kerja Alat Berat Pada Proyek Hotel EX . AP INN Kuta*. 2(2), 74–81.

- Nasional, U. P., & Nasional, U. P. (2023b). *PENERAPAN METODE LEAST COST ANALYSIS UNTUK OPTIMASI*. 2(1), 8–24.
- Octavia, D. M., & Mardhiyah, R. (2021). *Analisis Kombinasi Excavator dan Dump Truck pada Pekerjaan Galian Tanah (Studi Kasus :Proyek Pembangunan Kampus III UIN Imam Bonjol Padang)*.8(2),66–74. <https://doi.org/10.21063/JTS.2021.V802.04>
- Plie, P. T., & Jawa, K. (2022). *PELAKSANAAN PEKERJAAN CUT AND FILL PADA PROYEK PEMBANGUNAN KAWASAN*. 6(2), 18–28.
- Priyadinata, R., & Siregar, C. A. (2022). *PERBANDINGAN ANALISIS PERHITUNGAN CUT AND FILL MENGGUNAKAN DATA TOPOGRAFI YANG DILAKUKAN DENGAN PENGUKURAN MANUAL DAN DIGITAL*. 215–228.
- Produktivitas, A., Berat, A., Pembangunan, P., Tahap, P., Di, I. I., & Hila, D. (2023). *Journal aggregate vol. 2, no.2, september 2023*. 2(2), 186–195.
- Pt, D. I., Asam, B., & Tanjung, T. (2020). *PENGARUH DAYA DUKUNG TANAH TERHADAP OPERASIONAL ALAT BERAT BUCKET WHEEL EXCAVATOR PADA PEKERJAAN BATUBARA*. 5, 95–102.
- Putri, S., & Soebandono, B. (2024). *Produktivitas Alat Berat pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Embung IKN Nusantara*. 4(2), 55–60.
- Rahmawati, S. D., Dita, I. N., & Putra, P. (2022). *Kata Kunci : Biaya Langsung, Biaya Tidak Langsung, Least Cost, Manajemen Proyek*. 10(1), 1–12.
- Saragih, W. G. (2023). *Oleh : willy garcio saragih 2015113119*.
- Satriawansyah, T., & Juniansyah, D. (2023). *KINERJA WAKTU DAN BIAYA (STUDI KASUS : PROYEK JALAN LINGKAR SELATAN LUNYUK)*. 4(3), 9–14.
- Series, I. O. P. C., & Science, M. (2021). *Optimization of heavy equipment for earthwork in the construction of Mainroad Section X of Pandaan- Malang Toll Road Optimization of heavy equipment for earthwork in the construction of Mainroad Section X of Pandaan-Malang Toll Road*. 0–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1073/1/012020>
- Site, P., Lawai, M., Manalu, A., & Asmara, M. E. (2025). *Analisis Faktor – Faktor Produktivitas Kerja dan Kinerja Operator Alat Berat dalam Pencapaian Target Produksi PT . Andalan Artha*. 5(3), 30907–30917.

OPTIMALISASI WAKTU DAN BIAYA PEKERJAAN TANAH MEKANIS MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS PADA PERUMAHAN ISTANA TEGAL BESAR, JEMBER

- Sokop, R. M., Arsjad, T. T., Malingkas, G., Sipil, T., Sam, U., Manado, R., Manado, J. K. B., & Belakang, A. L. (2018). *Analisa Perhitungan Produktivitas Alat Berat Gali-Muat (Excavator) Dan Alat Angkut (Dump Truck) Pada Pekerjaan Pematangan Lahan Perumahan Residence Jordan Sea.* 16(70), 83–88.
- Studi, P., Sipil, T., Surakarta, U. M., & Tengah, J. (2025). *PEMADATAN TANAH PROYEK TAMAN WISATA RELIGI SALATIGA TERHADAP WAKTU TAHUN ANGGARAN 2024.*
- Syara, E., Ashad, H., & Bachmid, S. (2023). Analisis Metode Least Cost Analysis dan Metode Fast Tracking pada Pembangunan Kantor Kejaksaan Negeri Makassar. *Jurnal Flyover*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.52103/jfo.v3i1.1468>
- Syech, J., No, A., Darussalam, K., Aceh, B., Sipil, J. T., Kuala, U. S., Syech, J., No, A., Darussalam, K., & Aceh, B. (2023). *FAKTOR-FAKTOR DOMINAN YANG BERPENGARUH TERHADAP Program Studi Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala Journal of The Civil Engineering Student C . Metode Pengumpulan Data Data sekunder digunakan sebagai data Jenis dan Sumber Data.* 5(April), 127–134.
- Timbunan, D., & Bendungan, P. (2022). *Analisis Pemilihan Alat Berat Dalam Pekerjaan Galian.* 03(01), 55–64. Untuk memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana. (2024).
- Utari, R. P., Hadad, M. N., & Wahyudiono,S. (2022). *Analisis Percepatan Proyek dengan Metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus Pada Gedung Student Center UIN Datokrama Palu) Project Acceleration Analysis with Time Cost Trade Off Method (A Case Study on the Student Centre Building at UIN Datokrama Palu).* 20(1), 7–13.
- Wattimena, M., Witjaksana, B., & Teknik, F. (2023). *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri.* 534–547.
- Yang, T., Yang, S., & Peng, M. (2012). *Projects in the optimal allocation and management of construction equipment.* 120, 603–608. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.120.603>