



OPTIMASI ALAT BERAT PROYEK JALAN TOL KEDIRI-TULUNGAGUNG RUAS AKSES BANDARA DHOHO KEDIRI SEKSI 2

Ramadhan Azriel Dwiky Rabbani¹, Radhia Jatu Novinarsita Sakti², Moch.Khamim³

Politeknik Negeri Malang¹⁻³

ramadhanazriel62@gmail.com radhiasita@polinema.ac.id chamim@polinema.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan Jalan Tol Kediri-Tulungagung Ruas Akses Bandara Dhoho Kediri Seksi 2 mencakup pekerjaan tanah dan struktur dengan volume besar, sehingga pemilihan dan pengelolaan alat berat yang kurang tepat berpotensi menimbulkan pemborosan biaya dan keterlambatan pekerjaan. Permasalahan tersebut muncul akibat ketidaksesuaian jenis alat dengan kondisi pekerjaan, produktivitas alat yang belum optimum, serta tingginya biaya operasional. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi item pekerjaan yang menggunakan alat berat, menentukan jenis dan tipe alat, menghitung produktivitas dan biayanya, menyusun beberapa alternatif kombinasi, serta menentukan kombinasi alat berat paling optimum pada pekerjaan galian, timbunan, borepile, pilecap, kolom, dan perkerasan kaku. Metode penelitian meliputi penyusunan Work Breakdown Structure, perhitungan volume pekerjaan berdasarkan shop drawing, perhitungan produktivitas dan biaya alat berat mengacu pada Permen PUPR No. 8 Tahun 2023 dan HSPK Jawa Timur 2025, penyusunan alternatif kombinasi alat, serta optimasi program linier metode simpleks berbantuan LINDO (Linier Interactive Descrete Optimizer) 6.1, dengan mempertimbangkan kendala produktivitas, area kerja, ketergantungan antaralat, dan ketidaknegatifan variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume pekerjaan pada proyek ini terdiri atas pekerjaan galian sebesar 201.039,99 m³, timbunan sebesar 278.394,41 m³, bore pile sebesar 25.414,58 m³, pile cap sebesar 25.642,77 m³, kolom sebesar 2.775,99 m³, dan perkerasan kaku sebesar 27.706,3 m³. Produktivitas masing-masing alat berat bervariasi tergantung jenis dan kapasitasnya; sebagai contoh, Excavator SANY135C memiliki produktivitas sebesar 81,122 m³/jam dengan biaya sewa sebesar Rp457.063,82/jam. Hasil optimasi menunjukkan kombinasi alat berat paling optimum dengan biaya sebesar Rp4.096.108.081,11 untuk pekerjaan galian, Rp9.201.871.073,08 untuk timbunan, Rp9.812.600.753,87 untuk bore pile, Rp12.742.801.953,52 untuk pile cap, Rp3.749.948.451,30 untuk kolom, dan Rp7.349.791.111,53 untuk perkerasan kaku, sehingga total biaya alat berat optimum untuk keseluruhan proyek sebesar Rp46.953.121.424,41. Hasil ini membuktikan bahwa program linier metode simpleks mampu menghasilkan kombinasi alat berat yang efisien dari segi biaya tanpa mengabaikan target produktivitas dan durasi pekerjaan, sekaligus menjadi dasar pengambilan keputusan objektif dalam perencanaan proyek jalan tol berskala besar

Kata kunci : alat berat; optimasi; program linier; produktivitas; biaya

Article History

Received: Oktober 2026

Reviewed: Oktober 2026

Published: Oktober 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under
a [Creative Commons
Attribution-NonCommercial
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

**ABSTRACT**

The construction of the Kediri-Tulungagung Toll Road, Dhoho Kediri Airport Access Section 2, involves large-volume earthwork and structural work, so improper heavy equipment selection and management may cause cost overruns and schedule delays. Such problems arise from a mismatch between equipment type and field conditions, suboptimal productivity, and high operational costs. This study aims to identify the work items requiring heavy equipment, determine the type of equipment used, calculate its productivity and cost, formulate several alternative combinations, and determine the most optimum combination for excavation, embankment, borepile, pile cap, column, and rigid pavement. The method includes developing a Work Breakdown Structure, calculating work volume based on shop drawings, calculating equipment productivity and cost referring to Permen PUPR No. 8 of 2023 and the 2025 East Java unit price standard, formulating alternative equipment combinations, and performing simplex-method linear programming optimization using LINDO (Linier Interactive Descrete Optimizer) 6.1, taking into account productivity constraints, work area, equipment dependency, and non-negativity of variables. The results indicate that the work volume in this project consists of excavation of 201,039.99 m³, embankment of 278,394.41 m³, bore pile of 25,414.58 m³, pile cap of 25,642.77 m³, column of 2,775.99 m³, and rigid pavement of 27,706.3 m³. Equipment productivity varies depending on its type and capacity; for instance, the Excavator SANY135C has a productivity of 81.122 m³/hour with a rental cost of Rp457,063.82/hour. The optimization results show the optimum equipment combination yields a cost of Rp4,096,108,081.11 for excavation, Rp9,201,871,073.08 for embankment, Rp9,812,600,753.87 for bore pile, Rp12,742,801,953.52 for pile cap, Rp3,749,948,451.30 for column, and Rp7,349,791,111.53 for rigid pavement, totaling Rp46,953,121,424.41 for the entire project. These findings demonstrate that simplex-method linear programming can produce a cost-efficient equipment combination without compromising productivity targets and work duration, while also serving as an objective basis for decision-making in planning large-scale toll road projects.

Keywords : heavy equipment; optimization; linear programming; productivity; cost

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan tol merupakan bagian penting dari strategi pemerintah dalam memperkuat keterhubungan antarwilayah, mendorong pertumbuhan ekonomi daerah, serta menunjang pemerataan pembangunan secara nasional. Dalam pembangunan jalan khususnya Proyek Pembangunan Jalan Tol Kediri -

Tulungagung Ruas Akses Bandara Dhoho Kediri Seksi 2 ini memiliki akses yang sulit dan pekerjaan yang cukup besar sehingga diperlukan optimasi penggunaan alat berat dalam pelaksanaannya. Proyek ini dikerjakan oleh kontraktor LMA Highway Konsorsium. Pada proyek ini dibagi menjadi 3 zona. Pelaksanaan proyek jalan tol tersebut mencakup pekerjaan konstruksi



dengan skala dan volume yang besar, khususnya pada pekerjaan tanah dan struktur. Oleh karena itu diperlukan optimalisasi penggunaan alat berat untuk mencegah kerugian akibat pemilihan alat berat yang kurang dan pemilihan alat berat yang salah yang mengakibatkan pekerjaan tidak selesai tepat waktu.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, sering ditemui berbagai kendala terkait pemanfaatan alat berat, antara lain penggunaan produktivitas alat berat yang kurang optimum, ketidaksesuaian jenis alat dengan kondisi pekerjaan, tingginya biaya operasional, konsumsi bahan bakar yang tinggi, *downtime* yang tidak terduga. Permasalahan tersebut dapat menimbulkan pemborosan sumber daya serta berdampak pada peningkatan biaya dan keterlambatan penyelesaian proyek. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan alat berat yang kurang tepat dapat mengurangi efisiensi pelaksanaan proyek konstruksi. Penelitian mengenai optimasi alat berat pada Proyek Jalan Tol Kediri-Tulungagung Ruas Akses Bandara Dhoho Kediri Seksi 2 menjadi relevan untuk mencari solusi yang tepat dalam mengatasi permasalahan tersebut

2. METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis optimasi berbasis program linier untuk menentukan kombinasi alat berat yang paling efisien pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Akses Bandara Dhoho-Kediri Seksi 2 STA 0+000-3+400. Fokus penelitian diarahkan pada upaya meminimalkan biaya penggunaan alat berat tanpa mengabaikan target produktivitas dan durasi pekerjaan. Analisis dilakukan terhadap beberapa item pekerjaan utama, yaitu pekerjaan galian, timbunan, struktur, dan perkerasan kaku.

Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Proyek Jalan Tol Akses Bandara Dhoho-Kediri Seksi 2 yang berlokasi di Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Objek penelitian meliputi penggunaan berbagai jenis alat berat yang digunakan selama pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Jenis alat berat yang dianalisis antara lain excavator, dump truck, motor grader, vibratory roller, crawler crane, mobile crane, truck mixer, concrete pump, concrete batching plant, dan slipform paver sesuai karakteristik masing-masing pekerjaan.

Pengumpulan Data

Penelitian memanfaatkan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan untuk mengidentifikasi kondisi pekerjaan, produktivitas alat, dan karakteristik lokasi proyek. Data sekunder diperoleh dari dokumen proyek yang meliputi shop drawing, site plan, spesifikasi alat berat, volume pekerjaan, metode kerja, jadwal pelaksanaan, data biaya operasional, serta literatur pendukung yang relevan.

Analisis Data

Analisis diawali dengan penyusunan Work Breakdown Structure (WBS), perhitungan volume pekerjaan, dan identifikasi kebutuhan alat berat pada setiap item pekerjaan. Produktivitas masing-masing alat dihitung berdasarkan spesifikasi teknis dan kondisi pelaksanaan proyek, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan biaya operasional dan biaya sewa alat. Selanjutnya disusun beberapa alternatif kombinasi alat berat sebagai dasar penyusunan model optimasi.

Model Optimasi

Model optimasi dirumuskan dalam bentuk program linier yang terdiri atas variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala. Fungsi tujuan ditetapkan untuk meminimalkan total biaya



penggunaan alat berat, sedangkan fungsi kendala meliputi volume pekerjaan, produktivitas alat, durasi pelaksanaan, ketergantungan antaralat, kapasitas area kerja, serta batasan ketidaknegatifan variabel. Penyelesaian model dilakukan menggunakan perangkat lunak **LINDO 6.1** untuk memperoleh kombinasi alat berat yang memberikan biaya minimum dengan tetap memenuhi seluruh persyaratan teknis proyek.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Formulasi Model Optimasi

Optimasi kombinasi alat berat dilakukan dengan pendekatan Linear Programming berbantuan LINDO 6.1 pada enam kelompok pekerjaan, yaitu galian, timbunan, borepile, pilecap, kolom, dan perkerasan kaku. Meskipun jenis alat berbeda pada tiap pekerjaan, seluruh model dibangun atas komponen matematis yang sama, yaitu variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala.

Variabel keputusan merepresentasikan jumlah unit setiap alat berat pada masing-masing pekerjaan, disesuaikan dengan kebutuhan operasionalnya; pekerjaan galian misalnya hanya melibatkan excavator dan dump truck, sedangkan borepile melibatkan bore pile machine, crawler crane, mobile crane, concrete batching plant, truck mixer, dan concrete pump.

sebagai variabel keputusan. Secara umum, fungsi tujuan dapat dinyatakan sebagai:

$$\left[\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n C_i X_i \right]$$

dengan (C_i) merupakan biaya operasional alat berat ke-(i), sedangkan (X_i) merupakan jumlah unit alat berat yang digunakan. Formulasi tersebut memungkinkan model memilih kombinasi alat yang menghasilkan biaya minimum

tanpa mengurangi kemampuan alat dalam menyelesaikan target pekerjaan.

Model dilengkapi empat kelompok fungsi kendala. Kendala volume pekerjaan mensyaratkan kapasitas produksi alat memenuhi target produktivitas minimum per jam, yaitu volume total dibagi durasi pelaksanaan. Kendala luas area kerja membatasi jumlah alat agar tidak melebihi kapasitas ruang kerja sehingga mobilisasi tetap aman. Kendala ketergantungan alat (*equipment dependency*) menyinkronkan produktivitas antaralat yang bekerja berurutan dalam satu siklus, misalnya excavator-dump truck pada galian atau batching plant-truck mixer-concrete pump pada pengecoran, guna menghindari bottleneck dan idle time. Kendala ketidaknegatifan mensyaratkan seluruh variabel keputusan bernilai nol atau positif. Hasil optimasi selanjutnya dibulatkan ke bilangan bulat terdekat karena jumlah alat di lapangan harus berupa satuan unit.

Integrasi fungsi tujuan dan berbagai kendala teknis tersebut menghasilkan solusi yang tidak hanya memberikan biaya operasional minimum, tetapi juga memenuhi target produktivitas, keterbatasan ruang kerja, dan keterkaitan antaralat, sehingga hasil optimasi lebih realistis untuk diimplementasikan sebagai dasar perencanaan alat berat pada proyek jalan tol.

Pembahasan Optimasi Pekerjaan Galian dan Timbunan

Optimasi Pekerjaan Galian

Pekerjaan galian menjadi tahapan awal yang menentukan kelancaran konstruksi karena menyiapkan elevasi dasar sesuai desain. Kombinasi alat yang dianalisis terdiri atas Excavator SANY 135C (produktivitas 81,122 m³/jam) dan Dump Truck Mitsubishi FE SHD X (33,292 m³/jam). Dengan volume 201.040 m³ dan durasi 1.008 jam, kebutuhan



produktivitas minimum sebesar 199,444 m³/jam. Model turut mempertimbangkan keterbatasan lebar area kerja 55 m serta kendala ketergantungan produktivitas antara excavator dan dump truck agar tidak terjadi idle time.

Hasil optimasi LINDO menunjukkan kombinasi optimum 3 unit Excavator SANY 135C dan 6 unit Dump Truck Mitsubishi FE SHD X dengan Zmin Rp4.027.908,24/jam. Jumlah dump truck dua kali jumlah excavator diperlukan agar siklus penggalian-pengangkutan berlangsung kontinu. Keseimbangan produktivitas kedua alat menjadi faktor utama efisiensi biaya: kekurangan dump truck menimbulkan idle time pada excavator, sedangkan kelebihan dump truck meningkatkan biaya tanpa menambah produktivitas secara signifikan

Tabel 1. Hasil Optimasi Pekerjaan Galian

Keterangan	Hasil
Volume pekerjaan	201.040 m ³
Durasi	1.008 jam
Produktivitas minimum	199,444 m ³ /jam
Excavator SANY 135C	3 unit
Dump Truck Mitsubishi FE SHD X	6 unit
Biaya minimum (Zmin)	Rp4.027.908,24/jam

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian.

Secara keseluruhan, hasil optimasi menunjukkan bahwa keseimbangan produktivitas antara excavator dan dump truck merupakan faktor utama dalam mencapai efisiensi biaya pekerjaan galian. Apabila jumlah dump truck terlalu sedikit, excavator akan mengalami waktu tunggu sehingga produktivitas menurun. Sebaliknya, jumlah dump truck yang berlebihan akan meningkatkan biaya operasional tanpa memberikan peningkatan produktivitas yang signifikan. Oleh karena

itu, kombinasi hasil optimasi mampu menghasilkan keseimbangan antara kapasitas produksi dan biaya operasional sehingga lebih ekonomis untuk diterapkan pada proyek jalan tol.

Optimasi Pekerjaan Timbunan

Pekerjaan timbunan membentuk elevasi badan jalan dan melibatkan lebih banyak alat yang bekerja berurutan: pengangkutan, penyebaran, pembentukan permukaan, dan pemadatan. Kombinasi terbaik terdiri atas Excavator Caterpillar 320D2, Dump Truck Hino Dutro 130HD, Motor Grader Komatsu GD510R-1, Vibratory Roller SAKAI SV526D, dan Water Tank Truck Mitsubishi 125D. Dengan volume 278.394,41 m³ dan durasi 1.008 jam, kebutuhan produktivitas minimum 276,185 m³/jam. Kendala ketergantungan antaralat menjadi krusial karena alur kerja berurutan: excavator memasok dump truck, motor grader meratakan, vibratory roller memadatkan, dan water tank truck menyiram.

Hasil optimasi menunjukkan kombinasi 3 unit excavator, 9 unit dump truck, 3 unit motor grader, 2 unit vibratory roller, dan 4 unit water tank truck dengan Zmin Rp9.049.570,51/jam. Dominasi jumlah dump truck mengindikasikan bahwa transportasi material menjadi aktivitas paling menentukan agar alat penyebar dan pemadat tidak mengalami waktu tunggu.

Tabel 2. Hasil Optimasi Pekerjaan Timbunan

Keterangan	Hasil
Volume pekerjaan	278.394,41 m ³
Durasi	1.008 jam
Produktivitas minimum	276,185 m ³ /jam
Excavator Caterpillar 320D2	3 unit



Dump Truck Hino Dutro 130HD	9 unit
Motor Grader Komatsu GD510R-1	3 unit
Vibratory Roller SAKAI SV526D	2 unit
Water Tank Truck Mitsubishi 125D	4 unit
Biaya minimum (Zmin)	Rp9.049.570,51/jam

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian.

Hasil optimasi menunjukkan bahwa pekerjaan timbunan memerlukan koordinasi yang lebih kompleks dibandingkan pekerjaan galian karena melibatkan lima jenis alat berat yang saling bergantung. Kombinasi alat yang dihasilkan mampu menjaga keseimbangan produktivitas mulai dari proses pengangkutan hingga pemadatan material sehingga seluruh tahapan pekerjaan berlangsung secara berkesinambungan.

Pembahasan Optimasi Pekerjaan Borepile, Pilecap, dan Kolom

Optimasi Pekerjaan Borepile

Pekerjaan borepile memiliki kompleksitas tinggi karena mencakup pengeboran, pengangkatan material bor, pemasangan tulangan/casing, dan pengecoran, sehingga model optimasi melibatkan delapan jenis alat: Bore Pile Machine SANY SR235-S, Excavator Komatsu PC200-MO, Dump Truck Hino Ranger FG245JK, Crawler Crane SANY SCC550A, Mobile Crane Tadano TM-ZX1500, Concrete Batching Plant BENNET 600, Truck Mixer Hino Ranger FM280 JM, dan Concrete Pump Putzmeister BSA-100D. Pekerjaan dibagi tiga kelompok aktivitas pengeboran; pembesian dan casing; pengecoran masing-masing dengan fungsi kendala volume, produktivitas, area kerja, ketergantungan antaralat, dan ketidaknegatifan.

Hasil optimasi menunjukkan kombinasi 1 unit masing-masing bore pile machine, excavator, dump truck, crawler crane, mobile crane, dan concrete batching plant, 2 unit truck mixer, serta 1 unit concrete pump, dengan Zmin Rp7.294.561,85/jam. Kebutuhan dua unit truck mixer menunjukkan bahwa distribusi beton memerlukan kapasitas angkut lebih besar agar suplai beton tetap kontinu selama pengecoran.

Tabel 3. Hasil Optimasi Pekerjaan Borepile

Keterangan	Hasil Optimasi
Bore Pile Machine SANY SR235-S	1 unit
Excavator Komatsu PC200-MO	1 unit
Dump Truck Hino Ranger FG245JK	1 unit
Crawler Crane SANY SCC550A	1 unit
Mobile Crane Tadano TM-ZX1500	1 unit
Concrete Batching Plant BENNET 600	1 unit
Truck Mixer Hino Ranger FM280 JM	2 unit
Concrete Pump Putzmeister BSA-100D	1 unit
Biaya minimum (Zmin)	Rp7.294.561,85/jam

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian.

Hasil ini menunjukkan bahwa efisiensi pekerjaan borepile ditentukan oleh keseimbangan produktivitas antaralat pada setiap tahapan, bukan sekadar jumlahnya. Sinkronisasi alat pengeboran, alat angkut, alat pengangkatan, dan alat pengecoran mengurangi waktu tunggu sehingga konstruksi berlangsung lebih efektif, menjadikan pendekatan optimasi lebih rasional dibandingkan penentuan jumlah



alat berdasarkan pengalaman lapangan semata.

Optimasi Pekerjaan Pilecap

Pilecap menghubungkan borepile dengan kolom dan berperan mendistribusikan beban struktur ke pondasi, dengan aktivitas penggalian, pengangkatan, pemasangan bekisting-tulangan, dan pengecoran. Kombinasi optimum terdiri atas Excavator Komatsu PC160 LC, Dump Truck Hino Ranger FG260 JJ, Mobile Crane TC100C4, Crawler Crane XCMG XGC25T, Concrete Batching Plant BENNET 600, Truck Mixer Zoomlion K6JB-R, dan Concrete Pump SANY SYG5180THB 300C-8.

Hasil optimasi menunjukkan hampir seluruh alat cukup 1 unit, kecuali truck mixer 2 unit, dengan Zmin Rp5.527.271,68/jam (Tabel 4), mengindikasikan distribusi beton sebagai faktor penentu kelancaran pekerjaan pilecap.

Tabel 4. Hasil Optimasi Pekerjaan Pilecap

Keterangan	Hasil Optimasi
Excavator Komatsu PC160 LC	1 unit
Dump Truck Hino Ranger FG260 JJ	1 unit
Mobile Crane TC100C4	1 unit
Crawler Crane XCMG XGC25T	1 unit
Concrete Batching Plant BENNET 600	1 unit
Truck Mixer Zoomlion K6JB-R	2 unit
Concrete Pump SANY SYG5180THB	1 unit
Biaya minimum (Zmin)	Rp5.527.271,68/jam

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian.

Optimasi Pekerjaan Kolom

Kolom merupakan elemen vertikal struktur dengan volume pekerjaan relatif kecil sehingga kebutuhan alat lebih

sederhana, meliputi Crawler Crane SANY SCC350Z, Mobile Crane XCMG XCT20L, Concrete Batching Plant BENNET 600, Truck Mixer SANY SY206C-8Y, dan Concrete Pump SANY HBT60C. Hasil optimasi menunjukkan seluruh alat cukup 1 unit dengan Zmin Rp3.246.483,03/jam, biaya terendah di antara pekerjaan struktur karena kapasitas satu unit tiap alat telah memenuhi kebutuhan produktivitas proyek.

Tabel 5. Hasil Optimasi Pekerjaan Kolom

Keterangan	Hasil Optimasi
Crawler Crane SANY SCC350Z	1 unit
Mobile Crane XCMG XCT20L	1 unit
Concrete Batching Plant BENNET 600	1 unit
Truck Mixer SANY SY206C-8Y	1 unit
Concrete Pump SANY HBT60C	1 unit
Biaya minimum (Zmin)	Rp3.246.483,03/jam

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian.

Secara keseluruhan, hasil optimasi pada pekerjaan struktur menunjukkan bahwa kompleksitas pekerjaan sangat memengaruhi jumlah dan komposisi alat berat yang dibutuhkan. Pekerjaan borepile membutuhkan kombinasi alat paling banyak karena terdiri atas beberapa tahapan yang berbeda, sedangkan pekerjaan pilecap dan kolom memerlukan jumlah alat yang lebih sedikit dengan pola kerja yang lebih sederhana. Meskipun demikian, seluruh hasil optimasi menunjukkan bahwa penerapan metode *Linear Programming* mampu menghasilkan kombinasi alat berat yang memenuhi seluruh kendala teknis sekaligus meminimalkan biaya operasional. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan optimasi berbasis matematis dapat menjadi dasar pengambilan keputusan yang lebih objektif dalam perencanaan penggunaan alat berat pada proyek konstruksi jalan tol.



Pembahasan Optimasi Perkerasan Kaku dan Implikasi Hasil

Optimasi Pekerjaan Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku (rigid pavement) merupakan tahap akhir pembentukan badan jalan yang menuntut kontinuitas pengecoran tinggi guna menghindari sambungan yang menurunkan mutu konstruksi. Model melibatkan enam alat: Excavator Hitachi ZX200 dan Dump Truck ISUZU NKR 7 (penyediaan material), Concrete Batching Plant BENNET 600 (produksi beton), Concrete Pump Truemax SP100 (distribusi beton), Slipform Paver Wirtgen SP500 (penghamparan), serta Water Tank Truck Isuzu TLD-56 (curing). Dengan volume 27.706,30 m³ dan durasi 1.344 jam, kebutuhan produktivitas minimum sebesar 20,615 m³/jam.

Hasil optimasi menunjukkan kombinasi 1 unit masing-masing excavator, dump truck, slipform paver, concrete pump, dan water tank truck, serta 2 unit concrete batching plant, dengan Zmin Rp5.462.666,01/jam. Kebutuhan dua unit batching plant mengindikasikan kapasitas produksi beton sebagai faktor pembatas utama agar suplai beton mengikuti kapasitas kerja slipform paver tanpa keterlambatan pengecoran.

Tabel 6. Hasil Optimasi Pekerjaan Perkerasan Kaku

Komponen	Hasil Optimasi
Excavator Hitachi ZX200	1 unit
Dump Truck ISUZU NKR 7	1 unit
Concrete Batching Plant BENNET 600	2 unit
Slipform Paver Wirtgen SP500	1 unit
Concrete Pump Truemax SP100	1 unit

Water Tank Truck Isuzu TLD-56	1 unit
Biaya minimum (Zmin)	Rp5.462.666,01/jam

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian.

Total Biaya Alternatif Kombinasi yang Paling Optimum

Hasil optimasi pada seluruh kelompok pekerjaan menunjukkan bahwa penerapan metode *Linear Programming* mampu menghasilkan keputusan yang lebih objektif dalam menentukan jumlah dan kombinasi alat berat dibandingkan pendekatan konvensional yang hanya mengandalkan pengalaman lapangan. Melalui formulasi matematis yang mempertimbangkan biaya operasional, produktivitas alat, keterbatasan area kerja, hubungan ketergantungan antaralat, dan target volume pekerjaan, kombinasi alat berat yang diperoleh mampu memenuhi seluruh persyaratan teknis proyek sekaligus menghasilkan biaya minimum. Dengan demikian, penggunaan metode optimasi memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih terukur dan dapat dipertanggungjawabkan.

Perbedaan hasil optimasi pada setiap jenis pekerjaan menunjukkan bahwa karakteristik pekerjaan sangat memengaruhi kebutuhan alat berat. Pekerjaan tanah, seperti galian dan timbunan, memerlukan jumlah dump truck yang relatif lebih banyak karena proses pengangkutan material menjadi aktivitas utama. Sebaliknya, pada pekerjaan struktur dan perkerasan kaku, kebutuhan alat



Tabel 7. Ringkasan Hasil Optimasi Setiap Kelompok Pekerja

Pekerjaan	Kombinasi Terpilih	Biaya Minimum (Rp/jam)
Galian	3 Excavator + 6 Dump Truck	4.027.908,24
Timbunan	3 Excavator + 9 Dump Truck + 3 Motor Grader + 2 Vibratory Roller + 4 Water Tank Truck	9.049.570,51
Borepile	8 jenis alat (1–2 unit sesuai hasil optimasi)	7.294.561,85
Pilecap	7 jenis alat (1–2 unit sesuai hasil optimasi)	5.527.271,68
Kolom	5 jenis alat (masing-masing 1 unit)	3.246.483,03
Perkerasan Kaku	6 jenis alat (Concrete Batching Plant 2 unit)	5.462.666,01

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian.

Apabila dibandingkan antar pekerjaan, pekerjaan timbunan menghasilkan biaya operasional per jam terbesar karena melibatkan jumlah alat berat yang lebih banyak dengan aktivitas yang berlangsung secara simultan. Sebaliknya, pekerjaan kolom memiliki biaya operasional paling rendah karena volume pekerjaan relatif kecil sehingga seluruh kebutuhan produktivitas dapat dipenuhi hanya dengan satu unit pada masing-masing alat. Sementara itu, pekerjaan borepile dan perkerasan kaku menunjukkan bahwa peningkatan jumlah alat tertentu, seperti truck mixer maupun concrete batching plant, diperlukan untuk menjaga kontinuitas proses kerja yang tidak boleh mengalami keterlambatan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penambahan jumlah alat tidak selalu meningkatkan biaya secara tidak efisien, tetapi justru diperlukan untuk menjaga keseimbangan produktivitas antaralat sesuai karakteristik pekerjaan.

Secara keseluruhan, metode Linear Programming berbantuan LINDO 6.1 terbukti memberikan solusi optimum bagi penentuan kombinasi alat berat pada Proyek Jalan Tol Akses Bandara Dhoho-Kediri Seksi 2, memenuhi aspek ekonomis (minimisasi biaya) sekaligus kelayakan teknis

(produktivitas, kapasitas area kerja, dan ketergantungan antaralat), sehingga berpotensi menjadi acuan perencanaan alat berat pada proyek jalan tol sejenis yang berkompleksitas tinggi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji optimasi penggunaan alat berat pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Kediri-Tulungagung Ruas Akses Bandara Dhoho Kediri Seksi 2 dengan menerapkan Program Linear Metode Simpleks. Volume pekerjaan yang dianalisis meliputi galian (201.039,99 m³), timbunan (278.394,41 m³), borepile (25.414,58 m³), pilecap (25.642,77 m³), kolom (2.775,99 m³), dan perkerasan kaku (27.706,3 m³). Hasil optimasi menunjukkan kombinasi alat berat termurah untuk pekerjaan galian adalah 3 unit excavator dan 6 unit dump truck dengan biaya Rp4.096.108.081,11; pekerjaan timbunan menggunakan 3 unit excavator, 9 unit dump truck, 3 unit motor grader, 2 unit vibratory roller, dan 4 unit water tank truck dengan biaya Rp9.201.871.073,08; pekerjaan borepile membutuhkan 1 unit bore pile machine, excavator, dump truck, crawler crane, mobile crane, dan concrete batching plant, 2 unit truck mixer, serta 1 unit concrete pump dengan biaya Rp9.812.600.753,87; pekerjaan pilecap sebesar Rp12.742.801.953,52; pekerjaan kolom sebesar Rp3.749.948.451,30; serta pekerjaan perkerasan kaku sebesar Rp7.349.791.111,53. Dengan demikian, total biaya operasional dan mobilisasi alat berat paling optimum untuk keseluruhan proyek adalah sebesar Rp46.953.121.424,41. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan Metode Simpleks efektif dalam menentukan kombinasi alat berat yang optimal dan efisien secara biaya pada proyek konstruksi jalan tol berskala besar.



DAFTAR PUSTAKA

- Arista, D. and Prasetyono, P.N. (2024) "Produktivitas Alat Berat Excavator Komatsu Pc78 Untuk Pekerjaan Galian Pada Pembangunan Gedung Rumah Sakit Siti Khodijah Muhammadiyah Tahap 3 Cabang Sepanjang," *Jurnal Vokasi Teknik Sipil*, 2(2), pp. 13-18.
- Fathurohman, W.A. *et al.* (2015) "Kebutuhan Material Untuk Pile Cap Pada Lantai," *Prosiding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Teknik Sipil)*, 6, pp. 1-8.
- Hairuduin (2024) "Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan Volume 4 , Nomor 2 Tahun 2024 Keywords: heavy equipment," 4.
- Jawat, W., Rahadiani, A.S.D. and Armaeni, N.K. (2018) "Produktivitas Truck Concrete Pump Dan Truck Mixer Pada Pekerjaan Pengecoran Beton Ready Mix," *Paduraksa*, 7(2), pp. 164-183.
- Limbongan, S., Dapas, S.O. and Wallah, S.E. (2016) "Gedung Bertingkat," *Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih Pada Gedung Bertingkat*, 4(8), pp. 499-508.
- Lydia, D. (2023) "Analisis Borepile Menggunakan Metode," 9(1), pp. 27-38.
- Mauludia (2021) "Optimasi Penggunaan Alat Berat Pada Proyek Dermaga Pt. Berlian Manyar Sejahtera, Gresik.," *Jurnal JOS-MRK*, 2(4), pp. 134-140. Available at: <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2021.02.04.134-140>.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (2023) "Regulation of the Minister of Public Works and Public Housing of the Republic of Indonesia. Guidelines for Preparing Cost Estimation of Construction Works in the Field of Public Works and Public Housing," (683).
- Pradipta (2020) "Optimasi Alat Berat Pekerjaan Mainroad Dan Interchange X Tol Pandaan-Malang," *Jurnal JOS-MRK*, 1(September), pp. 84-90. Available at: <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2020.01.02.84-90>.
- Prima (2022) "Produktivitas Alat Berat pada Pekerjaan Proyek Jalan Tol," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 3(2), pp. 74-81.
- Ryanto (2020) "Perhitungan Volume Galian dan Timbunan Dengan Metode Cut & Fill Pada Pembangunan Jalan Dan Area Parkir Rusun 2 Kawasan Industrial Panbil Muka Kuning," *Engineering and science*, 6(1), pp. 702-709.
- Sarmada (2022) "Analisis Pemilihan Alat Berat Pada Pekerjaan Galian dan Timbunan," *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), pp. 1-13. Available at: <https://doi.org/10.56444/jts.v15i1.32>.
- Sidabutar, R.A. and Saragi, Y.R. (2021) "EVALUASI PERKERASAN JALAN KAKU (RIGID PAVEMENT) PADA JALAN SM RAJA MEDAN DENGAN METODE BINA MARGA Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen , Medan Abstrak Jenis perkerasan kaku atau juga disebut Rigid Pavement merupakan alternatif perkerasan di Indone," 2(2), pp. 215-224.
- Subhan, M.F. (2023) "Optimasi Alat Berat Pada Pekerjaan Tanah Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono Ruas Ngawi-Kertosono," *Maret*, 4(1), pp. 292-297.