

PERBANDINGAN SIMPLEKS DAN MATCH FACTOR UNTUK OPTIMALISASI PENGANGKUTAN BATU BARA (STUDI KASUS: ALAT BERAT PT PETROSEA TAMIYANG LAYANG)

Riska Widiastuti

Program Studi Matematika , Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda,
Indonesia, E-mail: riskawidiastuti174@gmail.com

Wasono

Program Studi Matematika , Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda,
Indonesia, E-mail: wasono@fmipa.unmul.ac.id*

Andri Azmul Fauzi

Program Studi Matematika , Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda,
Indonesia, E-mail: andriazmul161022@fmipa.unmul.ac.id

Abstrak

Optimalisasi penggunaan alat berat pada kegiatan pengangkutan batu bara sangat penting dilakukan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan menekan biaya produksi perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan alat berat pada kegiatan pengangkutan batu bara di PT Petrosea Tamiyang Layang dengan membandingkan dua metode, yaitu *linear programming* dengan metode simpleks dan metode *match factor*. Permasalahan yang dihadapi perusahaan adalah tingginya biaya operasional serta ketidakseimbangan antara jumlah alat gali muat (*excavator*) dan alat angkut (*dump truck*) yang menyebabkan penggunaan alat berat menjadi tidak optimal. Metode *linear programming* dengan simpleks digunakan untuk menentukan jumlah alat berat yang optimal dengan tujuan meminimalkan biaya operasional berdasarkan fungsi tujuan dan kendala yang ada. Sementara itu, metode *match factor* digunakan untuk menganalisis tingkat keserasian kerja antara *excavator* dan *dump truck* berdasarkan waktu siklus dan kapasitas alat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *linear programming* dengan simpleks mampu memberikan solusi optimal dalam menentukan jumlah alat berat yaitu sebanyak 3 unit *excavator* dan 11 unit *dump truck* dengan biaya operasional minimum yaitu Rp592.200.000 per hari, sedangkan metode *match factor* memberikan solusi optimal dalam menentukan jumlah alat berat yaitu sebanyak 3 unit *excavator* dan 12 unit *dump truck* dengan biaya operasional yaitu Rp620.400.000 per hari. Berdasarkan hasil perbandingan, metode *linear programming* dengan simpleks dinilai lebih efektif dan dipilih sebagai metode yang paling optimal dalam penelitian ini.

Kata Kunci: alat berat, batu bara, *linear programming*, metode simpleks, *match factor*, optimasi.

Abstract

The optimization of heavy equipment usage in coal transportation activities is very important to improve operational efficiency and reduce the company's production costs. This study aims to optimize the use of heavy equipment in coal transportation activities at PT Petrosea Tamiyang Layang by comparing two methods, namely *linear programming* with the simplex method and the *match factor* method. The problems faced by the company are high operational costs and an imbalance between the number of loading equipment (*excavators*) and hauling equipment (*dump trucks*), which causes the use of heavy equipment to become less optimal. *Linear programming* with the simplex method is used to determine the optimal number of heavy equipment with the objective of minimizing operational costs based on the objective function and existing constraints. Meanwhile, the *match factor* method is used to analyze the level of work compatibility between *excavators* and *dump trucks* based on cycle time and equipment capacity. The results showed that *linear programming* with the simplex method was able to provide an optimal solution in determining the number of heavy equipment, namely 3 units of *excavators* and 11 units of *dump trucks* with a minimum operational cost of IDR 592,200,000 per day, while the *match factor* method provided an optimal solution in determining the number of heavy equipment, namely 3 units of *excavators* and 12 units of *dump trucks* with an operational cost of IDR 620,400,000 per day. Based on the comparison results, *linear programming* with the simplex method was considered more effective and was selected as the most optimal method in this study.

Keywords: heavy equipment, *linear programming*, *match factor*, operational cost, simplex method.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai sumber daya batu bara cukup banyak. Seiring dengan semakin berkurangnya sumber daya energi minyak dan gas bumi, maka batu bara merupakan salah satu sumber energi alternatif yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia (Millayanti dkk., 2020). Batu bara digunakan sebagai bahan bakar utama pada sebagian besar pembangkit listrik di Indonesia dan menyumbang sekitar 60% kapasitas total pembangkit listrik nasional (Pahlevi et al., 2024).

Salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang jasa pertambangan batu bara adalah PT Petrosea Tamiyang Layang, Kalimantan Tengah. Dalam kegiatan operasionalnya, perusahaan menghadapi kendala berupa tingginya biaya operasional serta ketidakseimbangan antara alat gali muat (*excavator*) dan alat angkut (*dump truck*). Ketidakseimbangan tersebut menyebabkan penggunaan alat berat menjadi kurang optimal dan berdampak pada efisiensi kerja Perusahaan (Nitiasya & Harahap, 2021).

Salah satu pendekatan matematis yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tingginya biaya operasional serta ketidakseimbangan antara alat gali muat (*excavator*) dan alat angkut (*dump truck*) adalah *linear programming* dengan metode simpleks. Metode ini digunakan untuk menentukan solusi optimal berdasarkan fungsi tujuan dan kendala tertentu, seperti meminimalkan biaya operasional (Ayu Azizah et al., 2023). Selain itu, penelitian ini juga menggunakan metode *match factor* sebagai metode pembanding. Berbeda dengan metode simpleks yang berfokus pada optimasi biaya, *match factor* digunakan untuk menganalisis tingkat keserasian kerja antara *excavator* dan *dump truck* berdasarkan waktu siklus kerja alat (Ghony et al., 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan metode simpleks maupun *match factor* dalam optimasi alat berat. (Imanda & Sutandi, 2025) menggunakan metode simpleks untuk optimasi penggunaan *excavator* dan *dump truck* dan memperoleh peningkatan jumlah alat berat optimal. Sementara itu, (Michel et al., 2024) serta (Zuhri & Cahyono, 2020) menunjukkan bahwa metode *match factor* mampu menghasilkan keseimbangan penggunaan alat angkut dan alat gali muat. Namun,

penelitian-penelitian tersebut umumnya masih menggunakan kedua metode secara terpisah dan belum membandingkannya secara langsung dalam satu studi kasus.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode *linear programming* dengan simpleks dan metode *match factor* dalam optimalisasi penggunaan alat berat pada kegiatan pengangkutan batu bara di PT Petrosea Tamiyang Layang. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh metode yang lebih efektif dan efisien dalam menentukan jumlah alat berat optimal sehingga dapat meminimalkan biaya operasional perusahaan.

KAJIAN TEORI

RISET OPERASI

Istilah riset operasi muncul pada masa Perang Dunia II ketika Amerika Serikat dan Inggris menggunakan pendekatan ilmiah untuk mengatasi keterbatasan sumber daya dalam strategi perang. Keberhasilan penerapannya kemudian mendorong perkembangan riset operasi di berbagai bidang industri sejak tahun 1950-an, terutama didukung oleh kemajuan teknik analitis dan teknologi computer (Harahap et al., 2024). Istilah riset operasi umumnya dikaitkan dengan pemanfaatan berbagai Teknik matematis untuk membangun serta menganalisis model dalam pengambilan keputusan. Namun demikian, meskipun matematika dan pemodelan menjadi bagian inti dari riset operasi, proses penyelesaian masalah tidak hanya terbatas pada merumuskan dan menyelesaikan model matematis semata. Dalam praktiknya, persoalan pengambilan keputusan hampir selalu melibatkan unsur-unsur manusia yang memengaruhi berbagai aspek dalam lingkungan keputusan tersebut (Ghoffar & Nudin, 2022).

LINEAR PROGRAMMING

Linear programming merupakan salah satu cabang matematika terapan yang memiliki manfaat luas dalam berbagai bidang. *Linear programming* digunakan sebagai metode untuk menentukan nilai optimum dari suatu permasalahan yang memiliki hubungan linear. Secara terminologi, program linier berasal dari istilah *linear programming*, di mana *programming* mengacu pada pengalokasian sumber

daya yang terbatas untuk mencapai tujuan tertentu, sedangkan *linear* menunjukkan bahwa hubungan antar variabel dinyatakan dalam bentuk *linear*. Dengan demikian, *linear programming* dapat diartikan sebagai metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimisasi dengan hubungan antar variabel yang bersifat *linear* (Pardede et al., 2020).

BENTUK UMUM LINEAR PROGRAMMING

Bentuk umum *linear programming* dapat ditulis sebagai berikut:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + x_j$$

Terhadap kendala-kendala:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j \leq b_2$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j \leq b_i$$

Kendala non-negatif:

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

Keterangan:

Z : fungsi tujuan

$x_1, x_2, \dots, x_j$: variabel keputusan ke- j

$c_1, c_2, \dots, c_j$: koefisien fungsi tujuan ke- j

a_{ij} : koefisien teknis dari variabel ke- j pada kendala ke- i

b_i : konstanta pada kendala ke- i

i : indeks kendala ($i = 1, 2, \dots, m$)

j : indeks variabel ($j = 1, 2, \dots, n$)

(Aini et al., 2021).

METODE SIMPLEKS

Metode simpleks merupakan salah satu teknik pengambilan keputusan dalam penyelesaian masalah *linear programming* yang menggunakan proses *iterative* (berulang) untuk mencari nilai optimal dari suatu fungsi tujuan. Metode ini memiliki kelebihan karena mampu menghitung dan menganalisis dua atau lebih variabel keputusan secara simultan sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang kompleks dengan tingkat akurasi yang tinggi (Susanti, 2021).

METODE DUAL SIMPLEKS

Metode dual simpleks adalah bentuk lain dari metode simpleks yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi ketika solusi awal pada masalah utama (primal) belum memenuhi

syarat (*feasible*), tetapi solusi pada masalah pasangan (dual) masih bisa dipertahankan. Istilah *feasible* berarti memenuhi semua batasan atau aturan yang ditetapkan dalam masalah. Dalam dual simpleks, perhitungan difokuskan agar solusi pada sisi dual tetap memenuhi aturan, sambil secara bertahap memperbaiki solusi primal sampai akhirnya juga memenuhi semua syarat. Metode ini sangat berguna ketika terjadi perubahan data atau penambahan batasan baru yang membuat solusi awal tidak lagi valid pada sisi primal, tetap masih bisa dipertahankan pada sisi dual. Metode dual simpleks juga dapat menyelesaikan masalah lebih cepat ketika terjadi perubahan data atau parameter dalam model. Pada masalah primal dengan tujuan memaksimalkan hasil, tabel simpleks dianggap belum mencapai solusi terbaik jika masih terdapat nilai $Z_j - c_j < 0$. Sebaliknya, tabel simpleks dinyatakan sudah optimum apabila seluruh nilai $Z_j - c_j \geq 0$ untuk semua j (Saputera & Setyowati, 2024).

METODE MATCH FACTOR

Match factor adalah metode yang melakukan keserasian antara kapasitas alat muat dengan kapasitas alat angkut dalam suatu siklus kerja tambang. Nilai *match factor* yang ideal dapat meningkatkan efisiensi kerja, dan mengurangi waktu tunggu, serta mengoptimalkan produktivitas alat berat (Nuryanneti & Kurniawan, 2025). Perhitungan nilai *match factor* suatu *fleet* (kendaraan) sangat menentukan *delay wait on trucks* itu sendiri. Semakin kecil angka *match factor* suatu *fleet* (kendaraan) maka semakin besar *delay wait on trucks* yang akan terjadi. Nilai $MF > 1$, artinya alat muat bekerja 100%, sedangkan alat angkut bekerja kurang dari 100%. Nilai $MF < 1$, artinya alat muat bekerja kurang dari 100%, sedangkan alat angkut bekerja 100%. $MF = 1$, artinya alat gali muat dan alat angkut bekerja 100% (Ramadhani et al., 2023). Untuk menilai keserasian alat muat dan alat angkut dapat digunakan rumus *match factor* sebagai berikut:

$$MF = \frac{N_a \times C_{tm}}{N_m \times C_{ta}}$$

jika diperanguhi oleh jumlah *bucket* menjadi sebagai berikut:

$$MF = \frac{N_a \times n \times C_{tm}}{N_m \times C_{ta}}$$

namun jika nilai *match factor* di anggap kurang aktual maka dilakukan upaya perbaikan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$N_a = \frac{C_{ta}}{C_{tm} \times n}$$

keterangan:

- N_m : jumlah alat muat (*excavator*)
 N_a : jumlah alat angkut (*dump truck*)
 n : jumlah pengisian *bucket* ke alat angkut
 C_{tm} : waktu edar alat muat (*excavator*)
 C_{ta} : waktu edar alat angkut (*dump truck*)
 (Michel et al., 2024).

PT PETROSEA

PT Petrosea didirikan pada tahun 1972 dengan nama PT Petrosea International Indonesia yang kemudian di akuisisi oleh banyak perusahaan lainnya sejak tahun 1984. PT Petrosea adalah perusahaan multi-disiplin yang bergerak di bidang jasa pertambangan, rekayasa, pengadaan & konstruksi (EPC) serta jasa minyak & gas bumi yang berkomitmen penuh terhadap aspek keselamatan kerja dan manajemen risiko sebagai kontinuitas dari strategi keberlanjutan Perusahaan. PT Petrosea saat ini sedang menjalani berbagai proyek yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proyek PT Petrosea Saat ini

PT Petrosea memiliki proyek yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia, meliputi jasa pertambangan, rekayasa, pengadaan dan konstruksi, serta jasa logistik dan pendukung. Salah satu proyek pertambangan yang menjadi lokasi penelitian ini berada di Tamiyang Layang, Kalimantan Tengah. Proyek tersebut bergerak pada kegiatan pengangkutan batu bara yang melibatkan alat berat *excavator* dan *dump truck* sebagai alat utama operasional (Petrosea, 2026).

ALAT BERAT PERTAMBANGAN

Alat berat merupakan faktor penting dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi kegiatan pengangkutan batubara. Dalam kegiatan operasi

penambangan dan pencapaian target produksi, alat berat memegang peranan yang sangat penting (Aprilliana et al., 2023). Dalam sektor pertambangan, perangkat berat mungkin sudah tidak asing lagi bagi banyak orang. Perangkat tersebut dimanfaatkan untuk mendukung aktivitas pertambangan mulai dari awal pembukaan situs tambang, pembangunan akses jalan, pengambilan, hingga pengiriman material tambang ke tahap selanjutnya. Berbagai tipe peralatan berat ini pun bervariasi sesuai dengan fungsinya, seperti untuk pengiriman, penggalian, dan lainnya (Ahmad & Nurrohkayati, 2024).

Alat berat yang digunakan dalam pertambangan ini adalah *excavator* dan *dump truck*. *Excavator* atau biasa disebut dengan *backhoe* merupakan alat berat yang sangat efektif dalam kegiatan perusahaan seperti penggalian, pembongkaran, atau pengangkatan material seperti tanah, batu, kerikil, kayu, atau material lainnya. *Excavator* beroperasi menggunakan sistem hidrolik yang sangat kuat dan efisien, memungkinkan alat ini untuk mengangkat serta memindahkan material berat dan besar dengan mudah. Selain itu, alat ini memiliki kemampuan untuk bergerak ke berbagai arah (360 derajat), membuatnya sangat fleksibel dalam menangani berbagai macam pekerjaan seperti penggalian di bawah permukaan, mengerjakan material keras, dan pemotongan kayu (Sitinjak et al., 2023). *Dump truck* merupakan jenis kendaraan berat yang dirancang untuk membawa bahan material seperti pasir, kerikil, atau tanah demi kepentingan konstruksi. *Dump truck* mampu mengangkut material dari jarak menengah hingga jarak jauh (500 meter ke atas). *Dump truck* adalah alat berat yang memiliki tugas untuk mengangkut atau memindahkan material dalam jarak tertentu (Amelia et al., 2022).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode analisis perbandingan dua model optimasi, yaitu linear programming dengan simpleks dan *match factor*. Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada analisis numerik untuk memperoleh jumlah dan biaya operasional (*excavator* dan *dump truck*) yang paling optimal berdasarkan data operasional di PT Petrosea. Hasil dari kedua metode tersebut kemudian dibandingkan untuk menentukan metode yang lebih

efisien dalam mendukung pengambilan keputusan optimasi alat berat.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh data operasional alat berat yang digunakan dalam kegiatan pengangkutan batu bara di PT Petrosea, seperti jumlah *excavator* dan *dump truck*, waktu siklus alat berat, jam kerja efektif, serta biaya operasional. Sampel penelitian merupakan seluruh data operasional tersebut yang diperoleh melalui wawancara dan data perusahaan, sehingga penelitian ini menggunakan keseluruhan data yang relevan.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi sebagai dasar perhitungan pada metode linear programming dengan simpleks dan *match factor*. Data yang dikumpulkan mencakup jumlah alat berat serta informasi pendukung dari perusahaan, sehingga proses analisis dapat dilakukan secara menyeluruh sesuai dengan faktor yang relevan pada kondisi lapangan di PT Petrosea. Dengan demikian, data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder atau data yang didapat dari perusahaan maupun instansi terkait, seperti jenis alat berat, biaya operasional alat berat, kapasitas alat berat, jam kerja dan sebagainya.

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan dua pendekatan optimasi, yaitu *linear programming* dengan metode simpleks dan metode *match factor* untuk menentukan jumlah alat berat yang optimal pada kegiatan pengangkutan batu bara. Analisis diawali dengan pengumpulan dan pra-pengolahan data operasional alat berat PT Petrosea yang meliputi jumlah alat berat, kapasitas produksi, waktu siklus kerja, volume material, dan biaya operasional. Selanjutnya dilakukan perhitungan produktivitas *excavator* dan *dump truck* berdasarkan kapasitas alat, waktu siklus, *bucket fill factor* (*Bff*), *swell factor* (*Sf*), dan efisiensi kerja alat. Data tersebut kemudian digunakan untuk menyusun model *linear programming* yang terdiri atas variabel keputusan, fungsi tujuan untuk meminimalkan biaya operasional, serta fungsi kendala terkait jumlah alat dan produktivitas. Model optimasi diselesaikan menggunakan metode simpleks. Selain itu, dilakukan perhitungan *match factor* untuk mengevaluasi tingkat keserasian kerja antara *excavator* dan *dump truck*. Hasil dari kedua metode kemudian dibandingkan untuk menentukan metode

yang paling efisien dalam menghasilkan kombinasi alat berat optimal dan biaya operasional minimum pada PT Petrosea.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data jumlah *excavator* dan *dump truck*, data jam kerja efektif, biaya operasional, waktu siklus operasional alat berat, jarak ritasi, dan produktivitas alat berat. Data tersebut diperoleh dari hasil observasi langsung di lapangan serta dokumen perusahaan yang relevan dengan kegiatan operasional pengangkutan batu bara. Seluruh data kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan alat berat serta menentukan kombinasi operasional yang paling optimal.

DATA JUMLAH EXCAVATOR DAN DUMP TRUCK

Berdasarkan data lapangan, PT Petrosea dalam proses pengangkutan batu bara dalam 1 *fleet* terdapat 1 unit *excavator* sebagai alat gali muat dan 4-9 unit *dump truck* sebagai alat angkut. Dalam pengangkutan batu bara terdapat 3 *fleet* yang terdiri dari 3 unit *excavator* dan 19 unit *dump truck*. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem kerja pengangkutan dirancang untuk menjaga keseimbangan antara kapasitas *excavator* dan *dump truck* agar proses operasional berjalan optimal.

BIAYA OPERASIONAL ALAT BERAT

Biaya operasional alat berat pada PT Petrosea dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) harian masing-masing alat berat. Rincian biaya operasional alat berat berdasarkan konsumsi BBM. Rincian biaya operasional alat berat berdasarkan konsumsi BBM tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Biaya Operasional

Nama Alat Berat	Total Biaya (Rp)
<i>Excavator</i> PC 3400 Komatsu	112.800.000
<i>Excavator</i> PC 2000 Komatsu	84.600.000
<i>Excavator</i> EX 2500 Hitachi	84.600.000
<i>Dump truck</i> PC 3400 Komatsu	28.200.000

Berdasarkan Tabel 1, biaya BBM harian untuk masing-masing alat berat terdiri dari *excavator* PC 3400 Komatsu sebesar Rp112.800.000 per hari, *excavator* PC 2000 Komatsu sebesar Rp84.600.000 per hari, *excavator* EX 2500 Hitachi sebesar Rp84.600.000 per hari, serta *dump truck* HD 785 Komatsu sebesar Rp28.200.000 per hari. Berdasarkan jumlah *excavator*

yaitu masing-masing 1 unit dan *dump truck* 19 unit, maka total biaya BBM harian yang dikeluarkan dalam kegiatan operasional alat berat pada PT. Petrosea sebesar Rp817.800.000 per hari.

DATA FLEET

Pada pengangkutan batu bara PT. Petrosea di muat oleh 3 *excavator* dengan tipe PC 3400 Komatsu, PC 2000 Komatsu dan EX 2500 Hitachi. Kemudian batu bara diangkut oleh 4-9 *dump truck* dengan tipe HD 785. Data *fleet* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data *fleet*

Unit	Jumlah DT	Jumlah <i>fleet</i>
<i>Excavator</i> PC 3400 Komatsu	6	1
<i>Excavator</i> PC 2000 Komatsu	4	1
<i>Excavator</i> EX 2500 Hitachi	9	1

Berdasarkan Tabel 2 pengangkutan batu bara PT. Petrosea memiliki 3 *fleet* dimana pada *fleet* 1 terdiri dari 1 unit *excavator* jenis PC 3400 Komatsu dan 6 unit *dump truck* jenis HD 785 Komatsu, *fleet* 2 terdiri dari 1 unit *excavator* jenis PC 2000 Komatsu dan 4 unit *dump truck* jenis HD 785 Komatsu, kemudian *fleet* 3 terdiri dari 1 unit *excavator* jenis EX 2500 Hitachi dan 9 unit *dump truck* jenis HD 785 Komatsu.

JAM KERJA DAN WAKTU OPERASIONAL ALAT BERAT

Berdasarkan data PT. Petrosea, data jam kerja efektif yaitu 22 jam. Dengan waktu siklus *excavator* dan *Dump truck*. Waktu siklus *excavator* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Waktu siklus *excavator*

Unit	Jumlah <i>Bucket</i>	Total Waktu (detik)
<i>Excavator</i> PC 3400 Komatsu	4	160
<i>Excavator</i> PC 2000 Komatsu	6	210
<i>Excavator</i> EX 2500 Hitachi	5	100

Berdasarkan Tabel 3 *excavator* memiliki total waktu tiap unit yaitu 160 detik, 210 detik dan 100 detik dengan 4-6 *bucket* untuk mengisi 1 unit *dump truck* hingga penuh, Kemudian PT. Petrosea memiliki waktu siklus *dump truck* yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Waktu siklus *dump truck*

Unit	Total Waktu (detik)
<i>Dump truck</i> HD 785 Komatsu	384

Berdasarkan Tabel 4 *dump truck* HD 785 Komatsu memiliki total waktu 384 detik per-satu siklus.

KAPASITAS ALAT BERAT

Kapasitas ini menunjukkan kemampuan masing-masing alat berat dalam memindahkan material dalam satu siklus kerja. Berdasarkan data operasional yang diperoleh, kapasitas alat berat yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kapasitas alat berat

Unit	Kapasitas (BCM)
<i>Excavator</i> PC 3400 Komatsu	18
<i>Excavator</i> PC 2000 Komatsu	12
<i>Excavator</i> EX 2500 Hitachi	14
<i>Dump truck</i> PC 3400 Komatsu	70

Berdasarkan Tabel 5 alat berat memiliki kapasitas yang berbeda beda dengan satuan BCM. Diperoleh kapasitas *excavator* PC 3400 Komatsu sebesar 18 BCM, *excavator* PC 2000 Komatsu sebesar 12 BCM, *excavator* EX 2500 Hitachi sebesar 14 BCM, dan *dump truck* HD 785 Komatsu sebesar 70 BCM. Perbedaan kapasitas tersebut menunjukkan variasi kemampuan masing-masing alat berat dalam kegiatan pengangkutan material, yang selanjutnya menjadi dasar dalam perhitungan produktivitas alat berat pada penelitian ini.

VOLUME MATERIAL

PT. Petrosea melakukan kegiatan pengangkutan batu bara dengan menggunakan volume *density* sebesar 1,3 ton/BCM dan volume *insitu* sebesar 1 ton/BCM.

BUCKET FILL FACTOR (BFF)

Nilai *Bff* untuk 3 unit *excavator* sama yaitu senilai 0,85. Menunjukkan bahwa tingkat keterisian *bucket* pada saat operasi relatif seragam.

SWELL FACTOR (Sf)

Nilai *Sf* yaitu senilai 0,77. Nilai tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan volume material setelah proses penggalian.

EFISIENSI KERJA ALAT (Ef)

Efisiensi kerja alat (*Ef*) sebesar 91% atau 0,91. Nilai tersebut menunjukkan bahwa alat berat memiliki Tingkat pemanfaatan waktu kerja yang cukup tinggi.

PRODUKTIVITAS ALAT BERAT

Produktivitas alat berat merupakan kemampuan alat dalam memindahkan material dalam satuan jam. Perhitungan produktivitas alat berat pada penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan siklus waktu, kapasitas alat, *bucket fill factor* (*Bff*), *swell factor* (*Sf*), serta efisiensi kerja alat (*Ef*). Produktivitas alat berat pada masing-masing *fleet* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Produktivitas Alat Berat

Kelompok <i>fleet</i>	Excavator	Dump truck
<i>Fleet 1</i>	964,9	324,59
<i>Fleet 2</i>	736,2	297,26
<i>Fleet 3</i>	1.500,9	364,83

Berdasarkan Tabel 6 produktivitas *excavator* tertinggi terdapat pada *fleet 3* sebesar 1.500,9 BCM/jam, sedangkan produktivitas terendah terdapat pada *fleet 2* sebesar 736,2 BCM/jam. Pada *dump truck*, produktivitas *dump truck* tertinggi juga terdapat pada *fleet 3* sebesar 364,83 BCM/jam sedangkan produktivitas terendah terdapat pada *fleet 2* sebesar 297,26 BCM/jam. Perbedaan nilai produktivitas tersebut dipengaruhi oleh kapasitas alat dan waktu siklus operasional pada masing-masing *fleet*.

PEMBENTUKAN MODEL LINEAR PROGRAMMING

Model yang digunakan dalam metode *linear programming* yaitu model fungsi tujuan dan model fungsi kendala.

Minimumkan:

$$Z = 169,2x_1 + 112,8x_2 + 253,8x_3$$

Fungsi kendala:

- $x_1 + x_2 + x_3 \leq 19$
- $324,59x_1 \geq 964,9$
 $297,26x_2 \geq 736,2$
 $364,83x_3 \geq 1.500,9$

SIMPLEKS

Penyelesaian *linear programming* dilakukan dengan menggunakan metode simpleks. Mengubah bentuk umum *linier programming* ke bentuk standar simpleks.

$$\begin{aligned} Z - 169,2x_1 - 112,8x_2 - 253,8x_3 &= 0 \\ x_1 + x_2 + x_3 + S_1 &= 19 \\ 324,59x_1 - S_2 + R_1 &= 964,9 \\ 297,26x_2 - S_3 + R_2 &= 736,2 \\ 364,83x_3 - S_4 + R_3 &= 1.500,9 \end{aligned}$$

Penyelesaian model *linear programming* dilakukan menggunakan metode simpleks dengan mengubah model fungsi tujuan dan fungsi kendala ke dalam

bentuk baku simpleks. Tabel awal simpleks yang digunakan pada proses iterasi disajikan pada Gambar 2.

VB	x_1	x_2	x_3	S_1	S_2	S_3	S_4	R_1	R_2	R_3	NK
Z	-169,2	-112,8	-253,8	0	0	0	0	0	0	0	0
S_1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	19
S_2	324,59	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	964,9
S_3	0	297,26	0	0	0	-1	0	0	1	0	736,2
S_4	0	0	364,83	0	0	0	-1	0	0	1	1500,9

Gambar 2. Tabel Awal Simpleks

Berdasarkan Gambar 2 masih terdapat nilai negatif pada baris fungsi tujuan sehingga belum memenuhi kondisi optimal. Oleh karena itu, proses iterasi simpleks perlu dilanjutkan hingga diperoleh solusi optimal. Setelah dilakukan proses iterasi menggunakan metode simpleks, diperoleh hasil akhir penyelesaian seperti yang disajikan pada Gambar 3.

VB	x_1	x_2	x_3	S_1	S_2	S_3	S_4	R_1	R_2	R_3	NK
Z	0	0	0	0	-0,521	-0,323	-0,695	0	0	0	1826,473
S_1	0	0	0	1	0,003	0,003	0,003	-0,003	-0,003	-0,003	9,436
x_1	1	0	0	0	-0,003	0	0	0,003	0	0	2,973
x_2	0	1	0	0	0	-0,003	0	0	0,003	0	2,477
x_3	0	0	1	0	0	0	-0,003	0	0	0,003	4,114

Gambar 3. Hasil Simpleks

Terlihat bahwa pada baris Z masih terdapat nilai negatif pada beberapa variabel *slack*, yaitu S_2 , S_3 dan S_4 yang menunjukkan bahwa solusi yang diperoleh belum memenuhi kondisi optimal secara keseluruhan. Oleh karena itu, perlu dilanjutkan menggunakan metode dual simpleks untuk memperoleh solusi yang benar-benar optimal.

DUAL SIMPLEKS

Penyelesaian *linear programming* dilakukan dengan menggunakan metode dual simpleks kasus minimasi. Mengubah bentuk pertidaksamaan $\geq$ menjadi $\leq$ dengan mengalikan fungsi kendala dengan (-1) . Sehingga diperoleh bentuk *linear programming* bentuk baku sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z - 169,2x_1 - 112,8x_2 - 253,8x_3 - 0S_1 - 0S_2 - 0S_3 &= 0 \\ x_1 + x_2 + x_3 + S_1 &= 19 \\ -324,59x_1 + S_2 &= -964,9 \\ -297,26x_2 + S_3 &= -736,2 \\ -364,83x_3 + S_4 &= -1.500,9 \end{aligned}$$

penyelesaian model *linear programming* dilakukan menggunakan metode dual simpleks kasus minimasi. Tabel awal dual simpleks yang diperoleh

dari model fungsi tujuan dan fungsi kendala yang disajikan pada Gambar 4.

VB	x_1	x_2	x_3	S_1	S_2	S_3	S_4	NK
Z	-169,2	-112,8	-253,8	0	0	0	0	0
S_1	1	1	1	1	0	0	0	19
S_2	-324,59	0	0	0	1	0	0	-964,9
S_3	0	-297,26	0	0	0	1	0	-736,2
S_4	0	0	-364,83	0	0	0	1	-1500,9

Gambar 4. Tabel Awal Dual Simpleks

Berdasarkan Gambar 4 masih terdapat nilai negatif pada nilai NK sehingga perlu dilakukan langkah-langkah dual simpleks untuk memenuhi kondisi optimal. Oleh karena itu, proses iterasi dual simpleks perlu dilakukan hingga seluruh nilai pada baris fungsi tujuan memenuhi syarat optimalitas. Setelah dilakukan proses iterasi menggunakan metode dual simpleks, diperoleh hasil akhir penyelesaian seperti yang disajikan pada Gambar 5.

VB	x_1	x_2	x_3	S_1	S_2	S_3	S_4	NK
Z	0	0	0	0	-0,521	-0,379	-0,696	1826,465
S_1	0	0	0	1	0,003	0,003	0,003	9,436
x_1	1	0	0	0	-0,003	0	0	2,973
x_2	0	1	0	0	0	-0,003	0	2,447
x_3	0	0	1	0	0	0	-0,003	4,114

Gambar 5. Hasil Dual Simpleks

Dari hasil perhitungan menggunakan metode dual simpleks pada tabel solusi, didapatkan nilai $x_1 = 2,973$, $x_2 = 2,477$, $x_3 = 4,114$. Hasil yang diperoleh dibulatkan menjadi $x_1 = 3$, $x_2 = 3$, $x_3 = 5$ karena jumlah alat angkut harus berupa bilangan bulat dan tidak memungkinkan menggunakan nilai pecahan dalam kondisi operasional nyata. Sehingga didapatkan jumlah alat angkut optimal yaitu sebanyak 11 unit yang awalnya sebanyak 19 unit.

MATCH FACTOR

Pengolahan data dengan metode *match factor* dilakukan untuk mengetahui keseimbangan kerja antara alat muat dan alat angkut berdasarkan perbandingan waktu siklus operasional.

Tabel 7. *Match factor*

Kelompok Fleet	Nilai MF
Fleet 1	1,765
Fleet 2	1,41
Fleet 3	1,86

diperoleh hasil *match factor* pada fleet 1 > 1 yaitu 1,765, pada fleet 2 > 1 yaitu 1,41 dan pada fleet 3 > 1 yaitu 1,86. Sesuai dengan aturan *match factor* yang dijelaskan di subbab 2.4, maka dapat disimpulkan

produktivitas *dump truck* lebih besar dari *excavator*.

UPAYA PERBAIKAN

Upaya perbaikan keseimbangan *excavator* dan *dump truck* pada masing masing fleet

Tabel 8. Upaya Perbaikan

Kelompok Fleet	Nilai Perbaikan
Fleet 1	3,4
Fleet 2	2,829
Fleet 3	4,84

Hasil yang diperoleh dibulatkan menjadi fleet 1 = 4, fleet 2 = 3 dan fleet 3 = 5, sehingga sehingga didapatkan jumlah alat angkut optimal yaitu sebanyak 12 unit yang awalnya sebanyak 19 unit.

INTERPRETASI HASIL PERHITUNGAN

Pada bagian ini membahas jumlah alat berat yang digunakan dan biaya operasional PT Petrosea Site Tamiyang Layang, Kabupaten Barito, Kalimantan Tengah.

Tabel 9. Hasil Perhitungan

	simpleks			match factor		
Excavator	1	1	1	1	1	1
Dump truck	3	3	5	4	3	5
Total Excavator	3			3		
Total Dump truck	11			12		
Total Biaya	Rp592.000.000			Rp620.000.000		

Metode simpleks menghasilkan kebutuhan alat berat sebanyak 3 unit *excavator* dan 11 unit *dump truck* dengan total biaya operasional sebesar Rp592.200.000. Sementara itu, metode *match factor* menghasilkan jumlah *excavator* yang sama, yaitu 3 unit, namun jumlah *dump truck* yang lebih besar, yaitu 12 unit, dengan total biaya operasional sebesar Rp620.400.000. Perbedaan jumlah *dump truck* tersebut menyebabkan biaya operasional pada metode *match factor* lebih tinggi dibandingkan metode simpleks. Hal ini menunjukkan bahwa metode simpleks lebih efisien dibandingkan metode *match factor* dalam kasus optimalisasi alat berat PT Petrosea Tamiyang Layang.

PENUTUP

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, metode *linear programming* dengan simpleks dan metode *match factor* dapat digunakan untuk menentukan jumlah

alat berat yang optimal pada kegiatan pengangkutan batu bara di PT Petrosea. Metode *linear programming* dengan simpleks menghasilkan kombinasi alat berat optimal sebanyak 3 unit *excavator* dan 11 unit *dump truck* dengan biaya operasional minimum sebesar Rp592.200.000 per hari. Sementara itu, metode *match factor* menunjukkan bahwa nilai keserasian kerja pada setiap *fleet* masih belum seimbang sehingga diperoleh rekomendasi penggunaan 3 unit *excavator* dan 12 unit *dump truck* agar keseimbangan kerja alat lebih optimal. Berdasarkan hasil perbandingan kedua metode, metode *linear programming* dengan simpleks dinilai lebih efektif dalam meminimalkan biaya operasional, sedangkan metode *match factor* lebih efektif dalam menjaga keserasian kerja antara *excavator* dan *dump truck* di lapangan.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model dengan menambahkan variabel lain seperti kondisi cuaca, kondisi medan, dan faktor operasional lapangan agar model yang dihasilkan lebih representatif terhadap kondisi riil. Selain itu, juga dapat mempertimbangkan penggunaan metode optimasi lain, seperti *goal programming* atau algoritma genetika, untuk memperoleh hasil analisis yang lebih kompleks serta sebagai bahan perbandingan terhadap metode *linear programming* dengan simpleks dan *match factor*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., & Nurrohkayati, S. A. (2024). Analisis Kerusakan pada Bagian Undercarriage Dozer di Perusahaan Tambang Batu Bara Dozer D85e: Studi Kasus dan Rekomendasi Pemeliharaan. *National Multidisciplinary Sciences UMJember Proceeding Series*, 3(1), 190–199. <http://proceeding.unmuhjember.ac.id/index.php/nsm>
- Aini et al. (2021). Optimalisasi Keuntungan Produksi Makanan Menggunakan Pemrograman Linier Melalui Metode Simpleks. *Jurnal Bayesian*, 1(1), 1–16.
- Amelia, A., Azmi, Z., & Rodiah, S. (2022). Analisis Penerapan Akuntansi Atas Biaya Perbaikan Dump Truck Pada PT. Waletindo Setia Persada. *Sintama: Jurnal Sistem Informasi, Akuntansi Dan Manajemen*, 2(2), 241–253.
- Aprilliana, Adiwarman, M., Ramadhon, I. A., & P. (2023). Analisis Produktivitas Alat Angkut Pada Kegiatan Pengangkutan Batubara Dari Temporary Stockpile Menuju Dump Hopper Di PT Rifansi Dwi Putra Site Banko Barat PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 1(2), 106–112.
- Ayu Azizah, Rani, Khoirul Ulum, Faizal Roni, & Eni Reptiningsih. (2023). Analisis Penerapan Metode Simpleks Linier Programming Pada Home Industry Martabak. *Journal of Trends Economics and Accounting Research*, 4(2), 388–395. <https://doi.org/10.47065/jtear.v4i2.1059>
- Geraldo Michel, O., Kusma Wijaya, D. A., & Ferdinandus, F. (2024). Analisis Match factor Alat Gali Muat Angkut Pada Kegiatan Ore Getting Di Blok I PT. Billy Indonesia Site Parenggean. *Action Research Literate*, 8(4), 666–676. <https://doi.org/10.46799/ar.v8i4.308>
- Ghoffer, A. A., & Nudin, S. R. (2022). Riset Operasional Berbasis Permainan Android dengan Metode Simplex pada UD. Dieva Cake. *Journal of Emerging Information System and Business Intelligence (JEISBI)*, 3(1), 27–34. <https://doi.org/10.26740/jeisbi.v3i1.44166>
- Ghony, M. A., Aristo, & Sarmidi. (2023). Analisa Produktivitas Excavator di Area PIT 2 Swakelola Tambang Banko Barat PT Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Surya Teknik*, 10(2), 880–885. <https://doi.org/10.37859/jst.v10i2.6430>
- Harahap, L. M., Nasution, A. H., Rahma, Y., Alfandi, R., Elma, P., Mardewina, R., Nico, J., & Silaban, V. (2024). Perkembangan Riset Operasi Dan Modelnya. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Manajemen*, 2(6), 603–611.
- Imanda, K., & Sutandi, A. (2025). Optimasi Penggunaan Excavator Dan Dump Truck Pada Proyek X Dengan Metode Linear Programming. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(4), 1131–1136. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i4.30809>
- Nuryanneti & Kurniawan. (2025). Match Factor Alat Gali Muat Komatsu PC 500 dan Alat Angkut DT Mercy Arocs 4845 Di PIT 1 BANKO PT. BUKIT ASAM, Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 2.
- Pahlevi, R., Thamrin, S., Ahmad, I., & Nugroho, F. B. (2024). Masa Depan Pemanfaatan Batubara sebagai Sumber Energi di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 50–60. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.22973>
- Pardede, A. M. H., Novriyenni, Kadim, L. A. N., & Jollyta, D. (2020). *Optimasi Pemrograman Linier*. WADE Group National Publishing.
- Ramadhani, A. F., Rauf, A., Hariyanto, R., & Lusantono, O. W. (2023). Kajian Produktivitas Alat Muat Dan Alat Angkut Berdasarkan Match Factor Dan Teori Antrian Pada Kegiatan Pengangkutan Ore (Eto Efo) Di PT Djawa

- Berkah Mineral Site PT Bumanik, Kabupaten Morowali Utara Sulawesi Tengah. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 8(2), 27-35. <https://doi.org/10.31315/jtp.v8i2.9153>
- Saputera, S., & Setyowati, E. D. P. (2024). *Penerapan Aplikasi Riset Operasional untuk Agroindustri*. PT. Sonpedia Penerbitan Indonesia.
- Sitinjak, F. R., Silalahi, F. T. R., & Tupa, F. (2023). *Analisis Strategi Pemeliharaan Preventive Maintenance Excavator Menggunakan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Analisis Sensitivitas Analysis Of Excavator Preventive Maintenance Strategy Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach*. 6(2), 226-242.
- Susanti, V. (2021). Optimalisasi Produksi Tahu Menggunakan Pemrograman Linier Metode Simpleks. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 9.
- Zuhri, S., & Cahyono, Y. D. G. (2020). Analisa Match Factor untuk Meningkatkan Produktifitas Alat Muat dan Alat Angkut pada Penambangan Sirtu PT Pasirindo Perkasa Kabupaten Lumajang Jawa Timur. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan Dan Kelautan*, 2(1), 547.