

SKRIPSI

**EVALUASI *FUEL RATIO ARTICULATED* CAT 745
BERDASARKAN GEOMETRI JALAN ANGKUT DI PT
HILLCONJAYA SAKTI *SITE* PT ADHI KARTIKO PRATAMA TBK**

Disusun dan diajukan oleh:

**WAHYUNI. S
D111 20 1007**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

EVALUASI *FUEL RATIO ARTICULATED CAT 745* BERDASARKAN GEOMETRI JALAN ANGKUT DI PT HILLCONJAYA SAKTI *SITE* PT ADHI KARTIKO PRATAMA TBK

Disusun dan diajukan oleh

**WAHYUNI. S
D111 20 1007**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 7 Juni 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing,



Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., M.BA., M.T
NIP 198311142014042001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Wahyuni. S
NIM : D111201007
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**EVALUASI *FUEL RATIO ARTICULATED CAT 745*
BERDASARKAN GEOMETRI JALAN ANGKUT DI PT HILLCONJAYA
SAKTIS/STEPT ADHI KARTIKO PRATAMA TBK**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 24 Juni 2024

Yang Menyatakan



Wahyuni. S

ABSTRAK

WAHYUNI. S. *Evaluasi Fuel Ratio Articulated CAT 745 Berdasarkan Geometri Jalan Angkut di PT Hillconjaya Sakti Project Site PT Adhi Kartiko Pratama Tbk (dibimbing oleh Rini Novrianti Sutardjo Tui)*

PT Hillconjaya Sakti menggunakan *Articulated CAT 745* dalam kegiatan pengangkutan tanah penutup (*overburden*) dari *front loading Pit* Makale menuju area disposal. PT Hillconjaya Sakti memiliki standar nilai *fuel ratio* yaitu kategori *low performance*, *average*, dan *best performance*. Berdasarkan kondisi aktual di lapangan, sering terjadi antrian *Articulated CAT 745* pada segmen jalan angkut tertentu akibat kondisi lebar jalan angkut yang tidak sesuai dengan lebar minimum alat angkut yang menyebabkan *delay* dan berdampak pada efisiensi kerja yang digunakan sehingga nilai *fuel ratio* PT Hillconjaya Sakti berada pada kategori *low performance*. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi nilai *fuel ratio Articulated CAT 745* yang beroperasi di *Pit* Makale dalam kegiatan pengangkutan tanah penutup dan memberikan rencana perbaikan geometri jalan angkut untuk memenuhi standar nilai *fuel ratio* pada kategori *best performance*.

Analisis regresi linear berganda menggunakan *EvIEWS 12 VS* digunakan untuk mengetahui variabel yang berpengaruh signifikan terhadap konsumsi bahan bakar *Articulated CAT 745* berdasarkan pengaruh geometri jalan angkut. Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan nilai *fuel ratio Articulated CAT 745* sebesar 1,91 liter/LCM. Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap konsumsi bahan bakar adalah total tahanan dan waktu tempuh alat angkut.

Perbaikan geometri jalan angkut dilakukan terhadap lebar dan kemiringan jalan untuk mengurangi total tahanan dan waktu tempuh *Articulated CAT 745* berdasarkan standar KepMen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 dan *AASHTO Manual Rural High Way Design*. Perubahan yang terjadi adalah waktu edar alat angkut menjadi menurun dan nilai *fuel ratio* setelah perbaikan menurun dari 1,91 liter/LCM menjadi 0,60 liter/LCM. Penurunan nilai *fuel ratio* sebesar 1.31 liter/LCM sudah teroptimalisasi dengan baik dibandingkan dengan nilai *fuel ratio* aktual sebelumnya. Nilai *fuel ratio* hasil rencana perbaikan jalan angkut telah memenuhi standar nilai *fuel ratio* yang diharapkan PT Hillconjaya Sakti dan berada pada kategori *best performance* karena kurang dari satu.

Kata kunci: *Fuel ratio*, Geometri Jalan, Regresi Berganda, *Load Factor*, B70



ABSTRACT

WAHYUNI. S. *Evaluation of CAT 745 Articulated Fuel Ratio Based on Haul Road Geometry at PT Hillconjaya Sakti Project Site PT Adhi Kartiko Pratama Tbk* (supervised by Rini Novrianti Sutardjo Tui)

PT Hillconjaya Sakti uses an Articulated CAT 745 in transporting overburden from the front loading Pit Makale to the disposal area. PT Hillconjaya Sakti has standard fuel ratio values, namely low performance, average and best performance categories. Based on actual conditions in the field, Articulated CAT 745 queues often occur on certain haul road segments due to the condition of the haul road width not being in accordance with the minimum width of the haulage which causes delays and impacts the efficiency of the work used so that PT Hillconjaya Sakti's Fuel Ratio value is in the category low performance. The aim of this research is to describe the fuel ratio value of the Articulated CAT 745 operating in the Makale Pit in overburden hauling activities and provide a plan to improve the geometry of the haul road to meet the standard fuel ratio value in the best performance category.

Multiple linear regression analysis using Eviews 12 VS was used to determine variables that had a significant effect on Articulated CAT 745 fuel consumption based on the influence of haul road geometry. Based on the results of data processing, the Articulated CAT 745 Fuel Ratio value is 1.91 liters/LCM. Variables that have a significant effect on fuel consumption are total resistance and travel time.

Improvements to the geometry of the haul road were made to the width and garde of the road to reduce the total resistance and travel time of Articulated CAT 745 based on the standards of Minister of Energy and Mineral Resources Decree No. 1827 K/30/MEM/2018 and AASHTO Manual Rural High Way Design. The changes that occurred were that the cycle time of the transport equipment decreased and the fuel ratio value after improvements decreased from 1.91 liters/LCM to 0.60 liters/LCM. The reduction in the fuel ratio value of 1.31 liters/LCM has been well optimized compared to the previous actual fuel ratio value. The Fuel Ratio value resulting from the transportation road improvement plan has met the standard fuel ratio value expected by PT Hillconjaya Sakti and is in the best performance category because it is less than one.

Keywords: Fuel ratio, Road Geometry, Multiple Regression, Load Factor, B70



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geometri Jalan Angkut.....	5
2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Alat Angkut.....	9
2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Bahan Bakar.....	16
2.5 Konsumsi Bahan Bakar dan <i>Fuel Ratio</i>	19
2.6 Analisis Regresi Linear Berganda.....	20
2.6.1 Uji Asumsi Klasik.....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	24
3.2 Variabel Penelitian.....	25
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	25
3.4 Teknik Analisis.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Geometri Jalan Angkut.....	39
4.2 Perhitungan Gaya Tahanan.....	44
4.3 Rimpul.....	48
4.3 Produktivitas Alat Angkut.....	49
4.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar.....	51
4.5 Perhitungan <i>Fuel Ratio</i>	54
4.6 Analisis Regresi Linear Berganda.....	55
4.7 Rencana Perbaikan Geometri Jalan.....	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	84



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Lebar jalan angkut lurus	6
Gambar 2 Lebar jalan angkut pada tikungan	7
Gambar 3 Gaya-gaya yang bekerja pada <i>superelevasi</i> jalan angkut.....	8
Gambar 4 Peta tunjuk lokasi penelitian	24
Gambar 5 Mengimpor data <i>excel</i> ke <i>Eviews 12 VS</i>	33
Gambar 6 Membuka <i>equation</i> persamaan regresi linear berganda	33
Gambar 7 Mengatur bentuk persamaan	34
Gambar 8 Uji normalitas	34
Gambar 9 Uji Multikolinearitas	35
Gambar 10 Uji heteroskedastisitas	35
Gambar 11 Interpretasi model regresi linear berganda	36
Gambar 12 Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 13 Hasil uji normalitas pada rute bermuatan.....	57
Gambar 14 Hasil uji normalitas pada rute tidak bermuatan.....	58
Gambar 15 Hasil uji normalitas pada rute bermuatan.....	58
Gambar 16 Hasil uji normalitas pada rute tidak bermuatan.....	59
Gambar 17 Hasil uji heteroskedastisitas pada rute bermuatan.....	59
Gambar 18 Hasil transformasi data untuk uji heteroskedastisitas pada rute bermuatan	60
Gambar 19 Hasil uji heteroskedastisitas pada rute tidak bermuatan.....	60
Gambar 20 Hasil uji heteroskedastisitas pada rute bermuatan.....	61
Gambar 21 Hasil uji heteroskedastisitas pada rute tidak bermuatan.....	61
Gambar 22 Hasil uji multikolinearitas pada rute bermuatan	62
Gambar 23 Hasil uji multikolinearitas pada rute tidak bermuatan	62
Gambar 24 Hasil uji multikolinearitas pada rute bermuatan	63
Gambar 25 Hasil uji multikolinearitas pada rute tidak bermuatan	63
Gambar 26 Hasil estimasi regresi linear berganda pada rute bermuatan	68
Gambar 27 Hasil estimasi regresi linear berganda pada rute tidak bermuatan	68
Gambar 28 Hasil estimasi regresi linear berganda pada rute bermuatan	69
Gambar 29 Hasil estimasi regresi linear berganda pada rute tidak bermuatan	69
Gambar 30 Perubahan nilai <i>fuel ratio</i>	80



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai superelevasi yang diizinkan (ft/ft).....	8
Tabel 2. Faktor konversi material (perubahan volume).....	11
Tabel 3. Densitas material.....	12
Tabel 4. Koefisien tahanan gulir	14
Tabel 5. <i>Rate</i> percepatan berdasarkan rimpul	18
Tabel 6. Data kondisi jalan angkut pada rute bermuatan	26
Tabel 7. Data kondisi jalan angkut pada rute tidak bermuatan	26
Tabel 8. Data kedalaman amblasan ban	27
Tabel 9. Data panjang jalan angkut.....	29
Tabel 10. Data kemiringan jalan angkut	30
Tabel 11. Data spesifikasi <i>Articulated</i> CAT 745	40
Tabel 12. Lebar jalan angkut aktual pada rute bermuatan	41
Tabel 13. Lebar jalan angkut pada rute tidak bermuatan	42
Tabel 14. Kemiringan jalan pada rute bermuatan	43
Tabel 15. Kemiringan jalan pada rute tidak bermuatan	43
Tabel 16. Tahanan gulir pada rute bermuatan.....	44
Tabel 17. Tahanan gulir pada rute tidak bermuatan.....	45
Tabel 18. Hasil perhitungan tahanan kemiringan	46
Tabel 19. Total tahanan pada rute bermuatan	47
Tabel 20. Total tahanan pada rute tidak bermuatan	47
Tabel 21. Rimpul yang tersedia pada alat angkut <i>Articulated</i> CAT 745	48
Tabel 22. Rata-rata waktu edar <i>Articulated</i> CAT 745	49
Tabel 23. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar (liter/jam)	52
Tabel 24. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar (liter/ritase)	53
Tabel 25. Standar <i>fuel ratio</i> PT Hillconjaya Sakti	55
Tabel 26. Variabel regresi linear berganda I.....	56
Tabel 27. Variabel regresi linear berganda II.....	56
Tabel 28. Hasil rencana perbaikan lebar jalan angkut pada rute bermuatan.....	74
Tabel 29. Hasil rencana perbaikan lebar jalan angkut pada rute tidak bermuatan	74
Tabel 30. Hasil rencana perbaikan kemiringan jalan angkut pada rute bermuatan	75
Tabel 31. Hasil rencana perbaikan kemiringan jalan angkut pada rute tidak bermuatan	75
Tabel 32. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar (liter/jam) berdasarkan rencana perbaikan geomteri jalan angkut pada rute bermuatan	76
Tabel 33. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar (liter/jam) berdasarkan rencana perbaikan geomteri jalan angkut pada rute tidak bermuatan ..	77
Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar (liter/ritase) berdasarkan rencana perbaikan geometri jalan angkut pada rute bermuatan	78



Tabel 35. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar (liter/ritase) berdasarkan rencana perbaikan geometri jalan angkut pada rute tidak bermuatan .. 78

Tabel 36 Hasil penelitian secara keseluruhan 81



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Waktu tempuh dan waktu edar <i>Articulated</i> CAT 745	88
Lampiran 2	Peta segmen jalan angkut.....	126
Lampiran 3	Waktu kerja <i>Articulated</i> CAT 745.....	128
Lampiran 4	Spesifikasi alat berat	132
Lampiran 5	Perhitungan tahanan gulir	135
Lampiran 6	Perhitungan tahanan kemiringan	140
Lampiran 7	Perhitungan konsumsi bahan bakar (liter/jam) secara aktual	144
Lampiran 8	Perhitungan konsumsi bahan bakar (liter/jam) hasil rencana perbaikan geometri jalan angkut.....	152



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul "Evaluasi Fuel Ratio Articulated CAT 745 Berdasarkan Geometri Jalan Angkut di PT Hillconjaya Sakti Provinsi Site PT Adhi Kartiko Pratama Tbk". Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat kelulusan di Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara moril maupun materil sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Maridup P. Sirait, selaku Project Manager PT Hillconjaya Sakti Project Site PT Adhi Kartiko Pratama Tbk. yang telah memberikan kesempatan kepada penulis sehingga dapat melakukan pengambilan data di PT Hillconjaya Sakti, kepada Bapak Agung Raharjo, selaku *Engineering Section Head* sekaligus pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan serta bantuan selama penulis berada di perusahaan, Kak Ir. Sufiana, S.T selaku Kepala Teknik Tambang PT Adhi Kartiko Pratama Tbk, yang telah memberikan *support* yang luar biasa di perusahaan, Kak Naldo Kristian Taula'bi', S.T yang selalu memberi bantuan dan masukan kepada penulis saat pengambilan data, dan kepada seluruh karyawan PT Hillconjaya Sakti yang telah banyak membantu penulis.

Terima kasih kepada Ibu Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., M.BA, M.T. selaku pembimbing yang telah memberi arahan dan meluangkan waktunya untuk memberi bimbingan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih juga kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang sekaligus Ketua Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin dan Bapak Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T., selaku tim penguji yang telah memberikan berbagai koreksi dan saran untuk penyempurnaan Tugas Akhir. Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima

ada segenap dosen serta staf administrasi di Departemen Teknik yang telah membantu dalam pengurusan administrasi.



Penulis berterima kasih kepada teman-teman *Dexterious in Leadership and Collaboration of Mining Engineering (DRILLING)* Teknik Pertambangan 2020 terkhusus kepada Affian yang senantiasa membantu dan menemani penulis selama pengambilan data di lokasi penelitian. Terima kasih paling besar, penulis ucapkan kepada Ibu Hj Patma dan H Bapak Beddu Samad selaku orang tua yang tidak pernah berhenti berdoa serta memberikan dukungan dalam bentuk apapun demi kelancaran perkuliahan Ananda. Terima kasih pula kepada Kakak Satriani, S.Pd selaku saudara penulis yang selalu memberikan motivasi.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan wawasan mengenai geometri jalan angkut yang sesuai standar sehingga dapat dipertimbangkan untuk dapat diterapkan.

Gowa, 6 Juni 2024

Wahyuni. S



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Hillconjaya Sakti merupakan perusahaan yang bergerak di bidang kontraktor pertambangan dan pengerjaan sipil yang berdiri pada tahun 1995. PT Hillconjaya Sakti sebagai kontraktor PT Adhi Kartiko Pratama Tbk berada di Desa Lameruru, Kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Hillcon telah dipercaya sebagai mitra dalam melakukan proses pembersihan lahan, pengupasan tanah pucuk dan pemuatan tanah penutup sebelum melakukan pembongkaran dan pengangkutan *ore* menuju *stockpile*. Sistem penambangan yang digunakan adalah tambang terbuka (*surface mining*) dengan metode *backfilling*, dimana area penambangan yang telah selesai (*mineout*) akan digunakan sebagai area *disposal* dan akan bergerak sejalan dengan arah penambangan sehingga jarak pengangkutan lapisan tanah mencapai ratusan meter. Alat angkut merupakan peralatan utama untuk operasi pengangkutan pada tambang terbuka. Penggunaan alat mekanis tersebut tidak terlepas dari penggunaan bahan bakar (Ardian dkk., 2020).

Penelitian ini dilakukan pada *front* penambangan yang berada di lokasi *Pit Makale* dengan kegiatan pengupasan tanah penutup (*overburden*). Kegiatan pengangkutan tanah penutup dari *loading point Pit Makale* menuju *disposal* dialokasikan sebanyak dua *fleet*. Penelitian ini berfokus pada kombinasi enam unit *Articulated CAT 745* sebagai alat angkut dan dua unit *excavator Komatsu PC 400 LC* sebagai alat gali muat dalam kegiatan pengangkutan tanah penutup. Konsumsi bahan bakar merupakan total pemakaian bahan bakar oleh alat gali muat maupun alat angkut yang ditunjukkan dalam volume (liter) per jam (Himawan dkk., 2020). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar dalam satu ritase pengangkutan, diantaranya adalah kemiringan jalan (*grade*), jarak angkut, tahanan mulir, tahanan kemiringan, efisiensi mesin, tahanan percepatan, rimpul, berat dan (Ardian dkk., 2020).



Geometri jalan angkut merupakan faktor utama yang berkaitan dengan dari alat angkut. Apabila geometri jalan tidak sesuai dengan standar dan

kondisi permukaan jalan yang kurang baik dapat meningkatkan waktu edar alat angkut sehingga menurunkan produktivitas dan meningkatkan konsumsi bahan bakar (Kurniawan dkk., 2019). Kondisi jalan angkut juga memengaruhi daya angkut (*load factor*) dari mesin yang digunakan (Sihombing dkk., 2022), semakin tinggi *load factor* mesin maka semakin tinggi tingkat konsumsi bahan bakar. Berdasarkan kondisi aktual, pada proses pengangkutan tanah penutup sering terjadi antrian *Articulated CAT 745* pada segmen jalan angkut tertentu yang menyebabkan *delay* dan berdampak pada efisiensi kerja. *Delay* yang terjadi mengakibatkan rendahnya produktivitas dan meningkatkan penggunaan bahan bakar karena kondisi mesin tetap bekerja pada saat *delay*. Hal tersebut menyebabkan nilai *fuel ratio Articulated CAT 745* berada pada kategori *low performance* berdasarkan standar nilai *fuel ratio* PT Hilconjaya Sakti.

Fuel ratio yang optimal dapat dicapai jika alat angkut *Articulated CAT 745* mampu berproduksi maksimal dengan konsumsi bahan bakar yang efisien. Beberapa faktor yang memengaruhi konsumsi bahan bakar yaitu kemiringan jalan, total tahanan, waktu tempuh, dan kecepatan. Analisis regresi linear berganda merupakan salah satu cara untuk memprediksi parameter yang berpengaruh signifikan terhadap konsumsi bahan bakar *Articulated CAT 745*. Evaluasi geometri jalan angkut dilakukan untuk mengetahui kesesuaian kaidah jalan angkut yang baik berdasarkan standar jalan dan menjadi tolak ukur dalam perbaikan geometri jalan untuk menurunkan konsumsi bahan bakar dan memenuhi standar nilai *fuel ratio* pada kategori *best performance Articulated CAT 745* di PT Hillconjaya Sakti *project site* PT Adhi Kartiko Pratama Tbk.

1.2 Rumusan Masalah

PT Hillconjaya Sakti menggunakan *Articulated CAT 745* sebagai alat angkut dalam kegiatan pengangkutan lapisan penutup sepanjang puluhan sampai ratusan meter sehingga bahan bakar berkontribusi paling besar terhadap nilai *fuel ratio*. Penggunaan bahan bakar yang efisien dapat membantu dalam mencapai nilai *fuel ratio* yang ditetapkan perusahaan. Efisiensi konsumsi bahan bakar akan dengan semakin rendahnya nilai *fuel ratio*. Salah satu upaya dalam menurunkan nilai *fuel ratio* adalah dengan melakukan evaluasi geometri jalan



angkutan terhadap konsumsi bahan bakar dan pencapaian produktivitas. Oleh sebab itu, permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa nilai konsumsi bahan bakar dan *fuel ratio* dari *Articulated CAT 745* yang beroperasi pada kegiatan pengangkutan tanah penutup.
2. Berapa besar pengaruh total tahanan, kemiringan jalan, waktu tempuh, dan kecepatan terhadap konsumsi bahan bakar *Articulated CAT 745*.
3. Berapa nilai *fuel ratio* dari *Articulated CAT 745* berdasarkan rencana perbaikan geometri jalan angkut.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh nilai *fuel ratio* dari *Articulated CAT 745* yang beroperasi pada kegiatan pengangkutan tanah penutup.
2. Menentukan parameter yang berpengaruh signifikan terhadap konsumsi bahan bakar *Articulated CAT 745*.
3. Memprediksi nilai *fuel ratio* dari *Articulated CAT 745* yang optimum berdasarkan rencana perbaikan geometri jalan angkut.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat menjadi penilaian akan pentingnya kondisi dan geometri jalan angkut yang digunakan dalam proses pengangkutan tanah penutup di PT Hillconjaya Sakti terhadap proporsi konsumsi bahan bakar dengan produktivitas alat angkut.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian bertujuan untuk menggambarkan batas penelitian, mempersempit permasalahan dan membatasi area penelitian agar penelitian dengan tepat dan mengatasi terjadinya penyimpangan-penyimpangan pada tugas akhir ini. Pengambilan data penelitian dilakukan di *Pit Makale onjaya Sakti Project Site* PT Adhi Kartiko Pratama Tbk Provinsi Tenggara pada tanggal 28 Januari sampai 22 Februari 2024. Ruang



lingkup penelitian ini terdapat pada faktor yang berkaitan dengan geometri jalan angkut pada kegiatan pengangkutan tanah penutup (*overburden*) yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar dan nilai *fuel ratio*. Faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar alat angkut berdasarkan geometri jalan angkut terdiri dari parameter kemiringan jalan, tahanan kemiringan, tahanan gulir, waktu tempuh dan kecepatan alat angkut dari *front loading* menuju *disposal*. Penentuan konsumsi bahan bakar pada saat mesin dihidupkan dan digunakan untuk kegiatan pengangkutan tanah penutup. Umur alat, kemampuan operator dan kondisi *maintenance* alat tidak termasuk dalam variabel penelitian karena bukan bagian geometri jalan angkut.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geometri Jalan Angkut

Geometri jalan angkut adalah perhitungan ruang jalan angkut yang digunakan dalam proses kegiatan pengangkutan. Geometri jalan harus sesuai dengan dimensi alat angkut yang digunakan agar alat angkut dapat bergerak secara leluasa pada kecepatan normal dan aman (Tania dkk., 2021). Jalan angkut merupakan komponen penting dari infrastruktur tambang terbuka karena kinerja jalan berdampak langsung pada efisiensi operational dan keselamatan kerja. Geometri jalan angkut terdiri dari banyak unsur termasuk lebar jalan, kemiringan maksimum, kemiringan melintang jalan, dan lain-lain. Geometri jalan harus sesuai dengan dimensi alat yang digunakan agar alat angkut dapat bergerak secara leluasa pada kecepatan normal dan aman (Adiwiyuga dan Dudi, 2023).

2.1.1 Lebar Jalan Angkut pada Jalan Lurus

Lebar jalan angkut minimum untuk jalur ganda atau lebih berdasarkan KepMen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 dan *AASHTO Manual Rural High Way Design* yaitu lebar jalan angkut tambang dengan mempertimbangkan alat angkut terbesar yang melintasi jalan tersebut paling kurang tiga setengah kali lebar alat angkut untuk dua arah dan dua kali lebar alat angkut untuk jalan tambang satu arah (Sari, 2021). Penentuan lebar jalan angkut minimum untuk jalan lurus didasarkan pada *rule of thumb* menurut AASTHO (*American Associantion of State Transportation Highway Officials*) dengan Persamaan 1 (Saputra dkk., 2019):

$$L = (n \times Wt) + (n + 1) (0,5 \times Wt) \quad (1)$$

dimana,

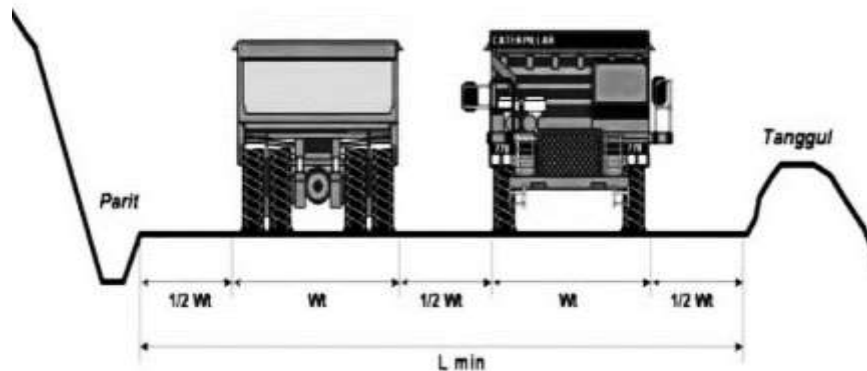


= Lebar minimum jalan angkut lurus (m)

= Jumlah jalur

= Lebar alat angkut total (m)

Nilai dari angka 0,5 pada Persamaan 1 menunjukkan bahwa ukuran aman kedua kendaraan berpapasan adalah sebesar 0,5 W_t atau setengah lebar terbesar dari alat angkut yang bersimpangan. Ukuran 0,5 W_t juga digunakan untuk jarak dari tepi kanan atau kiri jalan ke alat angkut yang melintasi secara berlawanan (Ramadhani dkk., 2022).



Gambar 1 Lebar jalan angkut lurus (Ramadhani dkk., 2022)

2.1.2 Lebar Jalan Angkut pada Tikungan

Lebar jalan pada tikungan selalu lebih besar dari pada lebar pada jalan lurus. Lebar minimum pada tikungan untuk jalur ganda jalan angkut dapat dihitung berdasarkan pada lebar jejak ban alat angkut, lebar jantai atau tonjolan (*overhang*) alat angkut bagian depan dan belakang pada saat membelok, jarak antara alat angkut pada saat bersimpangan, jarak (*space*) alat angkut dengan tepi jalan. Menentukan lebar jalan angkut harus disesuaikan dengan pemilihan alat angkut yang akan digunakan pada proses penambangan. Alat memiliki lebar lintasan dan jalan memiliki lebar tikungan sehingga lebar jalan angkut pada tikungan selalu lebih besar daripada lebar jalan lurus dan lebar yang dimiliki oleh alat angkut (Al-Fati dkk., 2023).

Perhitungan terhadap lebar jalan angkut pada tikungan atau belokan dapat menggunakan Persamaan 2 dan 3 (Saputra dkk., 2019).



$$= 2(U + Fa + Fb + Z) + C \quad (2)$$

$$: Z = \frac{1}{2} (U + Fa + Fb) \quad (3)$$

dimana,

W = Lebar jalan angkut minimum pada tikungan (m)

N = Jumlah jalur

U = Jarak jejak roda kendaraan (m)

F_a = Lebar jantai depan (m)

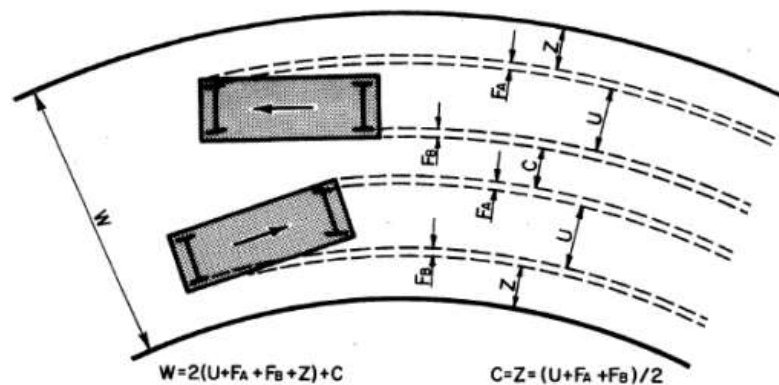
F_b = Lebar jantai belakang (m)

A_d = Jarak as roda depan dengan bagian depan (m)

A_b = Jarak as roda belakang dengan bagian belakang (m)

C = Jarak antara dua truk yang akan bersimpangan (m)

Z = Jarak sisi luar truk ke tepi jalan (m)



Gambar 2 Lebar jalan angkut pada tikungan (Ramadhani dkk., 2022)

2.1.3 *Superelevasi*

Superelevasi merupakan kemiringan jalan pada tikungan yang terbentuk oleh batas antara tepi jalan terluar dengan tepi jalan terdalam karena perbedaan ketinggian (Purwanti dkk., 2023). Bagian tikungan jalan perlu diberi *superelevasi* dengan cara meninggikan jalan pada sisi luar tikungan. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari atau mencegah kendaraan tergelincir ke luar jalan atau terguling (Al-Fati dkk., 2023).

Besarnya *superelevasi* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4 (Nurkhamim dkk., 2023).



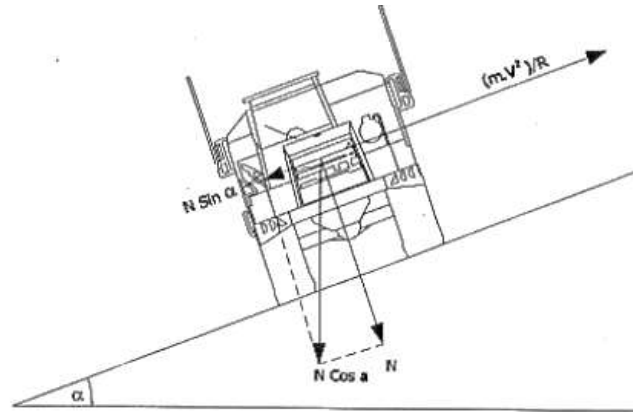
$$f = \frac{v^2}{127 R} \quad (4)$$

$e = \text{Superelevasi (m/m)}$

$V = \text{Kecepatan rencana alat angkut (km/jam)}$

$f = \text{Faktor gesekan}$

$R = \text{Radius tikungan (m)}$



Gambar 3 Gaya-gaya yang bekerja pada *superelevasi* jalan angkut (Setiawan dkk., 2022)

Nilai *superelevasi* yang diizinkan pada jalan angkut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai *superelevasi* yang diizinkan (ft/ft)

Radius Tikungan	Kecepatan Kendaraan (mph)					
	10	15	20	25	30	>35
50	0,04	0,04				
100	0,04	0,04	0,04			
150	0,04	0,04	0,04	0,05		
250	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	
300	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06
600	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
1000	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Sumber: Kaufiman dan Ault (1997) dalam Setiawan dkk., (2022)

2.1.4 Kemiringan Jalan Angkut (*Grade*)

Kemiringan jalan (*grade*) merupakan suatu faktor penting yang harus diamati secara detail terhadap kondisi jalan tambang. Hal tersebut dikarenakan kemiringan jalan angkut berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut baik dalam pengereman maupun dalam mengatasi tanjakan. Secara emiringan jalan maksimum yang dapat dilalui dengan baik oleh alat urang 10%, namun untuk naik maupun turun daerah perbukitan lebih



aman menggunakan kemiringan jalan maksimum sebesar 8% atau 4,5° (Nurkhamim dkk., 2023).

Menurut Wincono dan Horman (2019), kemiringan jalan angkut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5.

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta x} \times 100\% \quad (5)$$

dimana,

$$i = \text{Grade (\%)}$$

$$\Delta H = \text{Beda tinggi antara 2 titik yang diukur (m)}$$

$$\Delta x = \text{Jarak datar antara dua titik yang diukur (m)}$$

2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Alat Angkut

Produktivitas alat merupakan kemampuan optimum yang bisa tercapai alat angkut dengan memperhitungkan faktor alam maupun manusia (Pratama dan Murad, 2019). Konsumsi bahan bakar alat angkut memerlukan adanya penilaian terhadap faktor yang mempengaruhi kegiatan pengangkutan yang bertujuan untuk mengetahui apakah kegiatan pengangkutan berjalan optimal atau tidak.

1. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja adalah penilaian terhadap suatu pelaksanaan pekerjaan atau merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu tersedia yang dinyatakan dalam persen (%). Efisiensi kerja ini akan mempengaruhi kemampuan alat mekanis, faktor manusia, mesin, cuaca dan kondisi kerja secara keseluruhan akan menentukan besarnya efisiensi kerja. Nilai efisiensi kerja sebagaimana diarahkan terhadap operator alat, yaitu orang yang mengoperasikan alat. Cuaca, kerusakan alat mendadak, kabut merupakan penyebab yang tidak dapat dihindari. Pekerjaan mekanik pada perawatan alat tidak dapat digunakan sebagai penyebab berkurangnya efisiensi kerja operator, oleh karena *maintenance* harus terjadwal dengan baik (Kurniawan Amin, dan ochori, 2019). Menurut Hustrulid, Kuchta dan Martin (2013), efisiensi kerja dapat dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$W_{ke} = W_{kt} - W_h \quad (6)$$



$$\text{Eff} = \frac{W_{ke}}{W_{kt}} \times 100\% \quad (7)$$

dimana,

Eff = Efisiensi Kerja (%)

W_{ke} = Waktu kerja efektif (menit)

W_{kt} = Waktu kerja tersedia (menit)

W_h = Waktu hambatan (menit)

2. Waktu Edar Alat Angkut

Waktu edar (*cycle time*) merupakan waktu yang diperlukan oleh alat angkut untuk menghasilkan satu siklus kerja. Semakin kecil waktu edar suatu alat, maka produksi yang dihasilkan semakin tinggi (Sarmidi dkk., 2023). Waktu edar alat angkut pada umumnya terdiri dari waktu menunggu alat untuk bermuatan, waktu mengatur posisi (*manuver*) untuk bermuatan, waktu diisi muatan, waktu mengangkut muatan, waktu dumping, dan waktu kembali tanpa muatan. Menurut Sarmidi dkk., (2023), waktu edar alat angkut dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$C_{ta} = Ta_1 + Ta_2 + Ta_3 + Ta_4 + Ta_5 + Ta_6 \quad (8)$$

dimana,

C_{ta} = Waktu edar alat angkut (s)

T_{a1} = Waktu mengambil posisi untuk siap bermuatan (s)

T_{a2} = Waktu diisi muatan (s)

T_{a3} = Waktu mengangkut muatan (s)

T_{a4} = Waktu mengambil posisi untuk penumpahan (s)

T_{a5} = Waktu muatan ditumpahkan (*dumping*) (s)

T_{a6} = Waktu kembali tanpa muatan (s)

3. Faktor Pengembangan Material (*Swell Factor*)

Pengembangan material adalah perubahan berupa penambahan volume material yang diganggu dari bentuk asli dan berat material tetap. Penambahan volume material disebabkan saat material digali dari keadaan aslinya akan terisi udara pada bagian material yang kosong sehingga



perhitungan volume pada saat pengangkutan adalah menggunakan volume setelah di gali. Hal tersebut dikarenakan material telah mengalami pengembangan sehingga volume material yang sudah digali bertambah besar (Priyasambada, 2007). Secara praktis nilai faktor konversi material dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor konversi material (perubahan volume)

Jenis Material	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi
	Awal	Asli	Lepas	Padat
Pasir (<i>sand</i>)	B	1,00	1,11	0,99
	L	0,90	1,00	0,80
	C	1,05	1,17	1,00
Lempung kepasiran (<i>sand clay</i>)	B	1,00	1,25	0,90
	L	0,80	1,00	0,72
	C	1,11	1,39	1,00
Lempung (<i>clay</i>)	B	1,00	1,35	0,90
	L	0,70	1,00	0,72
	C	1,11	1,59	1,00
Tanah berkerikil	B	1,00	1,18	1,08
	L	0,85	1,00	0,91
	C	0,93	1,09	1,00
Kerikil	B	1,00	1,13	1,03
	L	0,88	1,00	0,91
	C	0,97	1,10	1,00
Kerikil padat / kasar	B	1,00	1,42	1,29
	L	0,70	1,00	0,91
	C	0,77	1,10	1,00
Batu kapur pecah atau batuan lunak	B	1,00	1,65	1,22
	L	0,61	1,00	0,74
	C	0,82	1,35	1,00
Granit basalt dan batuan keras	B	1,00	1,70	1,31
	L	0,59	1,00	0,77
	C	0,76	1,30	1,00
Pecahan batu	B	1,00	1,75	1,40
	L	0,57	1,00	0,80
	C	0,71	1,24	1,00
Batuan hasil ledakan	B	1,00	1,80	1,30
	L	0,56	1,00	0,72
	C	0,77	1,38	1,00

Sumber: Priyasambada (2007)

Faktor pengembangan material dihitung menggunakan Persamaan atau 10.

$$SF = \frac{\text{Bank volume}}{\text{Loose volume}} \quad (9)$$



$$SF = \frac{\text{Loose density}}{\text{Bank density}} \quad (10)$$

dimana,

$$SF = \text{Swell factor}$$

Faktor pengembangan juga diidentifikasi melalui perbandingan densitas material yang tergali dengan densitas material aslinya. Densitas material mengalami perubahan ketika digali, berubah dari kondisi *bank* menjadi *loose* (Ningrum dan Yulhendra, 2023). Pada kondisi longgar, densitas material akan berkurang dibandingkan dengan densitas pada kondisi bank karena adanya pori udara seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Densitas material

Densitas	Loose (kg/m ³)	Bank (kg/m ³)
<i>Clay</i>		
- <i>Natural Bed</i>	1660	2020
- <i>Dry</i>	1480	1840
- <i>Wet</i>	1660	2080
<i>Clay & Gravel</i>		
- <i>Dry</i>	1420	1660
- <i>Wet</i>	1540	1840
<i>Sand</i>		
- <i>Dry, loose</i>	1420	1600
- <i>Damp</i>	1690	1900
- <i>Wet</i>	1840	2080
<i>Sand & Clay</i>		
- <i>Loose</i>	1600	2020
- <i>Compacted</i>	2400	
<i>Sand & Gravel</i>		
- <i>Dry</i>	1720	1930
- <i>Wet</i>	2020	2230

Sumber: Prijasambada (2007)

Peningkatan volume suatu material terjadi setelah dikeluarkan dari tempat asalnya. Jika material dalam keadaan terberaikan dipadatkan kembali dengan alat mekanis maka volumenya akan berkurang karena udara yang ada pada bagian kosong material tersebut akan hilang (Prijasambada, 2007).



4. Kemampuan Produksi Alat Angkut

Kemampuan produksi alat angkut dipengaruhi oleh banyaknya ritase atau lintasan yang dapat dicapai oleh alat angkut tersebut. Banyaknya ritase dipengaruhi oleh waktu edar dan efisiensi kerja alat. Menurut Amalia dan Yulhendra (2020), Kemampuan produksi alat angkut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 12.

$$C = KB \times FF \times n \quad (11)$$

$$Q = \frac{C \times 60 \times Ek \times SF}{Cta} \quad (12)$$

dimana,

Q = Produksi per jam *hauler* (m^3 /jam)

n = jumlah *bucket excavator* untuk mengisi *hauler*

KB = Kapasitas *bucket* (m^3)

FF = *Fill Factor* (%)

SF = *Swell Factor*

Ek = Waktu kerja *hauler* (%)

Cta = Waktu siklus *hauler* (menit)

2.3 Tahanan Gaya Gerak Kendaraan

Jalan harus mampu untuk menahan berat atau beban kendaraan maksimum yang berat di atasnya. Apabila daya dukung jalan yang ada tidak dapat menahan beban yang diterima, maka kondisi jalan akan mengalami penurunan dan pergeseran jalan maupun tanah dasarnya. Pengaruh tahanan gaya gerak kendaraan salah satu faktor utama pengaruh konsumsi bahan bakar. Tahanan gerak kendaraan merupakan apapun yang menghambat laju dari Bergeraknya suatu benda. Tahanan yang dialami oleh alat angkut yang melaju di atas permukaan tanah dibagi menjadi dua yaitu tahanan gulir dan tahanan kemiringan. Tahanan total yang besar akan menghambat laju dari alat angkut sehingga sebisa mungkin diperbaiki untuk meningkatkan kecepatan laju kendaraan agar lebih alat bekerja lebih efektif (Nelvi, 2023).



2.3.1 Tahanan Gulir (*Rolling Resistance*)

Rolling resistance adalah suatu gaya yang melawan jalannya roda berdasarkan jumlah energi yang hilang atau kuantitas energi yang hilang di setiap unit pada saat jarak tempuh. Koefisien tahanan gulir ditentukan berdasarkan kondisi jalan angkut yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Koefisien tahanan gulir

No.	Type of Surface	CRR (%)
1	<i>Cement, asphalt, soil cement</i>	2,00
2	<i>Hard-packed gravel, cinders, or crushed rock</i>	3,00
3	<i>Moderately packed gravel, cinders or crushed rock</i>	5,00
4	<i>Unmaintained loose earth</i>	7,50
5	<i>Loose gravel and muddy rutted material</i>	10,00-20,00
6	<i>Asphalt</i>	0,80-1,50
7	<i>Crushed limestone</i>	3,40-4,20
8	<i>In-situ benonitic clay shale</i>	7,00-13,00
9	<i>Loose snow</i>	4,50
10	<i>Packed snow</i>	2,50
11	<i>Concrete and asphalt</i>	1,50*
12	<i>Smooth, hard, dry dirt and gravel, will maintained</i>	2,00*
13	<i>Soft unplowed dirt, poorly maintained</i>	4,00*
14	<i>Wet, muddy surface on firm base</i>	4,00*
15	<i>Soft, plowed dirt or unpacked dirt fills</i>	8,00*
16	<i>Loose sand and gravel</i>	10,00*
17	<i>Deeply rutted or soft spongy base</i>	16,00*

*add 1.5% for every inch of tire penetration

Sumber: Hustrulid dkk. (2013)

Apabila daya tekan dari alat lebih besar dari daya dukung material jalan maka ban akan amblas dan terjadi slip pada roda dimana roda ban bergerak a alat tetap diam (Amalia dan Yulhendra, 2020). Hal tersebut bkan pula jalan akan bergelombang dan banyak cekungan-cekungan.



Perhitungan tahanan gulir oleh ISO 28250:2019 menggunakan Persamaan 13 (Nurkhamim dkk., 2023).

$$RR = CRR \times G \quad (13)$$

dimana,

RR = Tahanan gulir (lbs)

CRR = Koefisien tahanan gulir

G = Massa kendaraan (lbs)

2.3.2 Tahanan Kemiringan Jalan

Tahanan kemiringan jalan adalah tahanan yang disebabkan oleh adanya perbedaan ketinggian dari titik awal ke titik selanjutnya atau gaya yang hilang akibat adanya perbedaan kemiringan jalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan kemiringan yaitu besarnya kemiringan jalan (%) dan berat kendaraan (ton). Tahanan kemiringan akan melawan gerak dari kendaraan dan memperbesar *rimpull* yang diperlukan jika jalur yang dilalui menanjak (kemiringan positif), sebaliknya tahanan kemiringan akan membantu gerak kendaraan dan memperkecil *rimpull* yang dibutuhkan jika jalan yang dilalui menurun (kemiringan negatif) (Pratama dan Anaperta, 2023). Perhitungan tahanan kemiringan dapat dihitung dengan Persamaan 14 (Nurkhamim dkk., 2023).

$$GR = GR \text{ factor} \times \text{Berat kendaraan} \quad (14)$$

dan

$$GR \text{ factor} = 20 \text{ (lb/ton)} \times \% \text{ Grade} \quad (15)$$

dimana,

GR = *Grade Resistance*

Grade = Kemiringan Jalan (%)



Menurut Burau, Sanmiquel dan Bascompta (2023), total tahanan dihitung akan Persamaan 16.

$$TR = RR + GR \quad (16)$$

dimana,

TR = Total tahanan

RR = Tahanan gulir (*rolling resistance*)

GR = Tahanan kemiringan (*grade resistance*)

2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Bahan Bakar

Semakin keras kerja mesin semakin banyak mesin membakar bahan bakar. Semakin tinggi kerja mesin maka semakin tinggi juga percepatan yang dihasilkan oleh mesin dan akan menambah konsumsi bahan bakar. Keadaan mesin dimana melakukan percepatan secara tiba-tiba menambah tingkat konsumsi bahan bakar. Adapun faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar secara langsung, sehingga penggunaan bahan bakar menjadi lebih boros adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan Mesin

Daya alat angkut atau *horse power* (HP) adalah usaha yang dilakukan per satuan waktu. Menghitung kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada setiap alat mekanis menggunakan nilai dari HP yang tersedia pada setiap mesin. *Brake horsepower* (bhp) atau HP mesin yang dihitung dari *torque* mesin, bukan dari *drawbar horsepower* (dbhp) sebagai HP yang disediakan pada roda. *Torque* didefinisikan sebagai tenaga yang diperlukan untuk memutar pada sumbunya. *Torque* mesin adalah gaya yang diperlukan untuk memutar mesin dengan jarak 1 ft (Nurkhamim dkk., 2023).

2. Rimpul

Rimpul merupakan besarnya gaya atau kekuatan tarik yang dapat diberikan oleh mesin kepada roda atau ban penggeraknya yang menyentuh permukaan jalur jalan. Rimpul yang dapat dihasilkan setiap gear tidak sama, pada *gear* rendah rimpul yang tersedia besar sedangkan pada *gear* tinggi rimpul yang tersedia kecil (Nurkhamim dkk., 2023). Rimpul dinyatakan dalam *pounds* (lbs) dan biasanya sudah tercantum dalam



spesifikasi mesin, apabila tidak ada rimpul dapat dihitung dengan Persamaan 17 untuk mengetahui rimpul yang tersedia (Nelvi, 2023).

$$\text{Rimpul} = \frac{375 \times \text{HP} \times \text{Eff}}{v} \quad (17)$$

dimana,

HP = Daya mesin (HP)

Eff = Efisiensi mesin

v = Kecepatan (mph)

3. Rimpul untuk Percepatan

Rimpul untuk percepatan adalah penambahan kecepatan dari kendaraan bergerak yang diperoleh dari gaya percepatan yang diambil dari kelebihan rimpul. *Rate* percepatan bergantung pada berat kendaraan dan kelebihan rimpul pada masing-masing *gear* alat angkut. Percepatan alat angkut menurut Peurifoy (1998) dapat dihitung dengan Persamaan 18 (Nurkhamim dkk., 2023).

$$\alpha = \frac{F \times g}{W} \quad (18)$$

dimana,

α = Percepatan (ft/dt²)

F = Gaya percepatan (lb)

g = Percepatan gravitasi (32,2 ft/dt²)

W = Berat kendaraan (lb)

Nilai rimpul untuk percepatan harus lebih kecil dari pada sisa rimpul yang tersedia. Rimpul yang dapat dihasilkan setiap *gear* tidak sama, pada *gear* rendah rimpul yang tersedia besar, sedangkan pada *gear* tinggi rimpul yang tersedia kecil. Nilai rimpul yang efektif dibutuhkan untuk percepatan diambil dari angka yang mendekati angka pada kolom rimpul yang dibutuhkan. Rimpul yang dibutuhkan berdasarkan percepatan at angkut disajikan pada Tabel 5.



Tabel 5. *Rate* percepatan berdasarkan rimpul

Rate Percepatan (mph/menit)	Rimpul yang dibutuhkan (lbs/ton)
3,3	5
6,6	10
13,2	20
19,8	30
33	50
39,6	60
46,2	70
52,8	80
59,4	90
66	100
132	200
198	300
264	400
330	500
396	600
462	700
528	800
594	900
660	1000

Sumber: Peurifoy (1998)

4. *Load Factor*

Load factor adalah suatu faktor pengali untuk memperoleh *horse power* yang sesungguhnya, tenaga maksimum tidak dipergunakan menerus selama periode kerja sehingga besar kecilnya *load factor* tergantung pada kondisi kerjanya. Besar *load factor* dapat dihitung berdasarkan pemakaian rimpul. Perhitungan *load factor* berdasarkan *hourmeter* menggunakan Persamaan 19.

$$LF = \frac{\text{Hour meter mesin}}{\text{Watch time}} \quad (19)$$

dimana,

LP = *Load factor* mesin

Hour meter power = Jam kerja mesin

Watch time = Waktu sebenarnya



Apabila rimpul terpakai dan rimpul maksimalnya diketahui, *load factor* dapat menggunakan Persamaan 20.

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{Rimpul terpakai}}{\text{Rimpul maksimal}} \quad (20)$$

2.5 Konsumsi Bahan Bakar dan *Fuel Ratio*

Konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*) merupakan parameter utama yang selalu menjadi pertimbangan untuk pemilihan suatu alat karena sebagai penyumbang biaya operational terbesar (Su dkk., 2023). Tenaga yang dibutuhkan oleh kendaraan untuk menggerakkan mesin memengaruhi konsumsi bahan bakar. Menghitung kebutuhan bahan bakar pada suatu alat sangat penting dilakukan agar dapat mengevaluasi dari segi penggunaan bahan bakar, karena kontributor bahan bakar sangat berpengaruh dalam finansial sebuah perusahaan. Menurut Burau, Sanmiquel, Bascompta (2023), konsumsi bahan bakar merupakan perbandingan spesifik bahan bakar yang masuk ke mesin selama satu jam dikalikan *load factor* dan dibagi densitas bahan bakar per liter sehingga dihitung menggunakan Persamaan 21.

$$\text{FC} = \frac{\text{SFC} \times \text{P} \times \text{LF}}{\text{FD}} \quad (21)$$

dimana,

FC = Konsumsi bahan bakar (liter/jam)

SFC = *Specific fuel consumption* (kg/kwH)

LF = *Load factor*

FD = *Fuel density* (kg/m³)

Besar kecilnya konsumsi bahan bakar kendaraan tidak hanya tergantung pada karakteristik mesin saja, tetapi juga dipengaruhi oleh gaya gerak kendaraan, kondisi jalan angkut, kecepatan dan tenaga. Variabel utama dalam gaya gerak adalah tahanan gulir dan tahanan kemiringan, kondisi jalan angkut dan kondisi permukaan jalan dan kemiringan jalan (Wincono dan Horman,



Menganalisis konsumsi bahan bakar tidak lepas dari perbandingan berapa banyak produktivitas alat tersebut. Hal ini disebut juga dengan rasio bahan bakar alat angkut. *Ratio* bahan bakar adalah perbandingan antara produksi lapisan tanah penutup dengan bahan bakar yang digunakan untuk penambangan. Bahan bakar yang terbakar (liter/jam) dan produktivitas alat (bcm/jam) merupakan dua faktor yang memengaruhi nilai *fuel ratio*. Menurut Kurniawan Amin, dan Bochori (2019), besarnya *fuel ratio* dapat dihitung menggunakan Persamaan 22.

$$Fuel\ ratio = \frac{Konsumsi\ bahan\ bakar}{Produktivitas} \quad (22)$$

dimana,

Fuel ratio = Rasio penggunaan bahan bakar (liter/bcm)

Konsumsi bahan bakar = Konsumsi bahan bakar (liter/jam)

Produktivitas = Kemampuan kerja alat (bcm/jam)

Konsumsi bahan bakar alat angkut berbanding lurus dengan rasio bahan bakar, semakin besar konsumsi bahan bakar maka semakin besar rasio bahan bakar.

2.6 Analisis Regresi Linear Berganda

Analisis regresi linier berganda adalah hubungan secara linier antara dua atau lebih variabel *independen* dengan variabel dependen. Analisis ini untuk mengukur intensitas hubungan antara dua atau lebih dan membuat prediksi perkiraan nilai Y atas X. Regresi linear berganda berguna untuk mendapatkan pengaruh dua atau lebih variabel kriteriumnya (bebas) atau untuk mencari hubungan fungsional dua variabel prediktor atau lebih dengan variabel kriteriumnya, atau untuk meramalkan dua variabel prediktor atau lebih terhadap variabel kriteriumnya. Persamaan 23 merupakan persamaan regresi linear berganda (Pratama dan Anaperta, 2023).



$$= a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (23)$$

= Variabel terikat

X = Variabel bebas

a = Konstanta

b = Koefisien regresi pada masing-masing variabel bebas

Regresi linier berganda hampir sama dengan regresi linier sederhana, hanya saja pada regresi linier berganda variabel bebasnya lebih dari satu variabel penduga. Tujuan analisis regresi linier berganda adalah untuk mengukur intensitas hubungan antara dua atau lebih dan membuat prediksi perkiraan nilai Y atas X . Regresi linier berganda juga merupakan regresi dimana variabel terikatnya (Y) dihubungkan atau dijelaskan lebih dari satu variabel, mungkin dua, tiga, dan seterusnya variabel bebas ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) namun masih menunjukkan hubungan yang linear. Regresi linear berganda berguna untuk mendapatkan pengaruh dua variabel kriteriumnya (bebas) atau untuk mencari hubungan fungsional dua variabel prediktor atau lebih dengan variabel kriteriumnya, atau untuk meramalkan dua variabel prediktor atau lebih terhadap variabel kriteriumnya (Octova dan Ramadhan, 2019).

Metode analisis regresi dapat digunakan untuk menentukan pola konsumsi bahan bakar untuk fitur multidimensi seperti jarak pengangkutan, waktu pengoperasian, *grade* jalan dan jenis truk (Wang dkk., 2021). Menurut Awuah Offei dkk., (2011), prediksi konsumsi bahan bakar pada alat angkut pertambangan menggunakan metode regresi berganda. Asumsi klasik penting untuk penerapan regresi berganda seperti asumsi linearitas, normalitas, non-multikolinearitas dan homoskedastisitas, apabila tidak satu pun dari asumsi terpenuhi maka output yang dihasilkan buruk dari variabel regresi berganda (Dindarloo dan Irdemoosa, 2016).

2.6.1 Uji Asumsi Klasik

Regresi linear berganda mensyaratkan hubungan antara variabel independen dan dependen harus linear.

1. Uji Normalitas



Model regresi linear berganda mengharuskan semua variabel berada dalam keadaan normal multivariat. Uji normalitas dapat dilakukan menggunakan metode grafik (histogram dan P-P plot) dan metode statistik. Menurut Irdemoosa (2000), sampel yang kurang dari 50 data menggunakan uji non-

grafis seperti Kolmogorov-Smirnov. Menurut Purnomo dkk (2022), kriteria pengambilan keputusan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov untuk normalitas data adalah:

- a. Nilai Sig. atau signifikan atau probabilitas $< 0,05$, maka distribusi data adalah tidak normal.
- b. Nilai Sig. atau signifikan atau probabilitas $> 0,05$, maka distribusi data adalah normal.

2. Uji Multikolinearitas

Model regresi linear berganda mengharuskan terdapat sedikit atau tidak ada multikolinearitas pada data. Multikolinearitas terjadi ketika variabel independen berkorelasi terlalu tinggi satu sama lain. Multikolinearitas dapat diuji dengan menggunakan nilai toleransi satu variabel independen terhadap semua variabel dependen lainnya (Sureiman dan Mangera, 2020). Uji ini dilakukan dengan melihat nilai toleransi atau *variance inflation factor* (VIF) pada model regresi. Menurut Purnomo dkk (2022), kriteria uji multikolinearitas adalah:

- a. Jika nilai toleransi $> 0,01$ atau $VIF < 10$, maka tidak terjadi multikolinearitas.
- b. Jika nilai toleransi $< 0,01$ atau $VIF > 10$, maka terjadi multikolinearitas.
- c. Jika koefisien korelasi masing-masing variabel bebas $> 0,8$, maka terjadi multikolinearitas dan jika koefisien korelasi masing-masing variabel bebas $< 0,8$, maka tidak terjadi multikolinearitas.

3. Uji Homoskedastisitas

Homoskedastisitas merupakan varians kesalahan yang sama pada data. Model regresi yang memenuhi persyaratan yaitu model yang terdapat kesamaan varians dari residual satu pengamatan ke pengamatan yang lain tetap. Ketika varians kesalahan data berbeda maka disebut heteroskedastisitas. Heteroskedastisitas pada data dapat melemahkan analisis dan meningkatkan tingkat kesalahan (Osborne and Waters, 2019). Kriteria uji heteroskedastisitas adalah:



- a. Jika nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 maka tidak terjadi heteroskedastisitas.
- b. Jika nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 maka terjadi heteroskedastisitas.

2.6.2 Uji Korelasi Berganda (*Multiple Correlation*)

Uji korelasi berganda merupakan analisis yang menunjukkan arah dan kuatnya hubungan antara dua variabel independen secara bersama-sama atau lebih dengan satu variabel dependen. Hipotesis yang digunakan dalam analisis regresi yaitu H_0 yang menunjukkan ada pengaruh antara variabel independen dengan variabel dependen dan H_1 yang menunjukkan tidak ada pengaruh antara variabel independen dengan variabel dependen.

1. Uji Simultan (Uji F)

Uji F bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh simultan (bersama-sama) yang diberikan variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y) (Purnomo dkk., 2022). Menurut Zahriyah dkk (2021), kriteria uji F adalah:

- a. Nilai sig. $F \leq 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
- b. Nilai sig. $F \geq 0,05$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

2. Uji Parsial (Uji T)

Uji koefisien regresi (uji T) bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh parsial (sendiri) yang diberikan variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y) (Purnomo dkk., 2022). Menurut Zahriyah dkk (2021), kriteria uji t adalah:

- a. Nilai sig. $t \leq 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
- b. Nilai sig. $t \geq 0,05$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

3. Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi berfungsi untuk mengetahui beberapa persen pengaruh yang diberikan variabel X secara simultan terhadap (Y) (Purnomo dkk., 2022).

