

ANALISIS FLEET MANAGEMENT SYSTEM UNTUK OPTIMALISASI KONSUMSI ENERGI DAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA KEGIATAN PENGUPASAN OVERBURDEN DI PIT 3 BANKO TENGAH PT BUKIT ASAM Tbk, SUMATERA SELATAN

Raja Rhezki Rahmatullah¹, Shofa Rijalul Haq¹, Inmarlinianto¹, Heru Suharyadi¹, Aldin Ardian¹, Untung Soekamto¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN “Veteran” Yogyakarta
email: rhezkiraja@gmail.com

Abstrak

PT. Bukit Asam Tbk merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara. Lokasi penambangan batu bara berada di Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Metode penambangan yang digunakan oleh PT. Bukit Asam Tbk adalah tambang terbuka. Pelaksanaan pengupasan overburden di pit 3 Banko Tengah Satuan Kerja Penambangan Swakelola menggunakan alat gali-muat Shovel Komatsu PC 3000E-6 Elektrik dan alat angkut Rigid Truck Belaz 75135. Sebagai komitmen mendukung program Tujuan Pembangunan Keberlanjutan (SDGs), PT Bukit Asam (PTBA) menjalankan berbagai program elektrifikasi dan inisiatif lainnya sebagai bagian dari komitmennya terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca dan optimalisasi penggunaan energi dalam operasi penambangannya. Melalui penelitian ini, dilakukan perhitungan konsumsi energi dan produksi emisi gas rumah kaca (GRK) di pit 3 Banko Tengah pada fleet 3004, 3005, dan 3006 serta dilakukan pengoptimalan dengan cara penekanan konsumsi bahan bakar dalam memproduksi overburden. Permasalahan yang dihadapi adalah tidak tercapainya target produksi overburden di fleet 3004, 3005 dan 3006 pada bulan Januari 2024 sehingga diperlukan analisis terhadap faktor yang menghambat ketercapaian target produksi. Setelah dilakukannya pengamatan dan observasi di lapangan, salah satu faktor utama yang menghambat ketidaktercapaian produksi adalah sedikitnya waktu kerja efektif yang disebabkan oleh hambatan-hambatan kerja serta kesesuaian geometri jalan dan front penambangan. Disamping itu, penggunaan alat mekanis di pertambangan juga berhubungan dengan penggunaan bahan bakar, sehingga dilakukan analisis terhadap fuel ratio optimal dari alat angkut untuk menekan konsumsi bahan bakar dalam memproduksi overburden. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh konsumsi energi rata-rata alat angkut RT Belaz 75135 sebesar 20,290 MJ/BCM dengan produksi emisi gas rumah kaca sebesar 1,525 KgCO₂/BCM. Alat gali muat yang digunakan merupakan electric shovel sehingga konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan lebih kecil, penggunaan alat ini merupakan salah satu implemementasi program elektrifikasi peralatan. Konsumsi energi rata-rata alat gali muat electric shovel sebesar 1,485 MJ/BCM dan produksi emisi gas rumah kaca sebesar 0,355 MJ/BCM. Optimalisasi konsumsi energi berfokus pada alat angkut dalam konsumsi bahan bakar dalam pengangkutan overburden. Melalui simulasi rimpull diperoleh penekanan waktu edar alat angkut yang menghasilkan fuel ratio optimal dalam produksi overburden. Hasil dari optimalisasi konsumsi energi pada alat angkut yaitu terjadi penurunan konsumsi energi menjadi 16,679 MJ/BCM dengan penurunan produksi gas rumah kaca menjadi 1,254 MJ/BCM.

Kata kunci: Konsumsi energi, Emisi gas rumah kaca, produksi

Abstract

PT. Bukit Asam Tbk is a company engaged in coal mining. The coal mining location is in Tanjung Enim, Muara Enim Regency, South Sumatra. The mining method employed by PT. Bukit Asam Tbk is open-pit mining. The overburden removal at pit 3 Banko Tengah Self-Managed Mining Unit uses Shovel Komatsu PC 3000E-6 Electric for excavation and Rigid Truck Belaz 75135 for transportation. The problem encountered is the failure to meet the overburden production target in fleets 3004, 3005, and 3006 in January 2024, necessitating an analysis of factors hindering the achievement of production targets. After field observations and inspections, one of the main factors impeding production was the limited effective working time due to various obstacles. One of the highest obstacles was high rainfall. Additionally, an analysis is required to determine the optimal fuel ratio for transport equipment to reduce fuel consumption in overburden production. In support of the Sustainable Development Goals (SDGs), PT Bukit Asam (PTBA) implements various electrification programs and other initiatives as part of its commitment to reducing greenhouse gas emissions and optimizing energy use in its mining operations. This study involves calculating energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions production in pit 3 Banko Tengah for fleets 3004, 3005, and 3006, and optimizing by reducing fuel consumption in overburden production. The research results show that the average energy consumption of the RT Belaz 75135 transport equipment is 20,290 MJ/BCM with GHG emissions production of 1.525 KgCO₂/BCM. The excavation equipment used is an electric shovel,

which results in lower energy consumption and GHG emissions. The average energy consumption of the electric shovel is 1,485 MJ/BCM, with GHG emissions production of 0.355 KgCO₂/BCM. Energy consumption optimization focuses on the transport equipment's fuel consumption in overburden hauling. Through rimpull simulation, a reduction in the haul cycle time of the transport equipment was achieved, resulting in an optimal fuel ratio in overburden production. The optimization results in a reduction of energy consumption to 16,679 MJ/BCM and a decrease in GHG emissions production to 1.254 KgCO₂/BCM.

Keywords: Energy Consumption GHG emission, production

PENDAHULUAN

Pertambangan dengan komoditas batubara merupakan salah satu industri yang memiliki risiko besar terhadap lingkungan terutama dalam hal peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Hal ini diakibatkan penggunaan energi dalam aktivitas pertambangan yang secara tidak langsung akan berdampak pada emisi GRK yang dihasilkan. Permasalahan ini juga terjadi pada PT Bukit Asam Tbk, Unit Penambangan Swakelola Pertambangan Batubara di Tanjung Enim. Perusahaan telah melakukan beberapa program untuk menurunkan emisi GRK, namun diperlukan adanya analisis terhadap sebaran emisi GRK di setiap proses penambangan batubara untuk dapat merumuskan program secara lebih tepat. Beberapa tahapan kegiatan penambangan seperti penyiapan lahan, penggalian tanah penutup, pengambilan batubara, pengolahan batubara dan transportasi batubara akan dipetakan sebaran emisinya.

Sekitar 50% dari biaya operasi tambang terbuka adalah pada aktivitas pemuatan dan pengangkutan material (Topal & Ramazan, 2010). Konsumsi bahan bakar alat mekanis menyumbang biaya operasional yang cukup besar. Alat gali-muat yang digunakan pada Pit 3 Banko Tengah PT Bukit Asam yang digunakan dalam kegiatan pengupasan overburden merupakan Shovel Komatsu PC 3000E-6 Elektrik yang merupakan salah satu program elektrifikasi peralatan untuk efisiensi operasional dan pengendalian biaya operasional dalam biaya bahan bakar serta untuk pengurangan emisi GRK yang diakibatkan pembakaran bahan bakar minyak. Alat angkut yang digunakan merupakan Rigid Truck Belaz 75135 dengan electric drive sebagai penggerakannya.

Berdasarkan evaluasi emisi gas rumah kaca di PT Bukit Asam, Unit Pertambangan Tanjung Enim IUP Banko Barat menunjukkan bahwa dalam lima (5) tahun terakhir tingkat emisi yang dihasilkan masih menunjukkan tren peningkatan. Kegiatan yang paling berperan dalam menghasilkan emisi GRK adalah kegiatan overburden removal dan coal getting. Kegiatan ini berkontribusi 86,34% dari total emisi dan menghasilkan 0,021 ton CO₂ setiap ton batubara yang dihasilkan. (Arifiyanto & Zulkifli, 2024).

Peningkatan emisi GRK dikarenakan tidak seimbangnya konsumsi energi dengan program pengurangan emisi GRK yang dilakukan. Intensitas emisi GRK menjadi salah satu indikator efisiensi konsumsi energi dalam memproduksi satu BCM overburden. Produktivitas yang tidak tercapai akibat kondisi jalan angkut dan front penambangan juga mengakibatkan rasio bahan bakar meningkat. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan analisis terhadap produktivitas alat gali-muat dan alat angkut dalam setiap fleet elektrifikasi untuk mencapai target produksi serta melakukan pengoptimalan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari produksi overburden.

Pada Penelitian ini dilakukan analisis terhadap beberapa aspek yang mengakibatkan tidak tercapainya produksi overburden di Pit 3 Banko Tengah serta pengoptimalan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari setiap BCM overburden yang dikupas berdasarkan nilai fuel ratio dari alat mekanis, sehingga melalui analisis ini dapat menentukan aspek yang perlu dibenahi untuk mencapai target produksi selanjutnya serta optimalisasi terhadap emisi gas rumah kaca yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk tujuan tertentu. Tujuan dapat dicapai oleh beberapa tahapan penelitian yang sudah disusun secara sistematis dan menyesuaikan dengan tujuan yang ingin dicapai. Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi 5 tahapan utama. Tahapan tersebut terdiri dari persiapan, pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data,

1. Persiapan

Tahap persiapan dilakukan sebelum pengambilan data untuk persiapan penelitian dengan mencari topik permasalahan dari literatur-literatur yang sudah ada yang selanjutnya akan dilakukan penelitian. Tahapan ini terdiri dari latar belakang, studi literatur, dan hipotesis.

2. Pengambilan Data dan Observasi Lapangan

Pada tahapan ini dilakukan observasi langsung pada lokasi penelitian. Pada kegiatan observasi lapangan dilakukan pengamatan terhadap keadaan dan kondisi pada lokasi penelitian yang tidak dapat diukur secara kuantitatif. Observasi yang dilakukan

seperti pola pemuatan dan kesehatan dan keselamatan kerja. Pada tahapan proses pengumpulan data dibagi menjadi 2 bagian yaitu pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan maupun dari perusahaan dan data sekunder merupakan data yang berasal dari dokumen perusahaan baik secara lisan maupun tulisan

Data Primer, merupakan data yang didapat atau diambil secara langsung di lapangan ataupun diperoleh dari data *dispatch*. Data primer meliputi *bucket fill factor*, lebar *front* penambangan, geometri jalan angkut, amblesan jalan angkut, dan waktu edar alat gali muat dan alat angkut.

Selain data primer, dilakukan juga pengambilan data Sekunder, data dapat diperoleh dari laporan penambangan pada bulan Januari 2024 yang meliputi target produksi Januari 2024, konsumsi bahan bakar alat angkut, konsumsi bahan bakar listrik alat gali muat, data *loss time*/hambatan Januari 2024, faktor emisi dan nilai kalor, curah hujan, spesifikasi alat, topografi, geologi regional, stratigrafi, dan *swell factor*.

3. Pengolahan Data

Pada pengolahan data akan dilakukan pengelompokan data yang telah diperoleh dari lapangan untuk memudahkan dalam melakukan analisis data kemudian disajikan dalam bentuk tabel, grafik, atau perhitungan penyelesaian. Hasil dari pengolahan data digunakan untuk mengetahui kemampuan produktivitas alat gali-muat dan alat angkut yang digunakan dalam penambangan, kemudian menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas alat, perbaikan geometri jalan, mengetahui fuel ratio serta mengetahui konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses pengupasan overburden/BCM.

4. Analisis Data

Pada tahapan ini, data keoptimalan tiap aspek Pada tahapan ini, hasil yang diperoleh dari pengolahan data akan dilakukan analisis. Analisis data yang dilakukan adalah dengan cara mengurutkan hasil olah data menjadi skala prioritas untuk rekomendasi. Prioritas pertama merupakan analisis data terhadap aspek yang kurang optimal serta hambatan yang selanjutnya akan diberikan rekomendasi terhadap beberapa kendala produksi untuk mencapai target produksi yang telah ditetapkan serta nilai fuel ratio yang optimal dan pengoptimalan konsumsi energi dan faktor lingkungan yaitu emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari produksi overburden. Setelah

itu, diperhatikan faktor penghambat produktivitas alat. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini merupakan analisis dengan statistik regresi linear. Cara analisis menggunakan regresi linear adalah dengan menghubungkan data yang telah diolah..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

a. Produksi Alat Mekanis

Alat gali muat yang digunakan pada pengupasan overburden di Pit 3 Banko Tengah adalah Shovel Komatsu PC3000E-6 Elektrik sehingga pola pemuatan yang ideal diterapkan di lapangan yaitu bottom loading. Pola pemuatan ini posisi alat gali-muat dan alat angkut terletak pada ketinggian yang sama.



Gambar 1 *Bottom Loading*

Besarnya nilai faktor pengembangan material didapatkan dari perbandingan antara densitas material lepas (*Loose Density*) dengan densitas material asli (*Bank Density*). Hasil penelitian yang dilakukan oleh satuan kerja eksplorasi rinci PT Bukit Asam Tbk di lapangan terhadap material tanah penutup pada front penambangan di Pit 3 Banko Tengah diperoleh nilai densitas loose 1,5 Ton/m³ dan densitas bank sebesar 2,09 Ton/m³, sehingga memiliki nilai *swell factor* diperoleh sebesar 0,72..

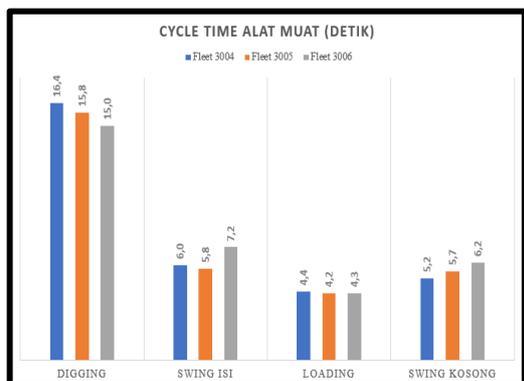
Nilai faktor pengisian mangkuk (*Bucket fill factor*) diperoleh dengan membandingkan kapasitas bucket secara teoritis dengan kapasitas nyata yang dapat dimuat oleh mangkuk. Nilai muatan yang dapat ditampung oleh vessel alat angkut diketahui melalui payload. Umumnya pada saat pengamatan dilapangan, kondisi material saat pemuatan selalu dalam kondisi munjung (*heap*) yang mengakibatkan nilai faktor pengisian mangkuk lebih dari 100%.

Tabel 1 Faktor Pengisian Mangkuk

Alat Gali-Muat	Bucket Fill Factor
Shovel Komatsu PC 3000E-6 Elektrik (3004)	101,7 %
Shovel Komatsu PC 3000E-6 Elektrik (3005)	100,6 %
Shovel Komatsu PC 3000E-6 Elektrik (3006)	100,4 %

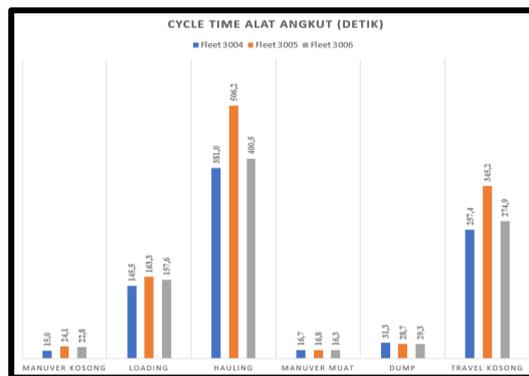
Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, didapatkan 2 waktu edar yang terdiri dari waktu edar alat muat dan waktu edar alat angkut.

Dalam satu siklus kerja waktu edar alat gali muat terdiri dari empat tahapan kegiatan yang dilakukan yaitu, waktu penggalian material (digging), waktu swing bermuatan, waktu penumpahan material (loading), dan waktu swing kosong. Waktu edar rata-rata shovel Komatsu PC3000E-6 Elektrik fleet 3004 sebesar 32,01 detik, waktu edar rata-rata shovel Komatsu PC3000E-6 Elektrik fleet 3005 sebesar 32,65 detik, dan waktu edar rata-rata shovel Komatsu PC3000E-6 Elektrik fleet 3006 sebesar 31,53 detik



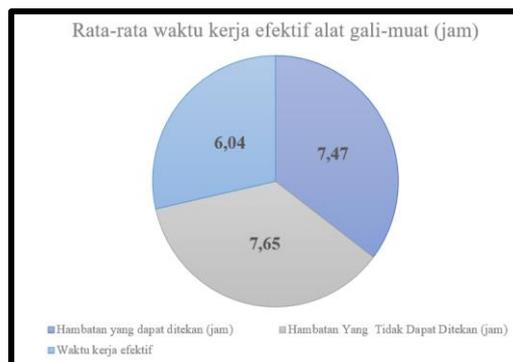
Gambar 2 Waktu Edar Alat Muat

Dalam satu siklus kerja waktu edar alat angkut terdiri dari enam tahapan kegiatan yang dilakukan yaitu waktu mengatur posisi untuk dimuati (*positioning*), pengisian muatan, pengangkutan muatan (*hauling*), mengatur posisi untuk dumping, penumpahan material (*dumping*), kembali kosong (*traveling*). Waktu edar alat angkut pada fleet 3004 sebesar 846,87 detik, fleet 3005 sebesar 1084,28 detik dan fleet 3006 sebesar 901,54 detik.

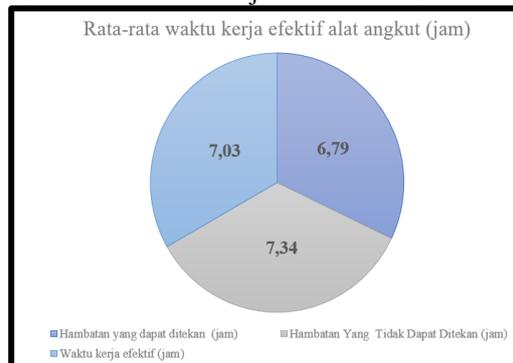


Gambar 3 Waktu Edar Alat Angkut

Waktu total rata-rata hambatan alat gali muat dan alat angkut di bulan januari 2024 pada fleet 3004 sebesar 15,15 jam/hari dan 14,47 jam/hari, pada fleet 3005 sebesar 15,11 jam/hari dan 14,42 jam/hari, pada fleet 3006 sebesar 15,11 jam/hari dan 14,23 jam/hari. Dari waktu rata-rata kehilangan hambatan-hambatan diperoleh rata-rata waktu kerja efektif alat gali muat dan alat angkut pada fleet 3004 selama 6,01 jam/hari dan 6,69 jam/hari, pada fleet 3005 selama 6,05 jam/hari dan 6,75 jam/hari, pada fleet 3006 selama 6,06 jam/hari dan 6,93 jam/hari.



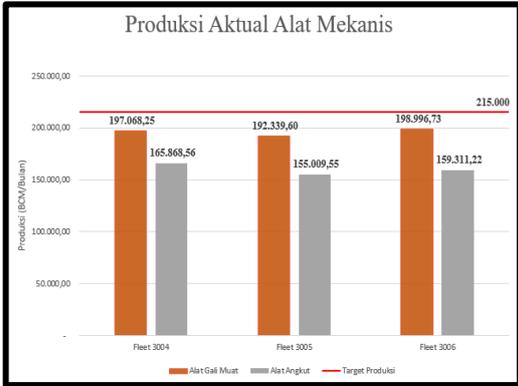
Gambar 4 Waktu Kerja Efektif Alat Gali Muat



Gambar 4 Waktu Kerja Efektif Alat Angkut

Target produksi yang ditetapkan di pit 3 banko tengah sebesar 645.000 BCM/bulan untuk fleet 3004, 3005 dan 3006. Berdasarkan perhitungan data aktual ketercapaian produksi pada bulan

januari sebesar 588.404,58 BCM/bulan hanya mencapai 91% dari alat gali-muat dan sebesar 480.189,33 BCM/bulan hanya mencapai 74% pada alat angkut dari target produksi yang ditetapkan.



Gambar 5 Produksi Aktual

b. Geometri Jalan Angkut

Jalan Angkut yang dilalui RT Belaz 75135 umumnya berasal dari topografi insitu (non timbunan), lokasi front penambangan ke Disposal Selatan berjarak 1,460 km dan 1,538 km dari front penambangan 3004 dan 3006 sedangkan pada fleet 3005 berjarak 2,016 km ke Disposal Utara.

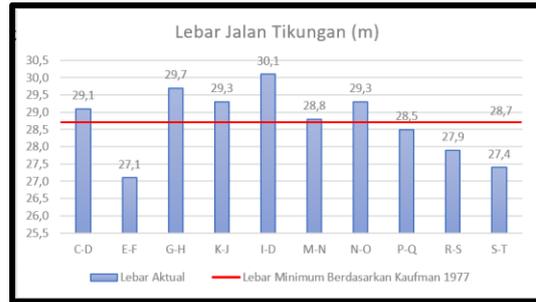


.Gambar 6 Kondisi Jalan Angkut

Lebar jalan lurus minimum secara teoritis sebesar 24,5 m dan lebar jalan minimum pada tikungan sebesar 28,7 m Berdasarkan dari pengamatan di lapangan, Terdapat beberapa segmen jalan angkut yang belum memenuhi lebar minimum jalur lurus dan tikungan terdapat pada segmen B-C, E-F, O-P, P-Q, R-S, dan S-T



Gambar 7 Lebar Jalan Lurus



Gambar 8 Lebar Jalan Tikungan

Kemiringan jalan angkut harus memenuhi standar Kepmen ESDM 1827 K/MEM/2018 yaitu kurang dari 12%. Kemiringan jalan angkut sangat mempengaruhi waktu edar yang didapatkan karena berhubungan langsung dengan kemampuan dari alat angkut untuk melewati tanjakan. Grade jalan yang ditetapkan oleh perusahaan adalah 8%. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan langsung di lapangan didapatkan 2 segmen jalan yang tidak memenuhi standar minimum kemiringan jalan yang ditetapkan oleh perusahaan, yaitu pada segmen B-C dan J-I dengan kemiringan (Grade) terbesar pada segmen B-C dengan nilai 8,7 %



Gambar 9 Kemiringan Jalan Angkut

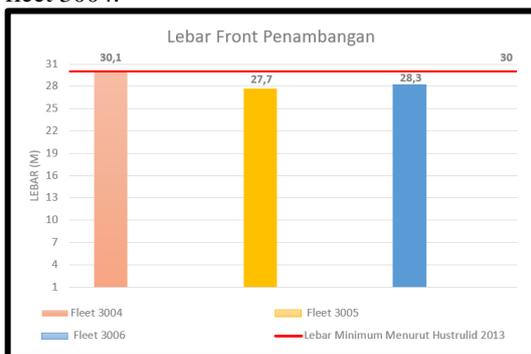
Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai minimum yang harus diterapkan yaitu sebesar 4 %. Hanya terdapat 1 segmen yang memenuhi standar superelevasi yaitu pada segmen I-D sedangkan pada segmen lainnya belum memenuhi. Sedangkan radius tikungan minimum pada setiap segmen yaitu sebesar 46,1 m dan berdasarkan pengamatan di lapangan semua segmen tikungan telah memenuhi nilai tersebut



Gambar 10 Superelevasi

c. Front Kerja Alat

Lebar Front minimum berdasarkan perhitungan secara teoritis menurut W. Hustrulid dalam buku Open Pit Mine Planning & Design 1. Fundamental 3rd Edition yaitu sebesar 30 m. Berdasarkan pengamatan langsung di masing-masing fleet, secara umum kondisi front penambangan 3004 relatif lebar dan memenuhi standar minimum front kerja alat yaitu sekitar 30,1 m yang memudahkan Belaz 75135 melakukan manuver, dibuktikan dengan rata-rata waktu alat angkut Belaz 75135 dalam memposisikan diri sebelum di muat pada front penambangan 3004 yaitu 14,3 detik. Sedangkan pada front penambangan 3005 dan 3006 belum memenuhi standar lebar front penambangan yaitu sekitar 27,7 m pada fleet 3005 dan 28,3 pada fleet 3006 sehingga saat alat angkut hendak memposisikan diri untuk kegiatan pemuatan membutuhkan waktu yang lebih lama daripada fleet 3004.

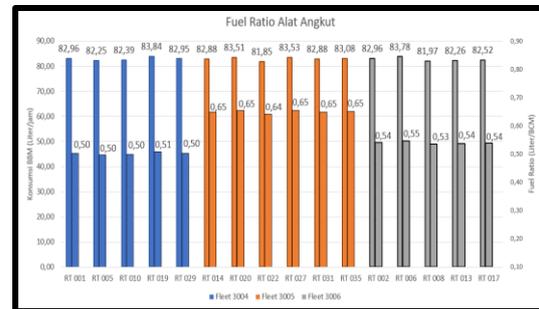


Gambar 11 Lebar Front Penambangan

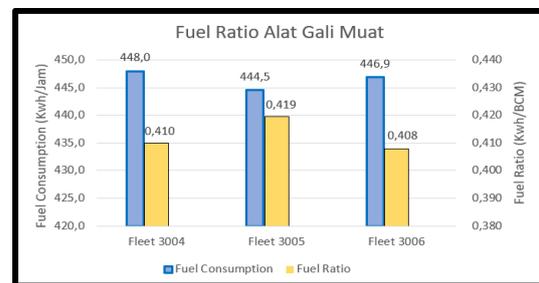
d. Rasio Bahan Bakar

Rasio bahan bakar merupakan perbandingan antara jumlah konsumsi bahan bakar yang terhadap produksi per BCM material atau overburden. Berdasarkan data historis perusahaan, alat gali muat Shovel Komatsu PC 3000E-6 memiliki konsumsi rata-rata bahan bakar listrik sebesar 446,5 Kwh dan Alat Angkut yang digunakan pada Pit 3 Banko Tengah adalah Rigid Truck Belaz 75135 yang menggunakan

bahan bakar minyak dengan berdasarkan pada data perusahaan untuk konsumsi bahan bakar minyak alat angkut sebesar 82,85 ltr/jam.



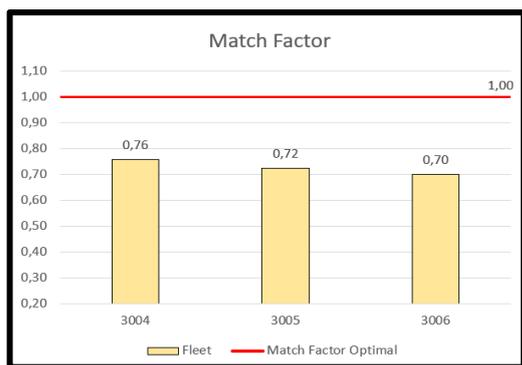
Gambar 12 Fuel Ratio Alat Angkut



Gambar 13 Fuel Ratio Alat Gali Muat

e. Match Factor

Nilai keserasian kerja antara alat gali muat dan alat angkut didapat berdasarkan jumlah unit serta waktu edar dari masing-masing rangkaian alat gali-muat dan alat angkut yang digunakan pada kegiatan pengupasan tanah penutup. Pada fleet 3004 dengan jarak tempuh 1,460 km menggunakan alat gali-muat Shovel Komatsu PC 3000E-6 1 unit dan alat angkut Rigid Truck Belaz 75135 5 unit, Pada fleet 3005 dengan jarak tempuh 2,016 km menggunakan alat gali-muat Shovel Komatsu PC 3000E-6 1 unit dan alat angkut Rigid Truck Belaz 75135 6 unit Pada fleet 3006 dengan jarak tempuh 1,538 km menggunakan alat gali-muat Shovel Komatsu PC 3000E-6 1 unit dan alat angkut Rigid Truck Belaz 75135 5 unit.



f. Tahanan Gelinding dan Tahanan Kemiringan Kondisi jalan angkut merupakan salah satu faktor utama dalam kelancaran dalam operasi penambangan sehingga harus benar-benar diperhatikan untuk memperlancar kegiatan pengangkutan lapisan overburden menuju disposal. Tahanan gelinding (rolling resistance) dan tahanan kemiringan (grade resistance) alat angkut pada setiap segmen jalan berbeda-beda, berdasarkan penelitian di lapangan terdapat beberapa segmen jalan yang menunjukkan amblesan roda yang relatif dalam, sehingga hal ini perlu dilakukan perkerasan dan perawatan jalan.

Pada lokasi penelitian data diperoleh dengan mengukur amblesan atau jejak ban pada setiap segmen saat truk bermuatan dan truk kosong. Nilai amblesan tersebut diambil menggunakan penggaris pada setiap segmen setelah jalan dilalui oleh alat angkut dan dinyatakan dalam cm. Semakin tinggi amblesan roda atau ban alat angkut pada permukaan jalan akan mengakibatkan berkurangnya laju kendaraan dan menambah daya tarik mesin. Dari hasil amblesan tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kebutuhan rimpull untuk tahanan gelinding dan tahanan kemiringan

Berdasarkan data amblesan jalan yang diperoleh, dilakukan perhitungan tahanan gelinding (rolling resistance) dan tahanan kemiringan (grade resistance) saat alat kondisi bermuatan maupun alat kondisi kosong. Nilai tersebut yang akan digunakan untuk kebutuhan perhitungan analisis rimpull untuk setiap segmen jalan. Penjumlahan tahanan gelinding (rolling resistance) dan tahanan kemiringan (grade resistance) persegmen jalan akan diperoleh nilai total resistance. Analisis rimpull bertujuan untuk mengurangi waktu edar alat angkut sehingga produktivitas dari alat angkut dapat lebih optimal.

Tabel 2 Tahanan Gelinding dan Tahanan Kemiringan Fleet 3004

Segmen Jalan	Truk Muatan		Truk Kosongan	
	Rimpull untuk RR (lb)	Rimpull untuk GR (lb)	Rimpull untuk RR (lb)	Rimpull untuk GR (lb)
A-B	38768,51	-1430,82	16090,75	681,70
B-C	31855,21	36403,36	10857,78	-17344,01
C-D	23405,62	27215,03	8442,57	-12966,32
D-E	24173,76	17077,33	8442,57	-8136,32
E-F	19564,89	10708,92	6832,43	-5102,15
F-G	16492,31	-16381,27	13273,00	7804,69
G-H	14956,02	-23358,60	15688,21	11128,97

Tabel 3 Tahanan Gelinding dan Tahanan Kemiringan Fleet 3005

Segmen Jalan	Truk Muatan		Truk Kosongan	
	Rimpull untuk RR (lb)	Rimpull untuk GR (lb)	Rimpull untuk RR (lb)	Rimpull untuk GR (lb)
M-N	38000,36	9021,32	13273,00	-4298,11
N-O	38768,51	13774,34	8442,57	-6562,64
O-P	33391,50	6505,82	10857,78	-3099,63
P-Q	16492,31	-20773,93	13273,00	9897,53
Q-R	16492,31	-9028,79	12065,39	4301,68
R-S	31087,06	-11572,57	13273,00	5513,63
S-T	41072,94	7680,69	12467,92	-3659,38
T-U	28782,63	9162,47	10052,71	-4365,37
U-V	28782,63	8321,45	9247,64	-3964,67

Tabel 4 Tahanan Gelinding dan Tahanan Kemiringan Fleet 3006

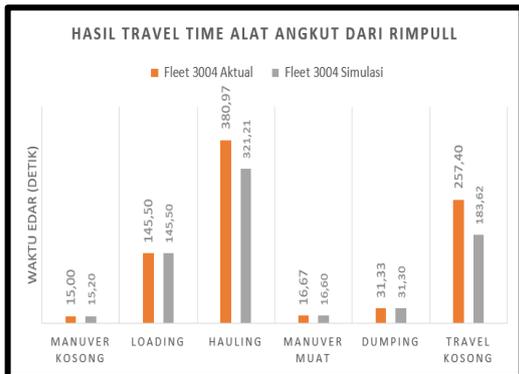
Segmen Jalan	Truk Muatan		Truk Kosongan	
	Rimpull untuk RR (lb)	Rimpull untuk GR (lb)	Rimpull untuk RR (lb)	Rimpull untuk GR (lb)
L-K	31855,21	6423,60	10455,25	-3060,46
K-J	31087,06	4995,37	12467,92	-2379,99
J-I	33391,50	34477,95	10857,78	-16426,67
I-D	28014,48	13284,67	8442,57	-6329,35
D-E	24173,76	17077,33	8442,57	-8136,32
E-F	19564,89	10708,92	6832,43	-5102,15
F-G	16492,31	-16381,27	13273,00	7804,69
G-H	14956,02	-23358,60	15688,21	11128,97

g. Analisis Rimpull

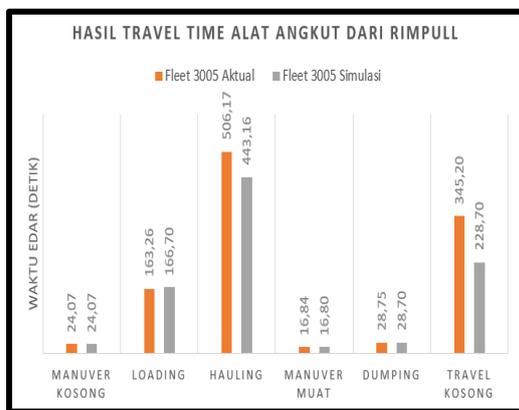
Besarnya rimpull disesuaikan dengan kondisi alat angkut, kecepatan pada setiap gear, efisiensi alat angkut dan tenaga mesin. Alat angkut Rigid Truck Belaz 75135 dengan berat alat 100,1 ton dan berat muatan sebesar 110 ton, sehingga berat total alat bermuatan sebesar 210,1 ton. Rimpull terbesar terdapat pada gear pertama yaitu 60.426,54 lb. Semakin besar beban dan tahanan yang diterima alat angkut, semakin besar nilai rimpull yang digunakan, begitu juga sebaliknya.

Dari hasil pengambilan data di lapangan, didBerdasarkan analisis rimpull tersebut diperoleh nilai travel time optimal dari alat angkut saat melakukan pengangkutan material dan saat kembali ke front penambangan. Melalui simulasi rimpull terjadi penurunan waktu edar alat angkut pada pengangkutan material (hauling) dan kembali ke lokasi penambangan (travel kosong), penurunan waktu edar ini akan berdampak pada peningkatan produktivitas dari alat angkut. Simulasi rimpull dapat memberikan peran penting dalam meningkatkan efisiensi operasi dan peningkatan hasil produksi. Hasil

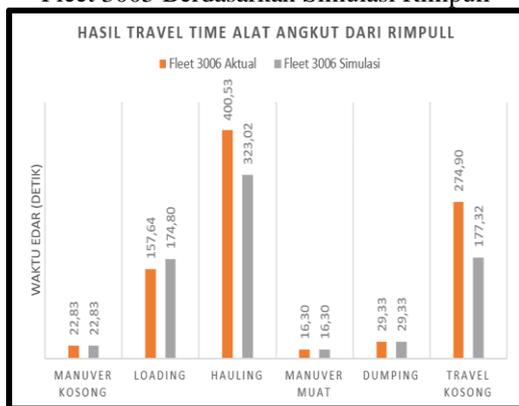
pemilihan gear dari simulasi rimpull juga dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk operator dalam mengoptimalkan pengoperasian alat



Gambar 14 Hasil Travel Time Alat Angkut Fleet 3004 Berdasarkan Simulasi Rimpull



Gambar 15 Hasil Travel Time Alat Angkut Fleet 3005 Berdasarkan Simulasi Rimpull



Gambar 16 Hasil Travel Time Alat Angkut Fleet 3006 Berdasarkan Simulasi Rimpull

h. Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca

Perhitungan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca (GRK) dilakukan dalam upaya mendukung program SDGs pada aspek lingkungan untuk melakukan optimalisasi terhadap konsumsi energi dan emisi gas rumah

kaca (GRK) yang dihasilkan oleh proses pembongkaran overburden. Perhitungan konsumsi energi dan gas rumah kaca dilakukan untuk mengetahui jumlah konsumsi energi dan gas rumah kaca (CO₂, NO₂, dan CH₄) dalam kegiatan pengupasan overburden. Potensi pencemaran lingkungan yang dapat terjadi akibat kegiatan penambangan batubara salah satunya adalah peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK).

Pada kegiatan pengupasan overburden salah satu sumber emisi utama dari hasil pembakaran bahan bakar minyak (BBM) alat angkut dan penggunaan bahan bakar listrik oleh alat gali muat. Konsumsi bahan bakar yang digunakan merupakan data historis konsumsi bahan bakar pada perusahaan dalam satuan liter/jam untuk alat angkut dan Kwh untuk alat gali muat. Perhitungan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca menggunakan jumlah konsumsi bahan bakar dan fuel ratio dikalikan dengan faktor emisi yang berpanduan dari Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Tabel 5 Faktor Emisi Solar

Keterangan	Faktor Emisi (Kg/TJ)
Karbon Dioksida (CO ₂)	74100
Metana (CH ₄)	3,9
Dinitrogen Oksida (N ₂ O)	3,9

Tabel 6 Nilai Calorific Value

Keterangan	Calorific Value
Solar (MJ/liter)	35,99
Listrik (MJ/Kwh)	3,6

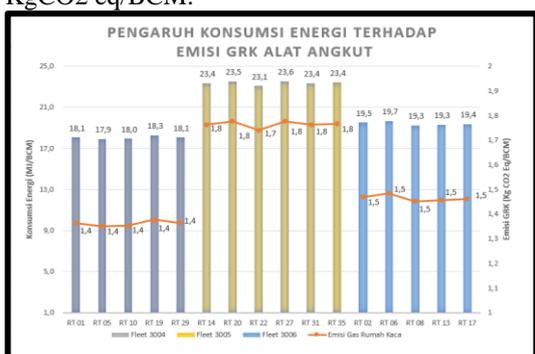
Tabel 7 Nilai Faktor Emisi Listrik

Keterangan	Faktor Emisi (KgCO ₂ eq/Kwh)
Listrik	0,8

Pada penelitian ini didapatkan bahwa semakin tinggi tingkat konsumsi energi maka produksi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan juga semakin tinggi, begitu pula sebaliknya. Perhitungan untuk mendapatkan angka konsumsi energi dalam setiap produksi 1 BCM (Lampiran Q) overburden mengacu pada persamaan pada panduan IPCC. Perhitungan emisi gas rumah kaca yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar dari alat mekanis. Emisi yang terdapat gas rumah kaca yaitu emisi dari gas CO₂, NO₂, dan CH₄. Hasil Perhitungan tersebut dikonversikan menjadi CO₂ dan selanjutnya akan disebut sebagai CO₂ equivalent. Hal ini bertujuan untuk menjumlahkan emisi non CO₂, seperti NO₂, dan CH₄. Penjumlahan emisi non CO₂ dengan mengkonversi gas non CO₂ dikali dengan nilai GWP (Global Warming Potential). Nilai GWP NO₂ sebesar 310, dan CH₄ memiliki nilai GWP sebesar 21 yang apabila dikalikan akan menjadi

nilai CO2 equivalent. Nilai GWP ini adalah nilai yang menentukan seberapa besar peran gas tertentu dalam global warming.

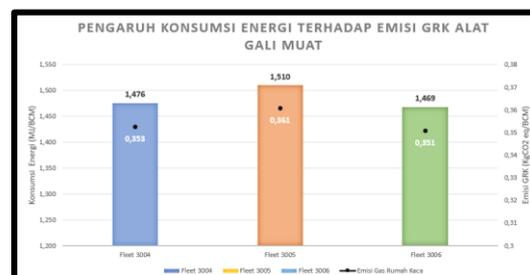
Pada alat angkut, konsumsi bahan bakar juga bergantung terhadap jarak tempuh. Semakin jauh jarak tempuh maka konsumsi bahan bakar yang digunakan akan semakin tinggi beserta peningkatan nilai fuel ratio. Pengaruh konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari setiap BCM pengupasan overburden dapat dilihat bahwa apabila dilakukan peningkatan efisiensi energi pada alat angkut bisa berkontribusi terhadap pengurangan laju emisi gas rumah kaca yang diperoleh. Rata-rata konsumsi energi yang tinggi terdapat pada fleet 3005 yaitu sebesar 23,6 MJ/BCM dengan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan 1,8 KgCO2 eq/BCM. Dari hasil analisis terhadap perhitungan konsumsi energi dan produksi emisi gas rumah kaca, diperoleh rata-rata konsumsi energi alat angkut dalam memproduksi overburden sebesar 20,290 MJ/BCM dengan produksi emisi gas rumah kaca sebesar 1,531 KgCO2 eq/BCM.



Gambar 17 Pengaruh Konsumsi Energi Terhadap Emisi GRK Alat Angkut

Pada Alat Gali Muat, Alat Gali-Muat yang digunakan merupakan electric shovel yang menggunakan bahan bakar listrik sebagai penggerakannya. Energi listrik yang diperoleh untuk menggerakkan electric shovel berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) milik PT Bukit Asam Sendiri. Alat Gali-Muat yang digunakan merupakan electric shovel yang menggunakan bahan bakar listrik sebagai penggerakannya. Energi listrik yang diperoleh untuk menggerakkan electric shovel berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) milik PT Bukit Asam Sendiri. Berdasarkan perhitungan didapat bahwa konsumsi energi berkorelasi positif terhadap produksi emisi gas rumah kaca, semakin tinggi konsumsi energi alat gali muat maka emisi gas rumah kaca yang dihasilkan akan semakin tinggi. Konsumsi energi

tertinggi terdapat pada fleet 3005 yaitu sebesar 1,51 MJ/BCM dengan emisi yang dihasilkan 0,36 Kg CO2 eq/BCM. Dari perhitungan diperoleh rata-rata konsumsi energi alat gali-muat dalam memproduksi overburden sebesar 1,48 MJ/BCM dengan produksi emisi gas rumah kaca sebesar 0,35 KgCO2 eq/BCM.



Gambar 18 Pengaruh Konsumsi Energi Terhadap Konsumsi GRK Alat Gali Muat

Pembahasan

1. Analisis Faktor Penghambat Produksi

a. Kondisi Front Penambangan

Dimensi area front penambangan sangat mempengaruhi kinerja dari alat gali-muat maupun alat angkut yang beroperasi pada kegiatan pembongkaran overburden terutama terhadap waktu edar dari alat. Kondisi front penambangan cukup baik, namun akan lebih baik lagi apabila front dirapikan dengan cara membersihkan material-material sisa yang menyebabkan area tersebut menjadi bergelombang menggunakan dozer. Selain itu disetiap awal kegiatan operasi penambangan dilakukan perawatan berupa penambahan material yang lebih keras terhadap area front penambangan untuk menghindari terjadinya slip pada alat angkut saat melakukan kegiatan loading. Dimensi area front penambangan dapat mempengaruhi waktu yang dibutuhkan alat angkut dalam melakukan manuver loading, berdasarkan spesifikasi alat gali muat dan alat angkut yang digunakan pada pengupasan lapisan overburden di Pit 3 Banko Tengah PT Bukit Asam Tbk diperoleh lebar minimum front penambangan sebesar 30 m.

b. Pola Pemuatan

Berdasarkan jumlah penempatan posisi alat angkut menggunakan single spotting atau single backup, teknik pemuatan ini dapat mengakibatkan waktu tunggu untuk alat gali muat yang lain hingga dump truck sebelumnya meninggalkan area loading, solusi agar tidak terjadi waktu tunggu antar alat angkut dengan menggunakan double backup atau double spotting sehingga alat angkut yang lain dapat memosisikan diri untuk dimuati ketika dump truck pertama sedang dimuati material sehingga

shovel dapat langsung melakukan pengisian pada dump truck kedua. Namun, masalah apabila menggunakan teknik double backup karena shovel Komatsu PC3000E-6 Elektrik yang digunakan merupakan alat gali-muat yang menggunakan energi listrik sebagai penggerak utamanya sehingga terdapat kabel power di belakang shovel yang harus dihindari agar tidak terlindas oleh dump truck, selain itu sisi sebelah kanan shovel merupakan sisi blind spot dari kabin operator shovel yang dapat mengakibatkan tabrakan antara alat gali-muat dengan alat angkut, sehingga pola double spotting sulit untuk diterapkan pada front kerja shovel.

c. Waktu Edar

Cycle Time alat mekanis sangat berpengaruh terhadap produktivitas dari alat gali-muat dan alat angkut. Waktu Edar alat gali-muat dalam operasi pembongkaran overburden dipengaruhi oleh kondisi material, jarak penggalian, dan sudut putar alat. Material tanah yang memiliki fragmentasi baik akan memudahkan pada kegiatan penggalian yang dilakukan oleh shovel, namun apabila material tidak memiliki fragmentasi yang baik maka diperlukan alat support seperti ripper untuk memberai material agar mudah dimuat oleh shovel. Selain itu, jangkauan penggalian maksimum tidak lebih dari 10 m agar pengisian bucket dapat dilakukan secara optimal, serta tinggi material yang digali tidak melebihi tinggi jenjang. Dikarenakan alat gali muat yang digunakan adalah Komatsu PC 3000E-6 Elektrik yang mengakibatkan alat tidak leluasa dalam melakukan pergerakan, maka diperlukan excavator PC 200 sebagai alat support untuk mengangkat dan memindahkan kabel dari shovel. Selain itu sudut putar alat gali-muat pada kegiatan loading material diupayakan tidak lebih dari 135° agar dapat mengoptimalkan waktu swing.

Waktu edar alat angkut dipengaruhi oleh geometri jalan angkut, kepadatan lalu lintas jalan angkut, kondisi jalan angkut (jalan bergelombang), serta alat pendukung tambang yang memakai jalur angkut seperti water truck dan grader yang dapat menghambat perjalanan alat angkut. Peningkatan waktu edar oleh alat gali muat maupun oleh alat angkut akan berdampak terhadap produktivitas alat dalam beroperasi. Semakin tinggi waktu edar alat dalam beroperasi maka produktivitas yang dihasilkan oleh alat tersebut akan semakin kecil.

d. Geometri Jalan Angkut

Lebar jalan angkut memiliki pengaruh terhadap kecepatan kendaraan pada kegiatan hauling dan

traveling. Dengan lebar jalan yang sesuai waktu yang terbuang karena menunggu alat angkut lain dapat diminimalkan. Geometri jalan yang tidak sesuai dengan standar dapat menghambat ketercapaian produksi alat angkut serta mempengaruhi cycle time dari alat angkut. Setelah dilakukan penyesuaian lebar jalan angkut yang digunakan diharapkan dapat memperlancar kegiatan hauling dan traveling pada saat pemindahan overburden sehingga menurunkan waktu hauling, waktu travelling, waktu antri, serta waktu menggantung alat gali-muat akibat menunggu alat angkut untuk dimuati. Selain itu, lebar jalan yang sesuai dapat memudahkan kendaraan bergerak aman dan stabil, sehingga meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengemudi alat tersebut. Selain itu, perbaikan lain yang dapat dilakukan adalah penyesuaian nilai superelevasi pada setiap tikungan yaitu sebesar 4% dengan penerapan yang dilakukan yaitu menambah beda tinggi pada sisi luar tikungan 0,919 m yang disesuaikan dengan sisi dalam tikungan.

Pada lokasi Pit 3 Banko tengah PT Bukit Asam Tbk secara keseluruhan memiliki kondisi kemiringan jalan yang baik, kemiringan jalan angkut terkecil pada segment A-B dengan nilai 0,34% dan kemiringan jalan angkut terbesar yaitu 8,7 % pada segmen B-C yang apabila didasarkan dengan Kepmen ESDM 1827K/MEM/2018 kemiringan maksimal jalan angkut yang baik memiliki kemiringan maksimum 12%. Namun, berdasarkan ketetapan perusahaan yang mengharuskan kemiringan jalan angkut maksimum 8%.

e. Waktu Kerja Efektif

Penyebab rendahnya waktu kerja efektif salah satunya karena adanya waktu kehilangan yang diakibatkan hambatan-hambatan yang ada. Hambatan tidak dapat ditekan tidak dapat diminimalisir, namun untuk hambatan dapat ditekan dapat diminimalisir dengan cara dilakukan optimalisasi terhadap waktu yang ada. Dengan adanya optimalisasi waktu terhadap hambatan yang dapat ditekan, maka waktu kerja efektif akan meningkat sehingga dapat meningkatkan produksi yang akan dicapai.

Hambatan-hambatan yang mengakibatkan hambatan kerja tertinggi diakibatkan oleh curah hujan yang tinggi yang setelahnya perlu dilakukan sliperry setiap kali turun hujan untuk perawatan jalan dan pemindahan spoil yang berada di sisi jalan. Hambatan change shift dapat ditekan dengan peningkatan kedisiplinan operator untuk datang dan kembali ke parkir alat mekanis tepat waktu dan telah siap untuk

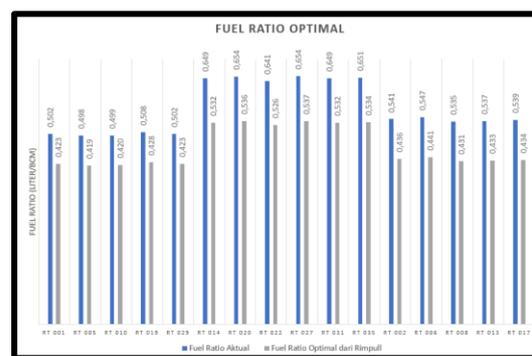
pergantian operator pada saat pergantian shift, selain itu ketersediaan supir LV dilokasi untuk mengantar operator ke lokasi alat akan beroperasi serta perbaikan jalan keluar dari change shift area untuk mengurangi kepadatan saat alat keluar lokasi change shift area dan membuat kebijakan keberangkatan bus operator dari change shift area ke pool tambang setelah semua operator sudah lengkap, hal ini untuk menciptakan rasa tenang bagi operator agar tidak tertinggal bus ke pool tambang ataupun ke site.

Hambatan seperti move equipment dan refueling dapat ditekan dengan cara dilakukan pada jam istirahat. Hal ini dilakukan agar pada saat alat beroperasi tidak terdapat hambatan-hambatan yang mampu mengurangi waktu kerja efektif alat. Hambatan yang disebabkan problem kelistrikan dapat dioptimalkan dengan melakukan pengecekan setiap waktu istirahat kerja oleh tim kelistrikan. Waktu sliperry termasuk salah satu hambatan kerja tertinggi. Waktu sliperry yang tinggi ini diakibatkan kekurangan alat support seperti dozer dan grader di beberapa titik kerusakan jalan akibat hujan sehingga harus menunggu alat tiba untuk dilakukannya sliperry. Pengoptimalan waktu sliperry dilakukan dengan mengacu pada ketetapan perusahaan yaitu maksimal waktu sliperry selama 2 jam setiap kali terjadi hujan dengan melakukan penempatan alat support di beberapa titik jalan angkut agar dapat menekan lamanya waktu sliperry.

Optimalisasi Fuel Ratio Alat Angkut

Perbandingan antara banyak bahan bakar yang dikonsumsi setiap jam dengan produktivitas setiap jam menghasilkan perbandingan rasio bahan bakar atau fuel ratio dalam satuan liter/BCM. Fuel ratio ini dapat menjadi gambaran tentang bagaimana operasi produksi berlangsung terhadap bahan bakar yang digunakan. Semakin tinggi fuel ratio, maka semakin banyak juga bahan bakar yang diperlukan untuk pengangkutan overburden. Salah satu faktor yang menyebabkan tingginya konsumsi bahan bakar dalam kegiatan produksi overburden adalah tingginya waktu edar pada alat mekanis. Dengan demikian dengan melakukan pengoptimalan terhadap cycle time alat mekanis maka terjadi peningkatan produktivitas dari alat dan penurunan nilai fuel ratio. Berdasarkan penurunan waktu edar alat angkut dari simulasi rimpull akan meningkatkan produktivitas alat angkut dalam pengangkut overburden. Pada fleet 3004 produktivitas aktual diperoleh sebesar 165,18 BCM/jam, setelah dilakukan simulasi rimpull diperoleh produktivitas alat angkut

sebesar 196,11 BCM/jam, pada fleet 3005 produktivitas aktual diperoleh sebesar 127,65 BCM/jam, setelah dilakukan simulasi rimpull diperoleh produktivitas alat angkut sebesar 155,69 BCM/jam, dan pada fleet 3006 produktivitas aktual diperoleh sebesar 153,23 BCM/jam, setelah dilakukan simulasi rimpull diperoleh produktivitas alat angkut sebesar 190,16 BCM/jam

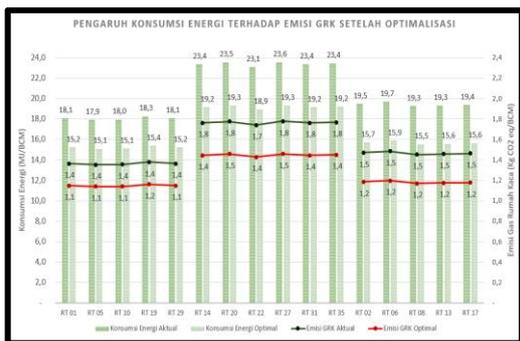


Gambar 19 Fuel Ratio Optimal dari Simulasi Rimpull

Optimalisasi Konsumsi Energi dan Gas Rumah Kaca

1. Alat Angkut

Berdasarkan keadaan aktual sebelum dilakukan optimalisasi, konsumsi rata-rata bahan bakar minyak alat angkut sebesar 82,85 liter/jam, sehingga diperoleh bahwa untuk melakukan kegiatan pembongkaran overburden dibutuhkan konsumsi bahan bakar 19,50 liter dalam 1 ritase, namun setelah dilakukan optimalisasi waktu edar terdapat penurunan konsumsi bahan bakar yaitu sebesar 16,42 liter dalam 1 ritase. Pada fleet 3005 sebelum dioptimalkan dibutuhkan konsumsi bahan bakar sebesar 24,96 liter dalam 1 ritase, setelah dioptimalkan terjadi penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 20,49 liter. Pada fleet 3006 sebelum dioptimalkan dibutuhkan konsumsi bahan bakar sebesar 20,71 liter dalam 1 ritase, setelah dioptimalkan terjadi penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 16,69 liter. Dapat dilihat jarak berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar. Semakin jauh jarak yang ditempuh, semakin banyak bahan bakar yang digunakan. Dengan demikian intensitas konsumsi energi terhadap produksi emisi gas rumah kaca dipengaruhi terhadap jarak tempuh dari alat angkut dari front penambangan menuju disposal.



Gambar 20 Pengaruh Konsumsi Energi Terhadap Emisi GRK Setelah Optimalisasi

Berdasarkan penurunan konsumsi bahan bakar setelah dilakukannya optimalisasi terhadap cycle time alat angkut menggunakan simulasi rimpull berdampak terhadap pengurangan biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi overburden dalam 1 ritase. Apabila menggunakan asumsi harga bahan bakar solar industri per bulan januari 2024 untuk wilayah zona 1 sebesar Rp. 18.950,00/liter, maka diperoleh penurunan biaya berdasarkan penurunan konsumsi bahan bakar dalam 1 ritase.

Tabel 8 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Optimal

Keterangan	3004	3005	3006
Aktual (Rp/ritase)	Rp 354.127,26	Rp 436.049,49	Rp 378.747,78
Optimal (Rp/ritase)	Rp 311.198,03	Rp 359.348,63	Rp 323.287,61

2. Alat Gali Muat

Alat Gali Muat yang digunakan yaitu Komatsu Shovel PC 3000 Elektrik yang mana merupakan salah satu program elektrifikasi yang sedang dijalankan oleh PT Bukit Asam Tbk dalam upaya peralihan penggunaan bahan bakar minyak menjadi berbasis listrik. Penggunaan alat gali muat electric shovel ini dapat meningkatkan efisiensi operasional, pengendalian biaya operasional, dan juga penekanan konsumsi energi serta emisi Gas Rumah Kaca yang dihasilkan oleh mesin diesel berbahan bakar solar. Dengan menggunakan electric shovel dapat meminimalisir hambatan berupa pengisian bahan bakar (refueling) ditengah jam operasional.

Perhitungan dilakukan pada konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca pada electric shovel menggunakan konsumsi listrik per jam (Kwh) dikalikan dengan faktor emisi dari alat diesel listrik. Dikarenakan pada electric shovel konsumsi bahan bakar operasional menggunakan energi listrik atau sama dengan konsumsi energi.

Tabel 9 Emisi GRK Electric Shovel

Keterangan	3004	3005	3006
Konsumsi Listrik (Kwh/jam)	447,97	444,54	446,87
Produksi CO ₂ (KgCO ₂ eq/jam)	385,25	382,30	384,31
Konsumsi Energi (MJ/jam)	1.612,7	1.600,3	1.608,7

Penggunaan electric shovel memiliki kelebihan berupa penekanan biaya operasional dari konsumsi bahan bakar menjadi energi listrik dimana biaya untuk penggunaan energi listrik lebih murah dibandingkan dengan konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Apabila membandingkan biaya konsumsi bahan bakar minyak dengan asumsi harga bahan bakar solar industri per bulan januari 2024 untuk wilayah zona 1 sebesar Rp. 18.950,00/liter dan harga konsumsi listrik golongan industri besar golongan 1-4/Tegangan Tinggi (TT) sebesar Rp 996,74/Kwh. Konsumsi listrik Shovel Komatsu PC 3000E-6 Elektrik berdasarkan data historis perusahaan sedangkan konsumsi bahan bakar Shovel Komatsu PC 3000E-6 Diesel berdasarkan Handbook Komatsu edisi 32.

Tabel 10 Perbandingan Biaya Shovel Diesel dan Shovel Elektrik

Shovel Komatsu PC 3000E-6 Elektrik			Shovel Komatsu PC 3000E-6 Diesel		
Konsumsi Listrik (Kwh/jam)	Biaya Listrik Industri (Rp/Kwh)	Biaya Total (Rp/jam)	Konsumsi BBM (Lt/jam)	Harga BBM Industri (Rp/Lt)	Biaya Total (Rp/jam)
446,5	996,74	445.451,00	184	18.950,00	3.486.800,00

Berdasarkan perhitungan biaya tersebut dapat dilihat bahwa penggunaan electric shovel dapat menekan biaya produksi salah satunya konsumsi bahan bakar sebesar Rp 3.041.349,00/jam. Dengan demikian penggunaan shovel electric dapat menjadi langkah penghematan biaya produksi. Selain itu, penggunaan bahan bakar minyak akan lebih banyak menyumbang emisi gas rumah kaca dikarenakan konsumsi energi yang lebih tinggi dalam pembakaran bahan bakar.

Tabel 11 Perbandingan Produksi GRK Diesel Shovel dan Elektrik Shovel

Alat	Emisi Gas Rumah Kaca (KgCo ₂ eq/jam)	Konsumsi Energi (MJ/jam)
Shovel Komatsu PC 3000E-6 Diesel	491,28	16.068,10
Shovel Komatsu PC 3000E-6 Elektrik	383,96	1.607,25

3. Optimalisasi Emisi GRK dalam SDGs di Pertambangan

Pertambangan memiliki peran penting dalam mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), terutama dalam aspek lingkungan, dengan menekan konsumsi energi dan mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Pada penelitian ini dilakukan optimalisasi konsumsi energi untuk menekan peningkatan emisi gas

rumah kaca (GRK) yang dihasilkan oleh kegiatan pengupasan overburden di Pit 3 Banko Tengah. PT Bukit Asam (PTBA) menjalankan berbagai program elektrifikasi dan inisiatif lainnya sebagai bagian dari komitmennya terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca dan optimalisasi penggunaan energi dalam operasi penambangannya. Melalui program ini, PTBA berperan aktif dalam mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya dalam aspek lingkungan untuk menekan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca, serta memastikan bahwa operasional penambangannya tetap berkelanjutan dan ramah lingkungan. Melalui optimalisasi energi dapat berkontribusi terhadap penekanan laju produksi emisi gas rumah kaca (GRK). Optimalisasi pada pengurangan emisi GRK ini melupakan salah satu langkah mitigasi perubahan iklim. Optimalisasi emisi GRK dalam pertambangan tidak hanya berkontribusi terhadap pencapaian SDGs tetapi juga membawa manfaat ekonomi dan sosial yang signifikan bagi perusahaan dan masyarakat sekitarnya.

Selain komitmen terhadap program Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), optimalisasi konsumsi energi ini juga merupakan komitmen terhadap perjanjian Paris (Paris Agreement) yang telah disepakati pada tahun 2015 yang bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan membatasi kenaikan suhu global hingga dibawah 20 C diatas tingkat pra-industri, dengan upaya lebih lanjut untuk membatasi kenaikan suhu hingga 1,50 C sehingga industri pertambangan memiliki peran penting dalam mendukung tujuan tersebut dengan melakukan pengurangan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh proses penambangan serta peralihan elektrifikasi peralatan. Dengan berkomitmen terhadap hal ini, perusahaan pertambangan tidak hanya berkontribusi dalam mencapai tujuan Perjanjian Paris tetapi juga memastikan operasi yang lebih berkelanjutan dan efisien.

Pada penelitian ini, langkah optimalisasi konsumsi energi adalah dengan penekanan konsumsi bahan bakar dalam memproduksi overburden, melalui penekanan terhadap rasio bahan bakar, konsumsi energi yang dihasilkan akan lebih sedikit yang berpengaruh terhadap penurunan emisi gas rumah kaca (GRK). Selain itu, penggunaan peralatan elektrik pada alat gali muat memberikan dampak besar terhadap penekanan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dibandingkan dengan

menggunakan alat gali muat diesel yang menggunakan bahan bakar dari fosil.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Faktor-faktor yang mengakibatkan target produksi tidak tercapai karena banyaknya faktor yang menghambat produksi yang menyebabkan berkurangnya waktu kerja efektif, faktor utama dalam hambatan tersebut adalah hujan yang cukup panjang. Selain itu, beberapa faktor lain yang menyebabkan produksi tidak tercapai yaitu seperti lebar front dan geometri jalan angkut di beberapa segmen tidak sesuai standar yang mengakibatkan peningkatan waktu edar alat mekanis.
2. Berdasarkan simulasi rimpull diperoleh fuel ratio optimal, pada fleet 3004 rata-rata fuel ratio aktual 0,502 liter/BCM dan dapat dioptimalkan menjadi 0,423 liter/BCM, pada fleet 3005 fuel ratio aktual 0,650 liter/BCM dan dapat dioptimalkan menjadi 0,533 liter/BCM, dan pada fleet 3006 fuel ratio aktual dari 0,540 liter/BCM dapat dioptimalkan menjadi 0,435 liter/BCM..
3. Pada alat angkut diperoleh rata-rata konsumsi energi dalam produksi overburden sebesar 20,290 MJ/BCM dengan produksi emisi gas rumah kaca sebesar 1,531 KgCO₂ eq/BCM. Pada alat gali muat menggunakan bahan bakar listrik sehingga diperoleh nilai konsumsi energi dan produksi emisi gas rumah kaca yang lebih kecil. Diperoleh konsumsi energi rata-rata dalam produksi overburden sebesar 1,48 MJ/BCM dengan produksi emisi gas rumah kaca sebesar 0,35 KgCO₂ eq/BCM.

Saran

1. Perlu dilakukan perbaikan geometri jalan, penyesuaian lebar kondisi front kerja alat, dan melakukan optimalisasi terhadap waktu hambatan yang mengurangi waktu kerja efektif.
2. Melakukan monitoring *cycle speed* alat angkut oleh tim dispatcher agar dapat menekan waktu edar alat angkut untuk meningkatkan produktivitas dari alat angkut dan menurunkan fuel ratio.
3. Melakukan optimalisasi terhadap penggunaan bahan bakar agar dapat menekan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan

REFERENSI

- AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). 1973. *Manual Rural High Way Design*. Washington, DC
- Akbar, M. Kresna. (2020). *Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut dan Geometri Jalan Angkut Pengupasan Overburden di Pit 3 Timur Banko Barat PT Bukit Asam Tbk* (Laporan Tugas Akhir, Universitas Sriwijaya) p.67-75
- Frudis, I. E., Mardiah, M., & Pitulima, J., 2018. *Kajian Teknis Alat Gali-Muat dan Alat Angkut Pada Pencapaian Pengupasan Overburden 1.120.000 BCM Di Pit Taman Tambang Air Laya Bulan September 2016 PT Bukit Asam (Persero) Tbk*. Mineral, 3(1),p. 66-73
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning & Design 3rd Edition – Fundamental: vol 1*. CRC Press/Balkema: Netherland, p.310-319.
- Ilham, Syahnan & Rifandy, Akhmad. (2019). *Kajian Produksi Material Batuan Penutup (Overburden) pada PT. Kaltim Batumanunggal Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur*. *Jurnal Geologi Pertambangan*. Volume.26 No.2
- Indonesianto, Y. 2014. *Pemindahan Tanah Mekanis*. Jurusan Teknik Pertambangan, UPN “Veteran” Yogyakarta. Yogyakarta. p. 8, 51-52, 60, 120-125
- Ismail, Amrizarois. (2022). *Kajian Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Perkembangan Teknologi Elektrifikasi Baterai Ponsel Pintar*. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Vol.4 No. 2
- Kaufman, W.W., dan J.C. Ault, 1977, *Design of Surface Mine Haulage Roads – A Manual*, USBM IC 8758. p.17
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Jakarta. p.98-99
- Klanfar, M. 2021. *Influence of Crushed Rock Properties on the Productivity of a Hydraulic Excavator*. *Applied Sciences*, 11(5), p.6.
- Kramawijaya, Agung Ghani. (2017). *Kajian Emisi Partikulat dan Gas Dari Suatu Pertambangan Nikel di Halmahera Tengah*. *Jurnal Rekayasa Hijau* ISSN 2250-1070 No.2 Vol.1
- Lendra, Lendra., Sintani,Lelo., Gawei, Apria Brita Pandohop.(2022). *Analisis Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pekerjaan Konstruksi Jalan Dengan Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku*. *Jurnal Reka Lingkungan*. Vol. 10 No. 3 Hal. 201-211
- Mushaffa, Yahya. 2023. *Evaluasi Fuel Ratio Alat Angkut Komatsu HD 465 Menggunakan Metode One Way Anova dan Regresi Linear Pada Area Penambangan Batubara PT. Berkat Anugerah Sejahtera*. (Skripsi, UPN “Veteran” Yogyakarta). p.48
- Oemiati, N., Revisdah., & Rahmawati. 2020. *Analisa Produktivitas Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Pada Pengupasan Lapisan Tanah Penutup (Overburden)*. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 6(3), p.199.
- Romi, Ahmad Zaki., Hidayat, Robbi., Pranata, Okta Robian., & Desliwandi. (2019). *Pemanfaatan Teknologi Elektrifikasi Pada Alat Gali Muat Operasional Penambangan*. PROSIDING TPT XXVIII PERHAPI.
- Setyawan, S., Rahmawati, D., & Atmaja, G. D. 2019. *Kajian Teknis Kebutuhan Alat Gali-Muat Dan Alat Angkut Pada Tambang Batu Andesit PT. Rangka Eka Pratama, Kabupaten Dompu*. *Jurnal Ulul Albab*, 24(1), p.15.
- Suwandhi, Awang, 2004, *Diklat Perencanaan Tambang Terbuka*, Universitas Islam Bandung. p.2-5
- Tannant, Dwayne D. & Regensburg, Bruce. (2001). *Guidelines for Mine Haul Road Design*. Okanagan: University of British Columbia.p.18-21
- Tiarani, Velida Lustria., Sutrisno, Endro., & Huboyo, Haryono Setyo. (2016). *Kajian*

Beban Emisi Pencemar Udara (TSP, NO_x, SO₂, HC, CO) Dan Gas Rumah Kaca (CO₂, CH₄, N₂O) Sektor Transportasi Darat Kota Yogyakarta Dengan Metode Tier 1 dan Tier 2. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol 5. No 1

Topal,E., & Ramazan,S. (2010). *A New MIP model for mine equipment scheduling by minimizing maintenance cost. European Jurnal of Operational Research, 207(2),p.1065-1071.*

_____. 2019. *Komatsu Specification & Application Handbook, Edition32.* Komatsu Ltd.

_____. 2020. *Mine Dump Truck BELAZ-75135 of Payload Capacity 110 Tonnes.* Minsk, Republic of Belarus: Belaz Holding, p.1-2.