



Optimasi Biaya Produksi *Overburden* dan *Kaksa* Menggunakan Program *Linear* dan *Bunching Effect*

Arjuna Tampubolon*

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung, Indonesia.

ARTICLE INFO

Article history :

Received : 10/2/2023

Revised : 20/6/2023

Published : 17/7/2023



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Volume : 3

No. : 1

Halaman : 27-34

Terbitan : Juli 2023

ABSTRAK

Permasalahan di lokasi penelitian menunjukkan belum tercapainya produksi, sehingga menyebabkan tingginya biaya operasional penambangan. Tujuan dilakukan penelitian guna meningkatkan target produksi terhadap biaya operasional yang dikeluarkan menggunakan nilai tukar rupiah dengan asumsi 1\$ = Rp 14.300. Metode penelitian menggunakan program *linear* dan *bunching effect*. Pengambilan data dilakukan dengan menghitung jumlah alat operasional penambangan yang tersedia serta data *cycle time* diambil sebanyak 270 data pada 3 *fleet* penambangan. Produktivitas aktual yang dihasilkan sebesar 328,49 BCM/jam dengan biaya produksi aktual sebesar \$2,35 USD/BCM dengan target yang sudah ditetapkan sebesar 500 BCM/jam. Hasil kondisi aktual perlu dilakukan tindakan perbaikan dengan melakukan optimasi jumlah alat angkut yang akan dipakai menggunakan aplikasi *POM for Windows* yaitu jumlah alat angkut yang dipakai sebanyak 10 unit dengan produksi sebesar 520,22 BCM/jam dan biaya produksi sebesar \$1,6 USD/BCM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemakaian 10 unit alat angkut menghasilkan produksi yang optimal dengan biaya yang minimum dibandingkan dengan pemakaian 9 unit alat angkut. Hilangnya waktu yang dialami alat angkut akibat adanya *bunching effect* sebesar 7 jam/bulan karena terdapat perbedaan daya mesin pada alat angkut, keterampilan operator yang berbeda-beda, terdapatnya undulasi jalan, genangan air pada permukaan jalan dan geometri jalan tambang yang tidak ideal.

Kata Kunci : Cycle Time; Produktivitas; Bunching Effect.

ABSTRACT

Problems at the research location indicate that production has not been achieved, causing high mining operational costs. The aim of this research is to increase production targets for operational costs incurred using the rupiah exchange rate with the assumption that 1\$ = Rp. 14,300. The research method uses linear programming and the bunching effect. Data collection was carried by calculating the number of available mining operational tools and cycle time data is taken as much as 270 data on 3 mining fleets. The actual productivity generated is 328.49 BCM/hour with an actual production cost of \$2.35 USD/BCM with a predetermined target of 500 BCM/hour. The results of the actual conditions need to be corrected by optimizing the number of conveyances to be used using the POM for Windows application, namely the number of conveyances used is 10 units with a production of 520.22 BCM/hour and a production cost of \$1.6 USD/BCM. The results showed that the use of 10 units of means of transportation resulted in optimal production with minimum costs compared to the use of 9 units of means of transportation. The loss of time experienced by the transportation equipment due to the bunching effect is 7 hours/month due to differences in engine power on the transportation equipment, different operator skills, undulations street and puddles on the road surface, non-ideal mine road geometry.

Keywords : Cycle Time; Productivity; Bunching Effect.

A. Pendahuluan

Salah satu dari banyaknya sumber daya alam yang dimiliki Indonesia adalah bijih timah. Perusahaan ini bergerak dibidang pertambangan bijih timah. Dalam memenuhi peningkatan permintaan bijih timah, maka setiap kegiatan produksinya dituntut untuk lebih efektif dan efisien. Menurut Di et al [1][2], pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*) merupakan salah satu kegiatan yang sangat mempengaruhi dalam operasional penambangan, makin cepat kegiatan pengupasan *overburden* maka kegiatan penambangan akan sesuai dengan target yang ditetapkan. Menurut Rochmanhadi [3], skala yang besar menjadikan produksi perusahaan tambang menggunakan peralatan mekanis, untuk memudahkan dalam kegiatan produksinya. Menurut Kadir [4], alat yang digunakan adalah *Articulated Dump Truck 400* dan *Excavator PC 300* yang digunakan khususnya pada penambangan tambang terbuka. Menurut Atika et al [5], perhitungan produktivitas suatu alat dibutuhkan beberapa data antara lain data waktu edar/*cycle time*, *fill factor* (faktor pengisian), *swell factor* (faktor pengembangan material), kapasitas *bucket* (didapatkan dari *handbook* spesifikasi alat), efisiensi kerja alat, serta banyaknya jumlah *swing* alat gali-muat dalam pengisian bak *vessel* alat angkut. PT MSP memiliki target produksi setiap jamnya sebesar 500 BCM/jam untuk memproduksi pengupasan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa*. Realisasi produksi pengupasan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa* pada bulan November tidak mencapai target produksi sebesar 328,49 BCM/jam (65%). Target produksi diharapkan dapat tercapai dengan lebih mudah dalam waktu yang efektif.

Permasalahan pada PT MSP tidak tercapainya target produksi pada alat gali – muat dan alat angkut dikarenakan adanya hambatan seperti genangan air, undulasi jalan, lebar geometri jalan, dan perbedaan daya mesin pada unit alat angkut, sehingga menyebabkan terjadinya *bunching effect*. Menurut Zeng [6], alat angkut mengalami tambahan waktu pengangkutan dikenal dengan istilah *bunching time* yang tidak layak untuk melewati alat angkut lainnya karena pada perusahaan PT MSP menerapkan satu jalur tambang dengan satu rute. Menurut Burt, dkk [7], *bunching effect* dapat terjadi ketika dua atau lebih alat angkut dengan efisiensi kerja yang berbeda-beda bergerak dalam satu rute yang sama.

Hal tersebut dapat menyebabkan alat angkut yang bergerak lebih cepat (lebih efisien) akan terhambat di belakang alat angkut yang bergerak lebih lambat (kurang efisien), sehingga menimbulkan tidak serasinya kerja alat pada alat gali-muat dan alat angkut. Menurut Setiawan, dan Farid [8], nilai *bunching time* rata-rata pada tiap alat angkut mewakili seluruh data *cycle time* alat angkut merupakan waktu hambatan yang dibutuhkan oleh masing-masing alat mekanis untuk melakukan kegiatan per siklusnya.

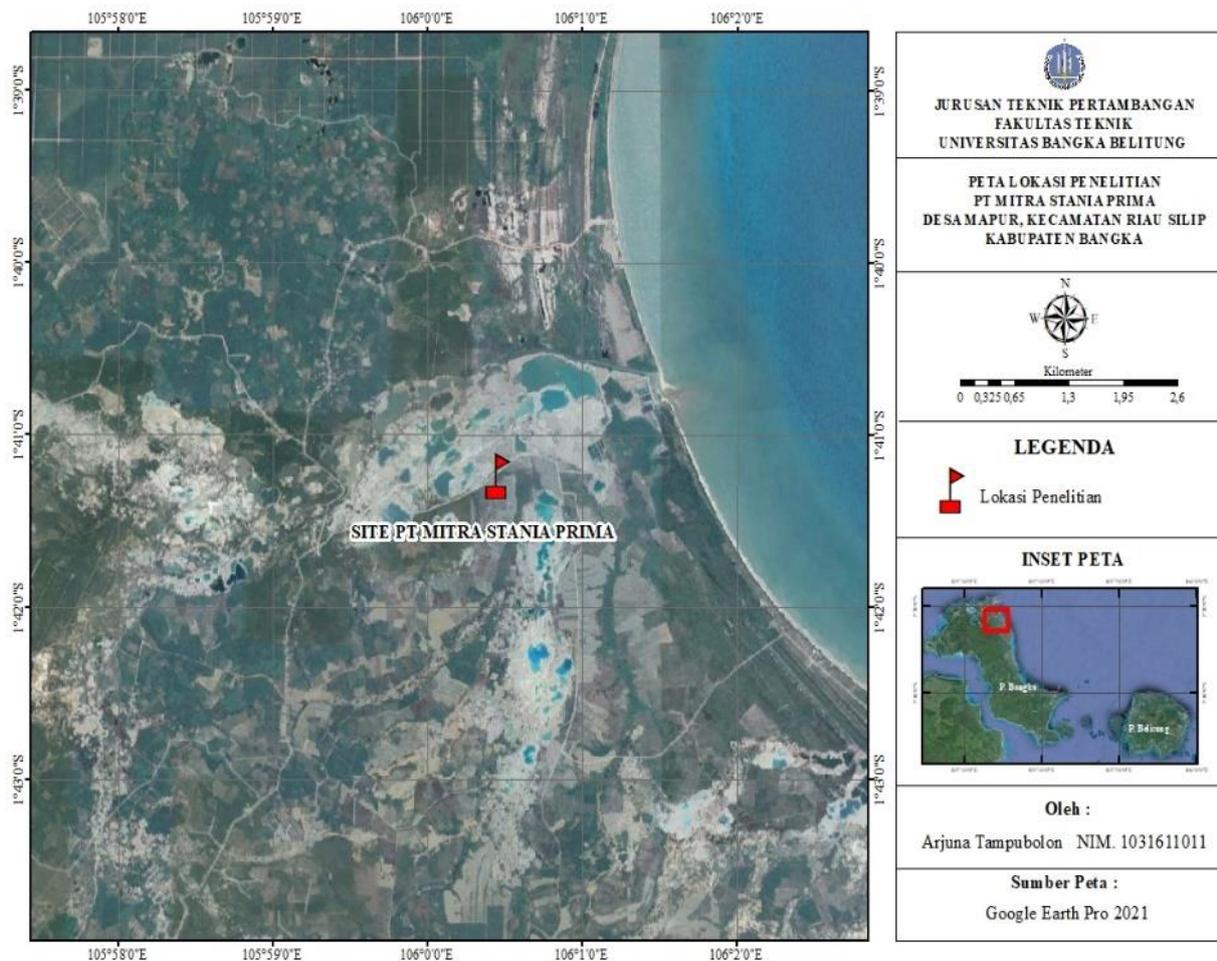
Menurut Rao [9], optimasi pengoptimalan produktivitas dengan biaya minimum yang salah satunya menggunakan metode program *linear* yang diterapkan untuk pemecahan masalah tersebut. Menurut Rafflesia, dan Widodo [10], pengaplikasian program *linear* dapat digunakan dalam berbagai bidang termasuk dalam menyelesaikan persoalan yang bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan atau meminimumkan biaya pada produksi. Menurut Istiqamah, dan Gusman [11], upaya memberikan rekomendasi untuk mengoptimalkan produktivitas alat, sehingga penggunaan alat dapat dioptimalkan sesuai dengan jam kerja yang telah ditetapkan agar tidak terjadi kelebihan pembiayaan produksi dan produksi dapat mencapai target yang telah direncanakan. Menurut Morgan, dan Peterson [12], dalam perhitungan *fleet matching* keadaan tidak serasi dapat diselesaikan dengan menambahkan atau mengurangi jumlah dump truck dalam sebuah *fleet* penambangan.

Upaya optimasi biaya produksi alat gali-muat dan alat angkut menjadi hal penting untuk dilakukan agar kegiatan pengupasan dan pengangkutan lapisan *kaksa* di PT Mitra Stania Prima dapat tercapai.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT Mitra Stania Prima yang terletak di Desa Mapur, Kecamatan Riau Silip, Kabupaten Bangka. Akses menuju lokasi kegiatan dari Ibu Kota Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Kota Pangkalpinang menuju Kecamatan Riau Silip, Ibu Kota Kabupaten Bangka. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan dari tanggal 25 Oktober 2021 – 22 Desember 2021. Penelitian dilakukan sesuai dengan jam operasional kantor. Dalam kegiatan penelitian ini ada beberapa tahapan penelitian meliputi: Data kegiatan yang dilakukan dengan pengamatan langsung ke lapangan (data aktual) terhadap jumlah alat angkut dan alat gali-muat yang tersedia, waktu edar (*cycle time*) pada alat angkut dan alat gali – muat. Sedangkan data sekunder berupa spesifikasi alat gali – muat dan alat angkut, biaya operasional alat, biaya bahan bakar solar (*fuel*), jam

kerja alat, dan data *fleet* penambangan. Pengolahan data yang dilakukan untuk mendapatkan nilai optimasi biaya produksi alat gali-muat dan alat angkut oleh PT Mitra Stania Prima. Secara garis besar proses pengolahan data meliputi menghitung efisiensi kerja alat, produktivitas aktual pada alat gali – muat dan alat angkut, biaya produksi aktual unit penggalian dan pengangkutan, serta melakukan perbaikan pada alat angkut dengan menambahkan pengisian jumlah *bucket*, kecepatan pada alat angkut menjadi 9,5 km/jam, dan menganalisis nilai *bunching time* yang dihasilkan dari unit pengangkutan kemudian dilakukan pendekatan menggunakan *POM (Production Operation Manager) For Windows* guna mendapatkan hasil optimasi biaya produksi pada produksi *overburden* dan lapisan *kaksa*.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

C. Hasil dan Pembahasan

Dalam menghitung produktivitas aktual unit pengupasan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa* memperhatikan penggunaan efektif yang menunjukkan hilangnya jam kerja alat karena beberapa hambatan. Hambatan yang terjadi pada unit pengangkutan PT MSP menyebabkan efisiensi kerja pada unit alat angkut tidak optimal. Hambatan yang terjadi saat penelitian karena perbaikan jalan tambang atau laminasi jalan dengan menambahkan *tailing* pada jalan tambang yang diakibatkan hujan, sehingga terbuangnya waktu untuk unit alat pengangkutan. Waktu kerja yang tersedia pada unit pengupasan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa* sebanyak 252 jam/bulan. Kondisi area kerja yang mempengaruhi nilai produktivitas aktual mengakibatkan perbedaan efisiensi kerja dan *cycle time* unit pengangkutan terhadap hasil produktivitas aktual.

Tabel 1. Produktivitas Aktual Unit Pengangkutan

No	Fleet	Efisiensi Kerja	Cycle time (detik)	Produktivitas aktual (BCM/jam)
1	Fleet 1	74%	1.087,56	28,29
2	Fleet 2	73%	747,40	46,41
3	Fleet 3	72%	784,70	38,05

Produktivitas aktual berdasarkan pengamatan di lapangan pada *fleet* 1 dengan perwakilan 1 unit ADT menghasilkan 74% efisiensi kerja, *cycle time* alat angkut sebesar 1.087,56 detik jarak dari *fleet loading* menuju *hopper* pencucian *kaksa* sejauh 1200 m dan nilai produktivitasnya yaitu 28,29 BCM/jam, pada *fleet* 2 terdapat 3 unit alat angkut dengan perwakilan 1 unit ADT menghasilkan 73% efisiensi kerja, *cycle time* alat angkut sebesar 747,40 detik jarak dari *fleet loading* menuju *disposal* sejauh 800 m dan nilai produktivitasnya yaitu 46,41 BCM/jam, pada *fleet* 3 terdapat 2 unit alat angkut dengan perwakilan 1 unit ADT menghasilkan 72% efisiensi kerja, *cycle time* alat sebesar 784,70 detik dan nilai produktivitasnya sebesar 38,05 BCM/jam dengan jarak 900 m menuju *disposal*.

Biaya produksi aktual merupakan biaya produksi yang dikeluarkan oleh PT Mitra Stania Prima secara langsung pada saat dilakukannya proses operasional unit pengangkutan. Hasil perhitungan produktivitas pengangkutan lapisan *kaksa* pada unit pengangkutan, PT MSP menyediakan bahan bakar solar, sedangkan untuk unit ADT sendiri PT MSP menyewa 9 unit alat angkut pada proses pengupasan lapisan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa*. Sebelum mengetahui biaya produksi aktual, maka terlebih dahulu menghitung rincian biaya *hauling cost* dan *loading cost*, biaya bahan bakar yang diperlukan untuk menghitung biaya produksi aktual. Produksi yang dihasilkan dan biaya *hauling cost* dan *loading cost* aktual yang dikeluarkan PT Mitra Stania Prima (Tabel 2).

Tabel 2. Produksi dan Biaya Aktual Alat Gali-Muat dan Alat Angkut

Fleet	Cost Excavator/ jam/unit (\$)	Cost ADT/jam/unit (\$)	Jumlah Unit ADT	Total Produktivitas (BCM/jam)	Total Cost/Fleet (USD/jam)
Fleet 1	27,75	41,62	4	113,16	194,23
Fleet 2	31,21	41,62	3	139,23	156,07
Fleet 3	27,75	41,62	2	76,1	110,99
Total			9	328,49	461,29
Biaya Produksi Aktual					\$1,4 (USD/BCM)

Pada biaya *hauling cost* dan *loading cost* aktual dapat diketahui bahwa *fleet* 1 dengan produksi 28,29 BCM/jam menggunakan 4 unit ADT dan 1 unit *excavator* dengan biaya sewa alat angkut \$41,62 USD/jam dan alat gali-muat \$27,75 USD/jam, sehingga biaya yang dikeluarkan sebesar \$194,23 USD/jam, *fleet* 2 dengan produksi 46,41 BCM/jam menggunakan 3 unit ADT dan 1 unit *excavator* dengan biaya sewa alat angkut \$41,62 USD/jam dan alat gali-muat \$31,21 USD/jam, sehingga biaya yang dikeluarkan sebesar \$156,07 USD/jam, *fleet* 3 dengan produksi 38,05 BCM/jam menggunakan 2 unit ADT dan 1 unit *excavator* dengan biaya sewa alat angkut \$41,62 USD/jam dan alat gali-muat \$27,75 USD/jam, sehingga biaya sebesar \$110,99 USD/jam. Biaya produksi aktual yang dikeluarkan PT Mitra Stania Prima sebesar \$1,4 USD/BCM belum termasuk biaya penyediaan bahan bakar solar. Proses operasional pengupasan *overburden* dan pengangkutan *kaksa*, PT Mitra Stania Prima menyediakan bahan bakar solar (*fuel*) aktual (Tabel 3).

Tabel 3. Biaya Aktual Bahan Bakar Solar

Unit	Jumlah unit	Cost fuel (Rp/jam)	Total produktivitas
ADT Terex	9	3.264.300,-	328,49 BCM/jam
PC 300 Komatsu 06	1	379.080,-	
Hyundai 480	1	409.500,-	
CAT 329	1	413.478,-	
Total	12	4.466.358,-	
Total biaya bahan bakar aktual (fuel)		Rp 13.596,63,- /BCM	
Total biaya bahan bakar aktual (fuel)		\$0,95 USD/BCM	

Biaya aktual bahan bakar solar yang dikeluarkan untuk kegiatan penambangan pada pengupasan lapisan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa* sebesar Rp 13.596,63,-/BCM atau \$0,95 USD/BCM. Biaya produksi aktual ditambahkan dengan biaya bahan bakar solar (*fuel*) sebesar \$1,4 USD/BCM + \$0,95 USD/BCM, sehingga didapatkan hasil biaya produksi sebesar \$2,35 USD/BCM dengan pemakaian sebanyak 9 unit alat angkut dan 3 unit *excavator*.

Upaya Optimasi Biaya Produksi Menggunakan POM for Windows

Upaya peningkatan yang dilakukan untuk memperbaiki nilai produktivitas pada operasional pengupasan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa* dengan menambahkan kecepatan pada alat angkut menjadi 9,5 km/jam, dan menambahkan isian *bucket* pada alat angkut. Dalam menentukan jumlah alat angkut yang optimal dengan tujuan peningkatan produksi dan biaya minimum dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi *POM for Windows* pada module *Linear Programming* dengan menentukan :

Variabel – variabel Persoalan

X_1 = Jumlah ADT Ex 1

X_2 = Jumlah ADT Ex 2

X_3 = Jumlah ADT Ex 3

Variabel Batasan

$P_1X_1 \geq 150$

$P_2X_2 \geq 200$

$P_3X_3 \geq 150$

Fungsi Tujuan

$Z_{min} = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3$

Setelah menentukan syarat-syarat pada modul *Linear Programming*, lalu mendapatkan hasil optimasi untuk penggunaan unit alat angkut yang optimal. Hasil yang dikeluarkan pada aplikasi *POM for Windows* menunjukkan bahwa penggunaan alat angkut yang optimal sebesar 10 unit. Jumlah optimasi setelah perbaikan ADT yang diperoleh dari analisis *linear programming*, maka dapat dihitung jumlah produksi yang dihasilkan merupakan perkalian antara jumlah unit yang tersedia dengan per jam.

Tabel 4. Produksi dan Biaya Produksi menggunakan *POM For Windows*

Fleet	Cost excavator/ jam/unit (\$)	Cost ADT/jam/ unit (\$)	Jumlah unit ADT	Total produktivitas (BCM/jam)	Total Cost/fleet (\$/jam)
PC 300 Komatsu 06	27,75	41,62	4	158	194,23
Hyundai 480	31,21	41,62	3	209,85	156,07

CAT 329	27,75	41,62	3	152,37	152,61
Total			10	520,22	502,91
Biaya Produksi setelah perbaikan dengan <i>POM For Windows</i>				\$0,96 (USD/BCM)	

Perhitungan biaya produksi setelah perbaikan berdasarkan analisa *linear programming* pada *fleet 1* senilai \$194,23 USD/jam lebih besar dibandingkan dengan *fleet 3* yang senilai \$152,61 USD/jam dikarenakan pada *fleet 1* menggunakan 4 unit alat angkut, dan pada *fleet 2* senilai \$156,07 USD/jam. Biaya produksi setelah perbaikan dengan *POM for Windows* adalah \$0,96 USD/BCM dengan 10 unit alat angkut. Biaya bahan bakar berdasarkan *POM for Windows* pada operasional pengupasan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa*.

Tabel 5. Biaya Bahan Bakar (*Fuel*) Menggunakan *POM for Windows*

Unit	Jumlah unit	Cost fuel (Rp/jam)	Total produktivitas
ADT Terex	10	3.627.000,-	
PC 300 Komatsu 06	1	379.080,-	
Hyundai 480	1	409.500,-	520,22 BCM/jam
CAT 329	1	413.478,-	
Total	13	4.829.058,-	
Total biaya bahan bakar setelah perbaikan (<i>fuel</i>)		Rp 9.282,72,- /BCM	
Total biaya bahan bakar setelah perbaikan (<i>fuel</i>)		\$0,64 USD/BCM	

Penggunaan perangkat lunak *POM for Windows* menunjukkan perbedaan antara produktivitas, biaya produksi, dan biaya bahan bakar (*fuel*) pada data aktual dan data perbaikan dengan perolehan optimasi jumlah alat angkut dari 9 unit dan 10 unit dengan biaya produksi yang dikeluarkan dari \$1,4 USD/BCM menjadi \$0,96 USD/BCM, untuk biaya bahan bakar solar (*fuel*) dari \$0,95 USD/BCM menjadi \$0,64 USD/BCM. Total biaya *Cost Mining Operation* pengupasan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa* pada PT Mitra Stania Prima dari \$2,35 USD/jam menjadi \$1,6 USD/BCM. Dengan demikian metode *linear programming* dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam melakukan optimasi terhadap penggunaan alat angkut, sehingga Menurut Prasmoro, dan Hasibuan [13], *linear programming* dapat dijadikan sebagai alternatif dalam menentukan jumlah alat angkut yang paling mencapai target produksi.

Analisis *Bunching Effect*

Pada tambang terbuka skala besar, biasanya terdiri dari berbagai jenis alat angkut dengan variasi kecepatan dan performa yang berbeda-beda. Interaksi antar alat angkut ini sering kali mengakibatkan *bunching time* diperjalanan, dikarenakan alat angkut dengan kecepatan lebih cepat (lebih efisien) akan tertahan oleh alat angkut yang lebih lambat dan tidak diperbolehkan untuk menyusul, karena *cycle time* alat angkut yang lebih cepat akan bertambah dengan adanya *bunching time*. Nilai *bunching time* alat angkut pada PT MSP memberikan dampak pada produksi alat angkut untuk hasil produksi dan biaya produksi aktual.

Tabel 6. Nilai *Bunching Time* pada *Cycle Time* Alat Angkut

<i>Fleet</i>	Jumlah Unit ADT	Arah Tujuan	Segmen Jalan	<i>Bunching Time</i> (detik)
<i>Fleet 1 (Kaksa)</i>	4 unit	Pulang	Segmen I	21
			Segmen I	18
<i>Fleet 2 (Overburden 1)</i> &	3 unit &	Pergi &	Segmen II	13
			Segmen III	1
<i>Fleet 3 (Overburden 2)</i>	2 unit	Pulang	Segmen III	20
			Segmen II	26
			Segmen I	5

Waktu *bunching time* yang dihasilkan alat angkut 104 detik untuk per 20 menitnya karena di dalam proses selanjutnya terjadi perulangan setelah 20 menit berikutnya. Waktu *bunching time* yang didapat untuk perharinya 901 detik/hari, untuk perbulannya 25.228 detik/bulan, maka hilangnya waktu *bunching time* sebesar 7 jam/bulan. Waktu *bunching time* ini sangat mempengaruhi proses operasional alat gali-muat dan alat angkut, sehingga tidak tercapainya waktu optimal pada alat angkut itu sendiri.

Terjadinya *bunching time* ini akibat perbedaan kecepatan tiap alat angkut dan kondisi jalan yang kurang memadai dapat dikurangi dengan memakai satu jenis daya mesin yang sama dan penggunaan alat *dozzer* untuk memperbaiki jalan. Pada umumnya *bunching time* tidak hanya disebabkan oleh satu buah faktor melainkan beberapa faktor yang terjadi secara bersamaan. Faktor lain seperti keterampilan operator yang berbeda-beda, terdapatnya undulasi dan genangan air pada permukaan jalan, geometri jalan tambang yang tidak ideal dan kurangnya ketersediaan bahan permukaan jalan yang sesuai dengan kuantitas dan kualitas yang dibutuhkan seperti penggunaan *tailing* sebagai bahan pengeras jalan.

D. Kesimpulan

Nilai Produktivitas aktual yang dihasilkan alat gali – muat dan alat angkut pada produksi *kaksa* dan *overburden* sebesar 328,49 BCM/jam dengan biaya produksi sebesar \$2,35 USD/BCM. Optimasi produksi yang dihasilkan sebesar 520,22 BCM/jam dan total *Mining Cost Operation* pada pengupasan *overburden* dan pengangkutan lapisan *kaksa* dengan menggunakan modul *Linear Programming* pada aplikasi *POM for Windows* sebesar \$1,6 USD/BCM. Nilai *bunching effect* yang dialami alat angkut sebesar 7 jam/bulan, karena pada *fleet 1 kaksa* berdasarkan *cycle time* memberikan nilai *bunching time* yang lebih besar dibandingkan dengan *fleet 2* dan *fleet 3* disebabkan karena pemakaian jumlah alat angkut yang berbeda daya mesinnya, dan jalan pada *fleet 1* terdapat sedikit genangan air.

Daftar Pustaka

- [1] O. Di, P. Eagle, P. T. Bumi, and K. Makmur, “Studi Optimasi Produksi Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pada Kegiatan Pengupasan Overburden Menggunakan Metode Match Factor Berdasarkan Efisiensi Biaya,” vol. 7, no. 3, pp. 1–13, 2022.
- [2] Abdulah, Y. Ashari, and Maryanto, “Rencana Produksi Pengangkutan Overburden Berdasarkan Pola Hujan di PT X Site Asam-Asam, Desa Riam Andungan, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, vol. 1, no. 1, pp. 8–21, 2021, doi: 10.29313/jrtp.v1i1.28.
- [3] Rochmanhadi, *Kapasitas dan Produksi Alat – alat Berat*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Badan Pekerjaan Umum, 1982.
- [4] E. Kadir, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Palembang: Universitas Sriwijaya, 2008.
- [5] F. Atika, R. Putri, Y. Dwi, G. Cahyono, and S. Rabin, “Kajian Produktivitas Alat untuk Mengoptimalkan Hasil Produksi Overburden di PT. Karebet Mas Indonesia Site Kutai Energi Kalimantan Timur (Productivity Study of Tools for Optimizing Overburden Production Results at PT. Karebet Mas Indonesia Site Kutai Energi East Kalimantan),” *PROMINE*, vol. 9, no. 2, pp. 84–91, 2021.
- [6] W. Zeng, *A Simulation Model for Dump Truck – Shovel Operation*. Perth: University of Wollongong, 2018.
- [7] C. Burt, L. Cacceta, S. Hill, and P. Welgama, *Models for Mining Equipment Selection*. Perth: Curtin University of Technology, 2008.
- [8] A. Setiawan and F. Farid, “Artikel Optimalisasi Produksi Alat Gali Muat Cat 330 GCOGC-318 dengan Metode Overall Equipment Effectiveness serta Analisis Six Big Losses pada Pengupasan Overburden : No Unit Excavator CAT 330,” pp. 37–47, Apr. 2022.

- [9] S. S. Rao, *Engineering Optimization: Theory and Practice 4th Edition*, 4th ed. New Jersey: John Wiley and Son's Inc., 2009.
- [10] U. Rafflesia and F. H. Widodo, *Pemrograman Linier*. Bengkulu: Universitas Bengkulu, 2014.
- [11] D. A. Istiqamah and M. Gusman, "Kajian Teknis Optimasi Produksi Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pada Kegiatan Pengupasan Overburden Berdasarkan Efisiensi Biaya Operasional Di Pit Barat PT. Allied Indo Coal Jaya Kota Sawahlunto," *Jurnal Bina Tambang*, vol. 5, no. 1, pp. 61–73, 2019.
- [12] W. C. Morgan and L. L. Peterson, *Determining Shovel Truck Productivity*. New York: Mining Engineering, 1968.
- [13] A. Prasmoro and S. Hasibuan, "Optimasi Kemampuan Produksi Alat Berat Dalam Rangka Produktifitas Dan Keberlanjutan Bisnis Pertambangan Batubara: Studi Kasus Area Pertambangan Kalimantan Timur," *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 1–16, 2018.