

Permodelan kombinasi peralatan mekanis dalam optimalisasi produktivitas armada di PT Semesta Centramas

Modeling of heavy equipment combinations in optimizing fleet productivity at PT Semesta Centramas

Rika Febriyani¹, Eko Santoso², Karina Shella Putri^{3*}, Muhammad Zaini Arief⁴

¹⁻⁴Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

JL. A. Yani KM 35,5 Banjarbaru 70714. Telp 0812-5475-6338

e-mail: ¹Febriyani555@gmail.com, ²karinashella@ulm.ac.id, ³eko@ulm.ac.id, ⁴zaini.arief@ulm.ac.id

ABSTRAK

Kombinasi peralatan mekanis dalam pemindahan overburden yang optimal dapat meminimalkan biaya operasional namun tetap menjaga ketercapaian produktivitasnya. Spasi *ripping* dalam pembongkaran overburden, dapat mempengaruhi produktivitas pemuatan. Skenario spasi *ripping* yang diterapkan adalah 0,3m; 0,6m; 1m; dan 1,2m. Pendekatan model linear programming digunakan untuk mengoptimasi kombinasi peralatan mekanis muat-angkut pada masing-masing skenario. Fungsi objektif ditujukan untuk biaya operasional fleet yang minimum. Fungsi batas antara lain jumlah ketersediaan alat angkut Komatsu HD785 dan HD465, dan pencapaian target produktivitas fleet. Hasil perhitungan produktivitas *ripping* bulldozer Komatsu D375-90 dan excavator Komatsu PC2000-45 berturut-turut antara lain pada spasi 0,3m adalah 961,62 Bcm/jam dan 807,59 Bcm/jam; spasi 0,6m adalah 1266,75 Bcm/jam dan 775,66 Bcm/jam; spasi 1m adalah 2097,56 Bcm/jam dan 727,84 Bcm/jam; spasi 1,2m adalah 2375,43 Bcm/jam dan 700 Bcm/jam. Berdasarkan hasil optimasi didapatkan jumlah unit alat angkut dengan biaya operasional fleet minimum berturut-turut antara lain pada spasi 0,3m yaitu 5 Komatsu HD785, 2 Komatsu HD465, 0,09235 \$/Bcm; spasi 0,6m yaitu 5 Komatsu HD785, 2 Komatsu HD465, 0,09204 \$/Bcm; spasi 1m yaitu 5 Komatsu HD785, 1 Komatsu HD465, 0,07790 \$/Bcm; spasi 1,2 meter yaitu 5 Komatsu HD785, 1 HD45, 0,07792 \$/Bcm.

Kata-kata kunci: linear programming, muat-angkut, overburden, spasi *ripping*

ABSTRACT

The optimal combination of heavy equipment in overburden removal can minimize operational costs while still achieving production. Ripping spacing on overburden removal, can affect loading productivity. The applied ripping spacing scenarios are 0.3m; 0.6m; 1 m; and 1.2m. A linear programming model is used to determine the combination of loading-and-hauling heavy equipment in each scenario. The objective function is directed at minimum fleet operational costs. Constraint functions include the availability of Komatsu HD785 and HD465 units and the achievement of fleet productivity. The calculation results between the productivity of the Komatsu D375-90 bulldozer and the Komatsu PC2000-45 excavator sequentially, among others at 0.3m spacing i.e. 961.62 Bcm/hour, 807.59 Bcm/hour; 0.6m spacing i.e. 1266.75 Bcm/hour, 775.66 Bcm/hour; 1m spacing i.e. 2097.56 Bcm/hour, 727.84 Bcm/hour; 1.2m spacing i.e. 2375.43 Bcm/hour, 700 Bcm/hour. Based on the optimization results, it is obtained the number of hauling units with a minimum fleet operating costs sequentially, among others at 0.3m spacing i.e. 5 Komatsu HD785, 2 Komatsu HD465, 0.09235 \$/Bcm; 0.6 m spacing i.e. 5 Komatsu HD785, 2 Komatsu HD465, 0.09204 \$/Bcm; 1m spacing i.e. 5 Komatsu HD785, 1 Komatsu HD465, 0.07790 \$/Bcm; 1.2 meters spacing i.e. 5 Komatsu HD785, 1 HD45, 0.07792 \$/Bcm.

Keywords: linear programming, loading-and-hauling, overburden, ripping spacing

PENDAHULUAN

Kegiatan yang dapat dijumpai dalam aktivitas penambangan antara lain kegiatan pembongkaran massa batuan, pemuatan, dan pengangkutan. [1, 2]Metode yang digunakan dalam pembongkaran *overburden* antara lain *direct digging*, *ripping* dan *blasting*. [2]*Direct digging* dapat dilakukan pada aktivitas pembongkaran dengan material atau tanah yang lebih lunak. Alternatif lain adalah *direct ripping*, dimana proses pembongkaran dilakukan pada batuan yang lebih keras dengan attachment pada bulldozer berupa kuku (*ripper shank*). [3]Pada beberapa penambangan batubara, pembongkaran interburden dilakukan dengan metode *ripping*, namun jika ketebalan interburden lebih dari 1,5m maka opsi peledakan menjadi pilihan karena pencapaian produktivitas pembongkaran material dalam penambangan sangatlah penting.

Optimasi produksi, biaya, dan jumlah unit dalam armada produksi yang serasi dapat dilakukan menggunakan pendekatan Linear Programming (LP). [4]Pendekatan LP

dapat mengoptimasi kemampuan produksi unit bulldozer pada aktivitas penimbunan overburden di disposal. Batasan yang dilibatkan dalam proses optimasi terdiri dari jam kerja, kapasitas disposal, serta produksi target dan aktual. Jika produksi menjadi objektif maksimal, lain halnya dengan biaya yang merupakan yang menjadi objektif minimal. [5]Optimasi biaya dalam aktivitas pembongkaran overburden dapat mempertimbangkan batasan ketersediaan unit produksi dan pencapaian target produksi. [6]Dalam perencanaan *backfilling* pit penambangan, optimasi dengan LP dapat diterapkan untuk menentukan kebutuhan jumlah unit excavator-truck dan biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi target waktu penyelesaian aktivitas *backfilling*. [7]Komponen biaya unit produksi dapat berupa biaya bahan bakar dan biaya rental unit tersebut. Biaya rental dalam \$/jam dapat dikonversi menjadi \$/BCM dengan mempertimbangkan parameter produktivitas alat tersebut, sehingga biaya merepresentasikan beban produksi yang harus dicapai oleh unit produksi tersebut. [8, 9]Dalam penambangan permukaan, sekitar 50% - 60% biaya operasi dialokasikan untuk pengangkutan material. [10]Sehingga

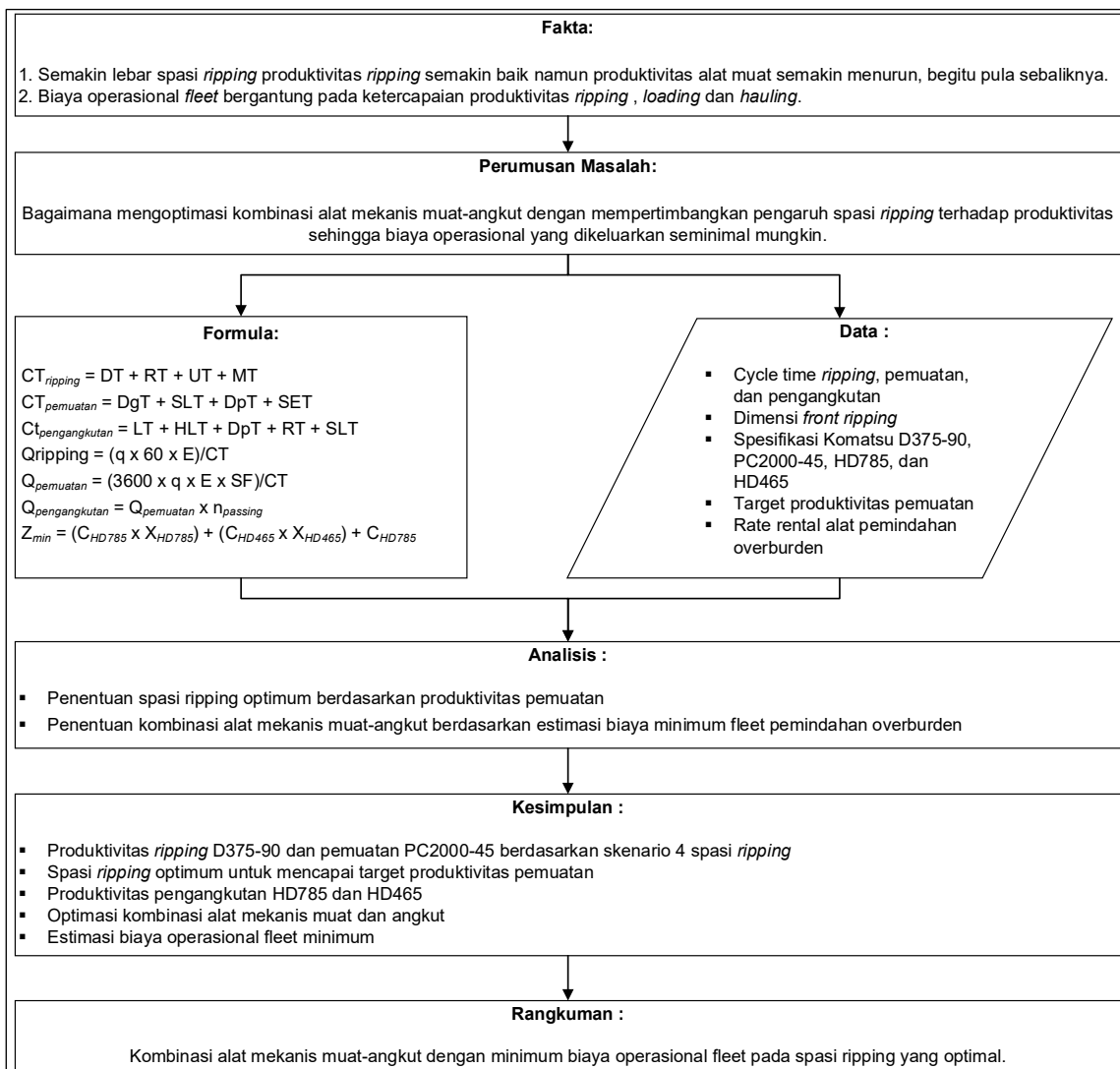
manajemen fleet memberikan dampak yang signifikan terhadap operasi penambangan. [11]Truck dan excavator merupakan peralatan pemindahan mekanis yang paling banyak digunakan dalam industri pertambangan dan kinerjanya saling bergantung satu sama lain. Pendekatan match factor dapat mengukur kompatibilitas armada truk-excavator. [12]Perhitungan rasio produktivitas shovel terhadap produktivitas truk, dan digunakan untuk menentukan jumlah truk yang optimal untuk satu shovel. Produktivitas dalam formula didefinisikan sebagai jumlah bahan yang dihasilkan dalam periode waktu tertentu. [13, 14]Namun dalam penerapannya, fleet penambangan seringkali tidak homogen sehingga persamaan match factor mengalami modifikasi untuk mengakomodir truck-shover yang heterogen. [15]Pada kasus pemuatan dan pengangkutan batubara di stockpile dengan kondisi pengerjaan oleh beberapa sub-kontraktor, unit-unit truck dan loader yang bekerja adalah heterogen.

Pembongkaran *overburden* yang dilakukan pada PT Semesta Centramas, Balangan Coal Group menggunakan metode *ripping* silang dimana hasil *ripping overburden* dapat mempengaruhi produktivitas alat muatnya. Sedangkan pengangkutan *overburden* perlu memperhatikan ketersediaan alat-alat angkut mekanis yang jumlahnya serasi dengan alat muatnya berdasarkan kemampuan produksi alat sehingga dapat menunjang

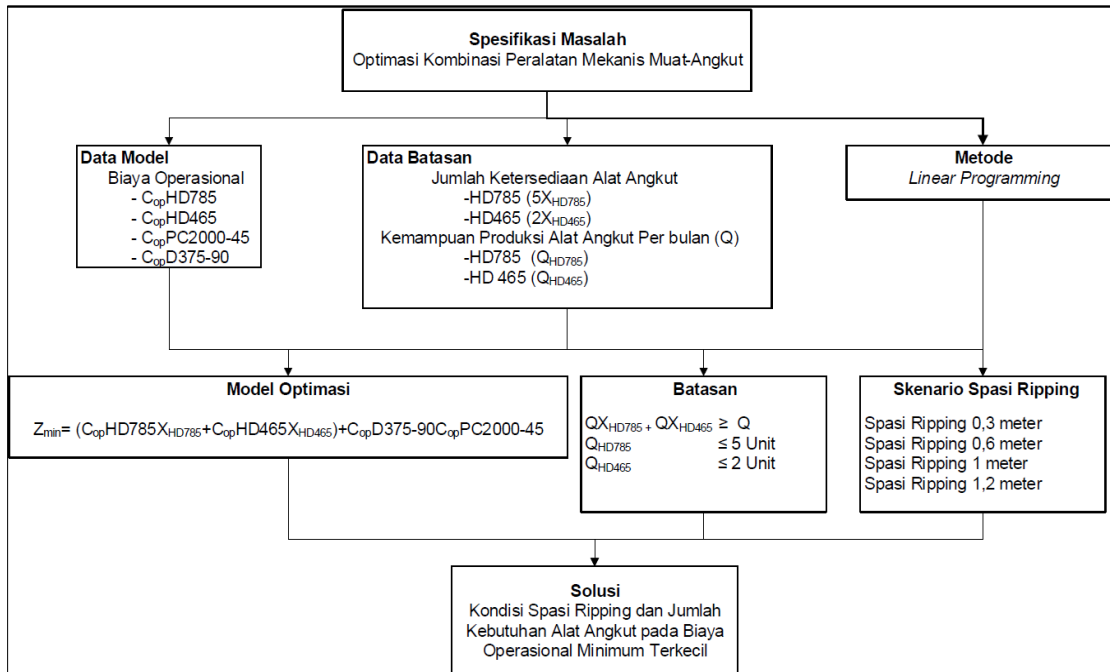
pengoptimalan suatu operasi produksi. Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu menyusun suatu permodelan matematika yang dapat mengoptimasi kombinasi alat mekanis muat-angkut dengan mempertimbangkan pengaruh spasi *ripping* terhadap produktivitas *fleet* sehingga biaya operasional yang dikeluarkan dapat seminimal mungkin.

METODOLOGI

Penelitian ini didasarkan pada 4 skenario spasi *ripping* dimana skenario spasi *ripping* yang pertama yaitu 0,3 meter, skenario spasi *ripping* yang kedua yaitu 0,6 meter, skenario spasi *ripping* yang ketiga yaitu 1 meter dan skenario spasi *ripping* keempat yaitu 1,2 meter. Pengambilan data digunakan untuk melakukan perhitungan produktivitas Komatsu PC2000-45 dan *ripping* Komatsu D375-90 berdasarkan masing-masing skenario spasi *ripping*. Setelah didapatkan nilai produktivitas fleet berdasarkan masing-masing skenario spasi *ripping*, maka akan dioptimasi menggunakan metode *linear programming* pada *solver* di *microsoft excel*, sehingga didapatkan jumlah kebutuhan alat angkut yang digunakan berdasarkan masing-masing skenario spasi *ripping*. Diagram penelitian dapat dilihat pada gambar-1 dan diagram metodologi optimasi dengan *linear programming* dapat dilihat pada gambar-2.



Gambar-1. Diagram penelitian



Gambar-2. Metodologi optimasi kombinasi peralatan mekanis

[16] Ada tiga elemen penting dalam pemrograman linier, yaitu sebagai berikut:

- Variabel keputusan; $X_1, X_2 \dots X_n$ adalah variabel yang nilai-nilainya diilih untuk dibuat keputusan.
- Fungsi tujuan; $Z = f(X_1, X_2 \dots X_n)$ adalah fungsi yang akan dioptimasi (dimaksimumkan atau diminimumkan).
- Pembatasan; $G_i (X_1, X_2 \dots X_n)$ adalah pembatasan-pembatasan yang harus di penuhi.

Berdasarkan data biaya operasional (nilai rental) alat Komatsu PC2000-45, Komatsu HD785 dan HD465, serta Komatsu D375-90, didapatkan model optimasi pada persamaan-1.

$$Z_{min} = (C_{HD785} \times x_{HD785} + C_{HD465} \times x_{HD465}) + C_{PC2000} + C_{D375} \quad (1)$$

dimana Z_{min} merupakan total biaya operasional satu fleet, C merupakan biaya operasi per unit mekanis, dan x merupakan jumlah unit mekanis.

Persamaan matematika dalam batasan-batasan optimasi membutuhkan tingkat produktivitas serta jumlah ketersediaan alat masing-masing unit produksi. [17] Perhitungan produktivitas dalam penelitian menggunakan formulasi pada Handbook Komatsu.

HASIL DAN DISKUSI

Produktivitas Alat Mekanis

Produktivitas *ripping* menggunakan bulldozer, pemuatan menggunakan excavator, dan pengangkutan menggunakan truck, didasarkan pada data cycle time (detik), produksi per siklus (m^3), dan efisiensi kerja. Hasil perhitungan produktivitas berdasarkan masing-masing skenario spasi *ripping* antara lain alat *ripping* Komatsu D375-90 dapat dilihat pada tabel-1, alat muat Komatsu

PC2000-45 pada tabel-2, serta alat angkut Komatsu HD785 dan HD465 dapat dilihat pada tabel-3.

Optimasi Menggunakan Linear Programming

Model matematika yang disusun pada masing-masing skenario spasi *ripping* berdasarkan persamaan-1 dengan biaya operasional sebagai koefisiennya adalah sebagai berikut:

Pada spasi *ripping* 0,3 meter, yaitu:

$$Z_{min} = 0,012075X_{HD785} + 0,013804 X_{HD465} + 0,002637X_{PC2000-45}$$

Pada spasi *ripping* 0,6 meter, yaitu:

$$Z_{min} = 0,012075X_{HD785} + 0,013804 X_{HD465} + 0,002746 X_{PC2000-45}$$

Pada spasi *ripping* 1 meter, yaitu:

$$Z_{min} = 0,012075X_{HD785} + 0,013804 X_{HD465} + 0,002926 X_{PC2000-45}$$

Pada spasi *ripping* 1,2 meter, yaitu:

$$Z_{min} = 0,012075X_{HD785} + 0,013804 X_{HD465} + 0,003034 X_{PC2000-45}$$

Batasan yang digunakan untuk perhitungan optimasi menggunakan metode *linear programming* adalah sebagai berikut:

- Batas Produktivitas Alat Mekanis

Pada spasi 0,3 meter batasan yang digunakan, yaitu:

$$130,02 X_{HD785} + 79,69X_{HD465} \geq 807,59$$

Pada spasi 0,6 meter batasan yang digunakan, yaitu:

$$130,02 X_{HD785} + 79,69X_{HD465} \geq 775,66$$

Pada spasi 1 meter batasan yang digunakan, yaitu:

$$130,02 X_{HD785} + 79,69X_{HD465} \geq 727,84$$

Pada spasi 1,2 meter batasan yang digunakan, yaitu:

$$130,02 X_{HD785} + 79,69X_{HD465} \geq 700,00$$

- Batas Ketersediaan Alat Mekanis

Jumlah unit alat angkut yang tersedia untuk 1 *fleet* penambangan termasuk dalam batasan yang digunakan untuk optimasi, yaitu $HD785 \leq 5$ dan $HD465 \leq 2$.

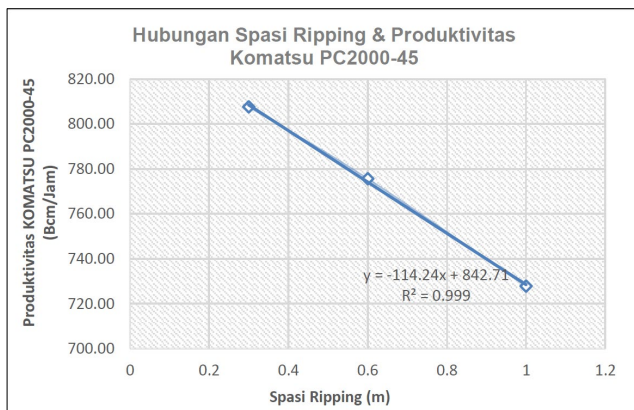
Hasil optimasi berdasarkan permodelan matematika yang dibuat dapat dilihat pada Tabel-4.

Tabel-1. Produktivitas *ripping* Komatsu D375-90

Spasi <i>Ripping</i> (m)	Produktivitas D375-90 (BCM/Jam)
0,3	961,62
0,6	1.266,75
1	2.097,56
1,2	2.375,43

Tabel-2. Produktivitas pemuatan Komatsu PC2000-45

Spasi <i>Ripping</i> (m)	Produktivitas PC2000-45 (BCM/Jam)
0,3	807,59
0,6	775,66
1	727,84
1,2	700,00



Gambar-3. Hubungan spasi *ripping* dan produktivitas pemuatan

Diskusi

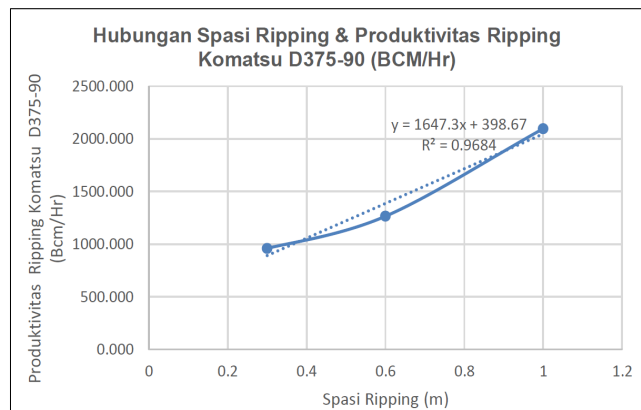
Spasi *ripping* yang digunakan perusahaan adalah 0,6 meter, sedangkan pada saat penelitian spasi *ripping* yang digunakan divariasikan menjadi 3 yaitu 0,3 meter; 0,6 meter; dan 1 meter. Hasil dari perhitungan produktivitas yang didapatkan pada saat menggunakan spasi *ripping* 0,3 meter; 0,6 meter; 1 meter melebihi target produktivitas dari Komatsu PC2000-45. Analisis untuk mencari kemungkinan batas spasi *ripping* yang paling optimal jika produktivitas yang didapatkan sesuai target produktivitas Komatsu PC2000-45 yaitu 700 BCM/Jam ialah dengan cara pendekatan *trendline linear*. Grafik untuk mencari spasi *ripping* optimal dapat dilihat pada gambar-2. Nilai R² yang didapatkan pada gambar-2 adalah 0,999 (hampir mendekati 1) yang berarti persamaan *linear* yang dihasilkan oleh *trendline* dapat digunakan untuk memprediksi nilai spasi *ripping* pada kondisi produktivitas alat muat sebesar 700 Bcm/jam. Spasi *ripping* maksimal agar dapat memenuhi target produktivitas alat gali muat Komatsu PC2000-45 adalah 1,2 meter. Produktivitas *ripping* Komatsu D375-90 untuk spasi *ripping* 0,3 meter; 0,6 meter dan 1 meter sudah diketahui karena dihitung dengan data yang telah diambil pada saat penelitian di lapangan, sedangkan untuk hasil perhitungan spasi *ripping* maksimal yaitu 1,2 meter, maka dilakukan juga perhitungan menggunakan *trendline linear* seperti pada saat perhitungan spasi *ripping* maksimal. Gambar-3 merupakan grafik yang digunakan untuk mencari produktivitas dari spasi *ripping* 1,2 meter. Berdasarkan gambar-3, hasil kedekatan titik-titik data (R²) adalah 0,9684. Hasil produktivitas *ripping* Komatsu D375-90

Tabel-3. Produktivitas pengangkutan Komatsu HD785 & HD465

Tipe Unit	Produktivitas (Bcm/Jam)
Komatsu HD785	130,02
Komatsu HD465	79,69

Tabel-4. Hasil optimasi fleet pembongkaran *overburden*

Spasi <i>Ripping</i> (m)	Produktivitas (BCM/Jam)		Minimum Cost (\$/BCM)	Jumlah Unit HD	
	Ripping	Pemuatan		785	465
0,3	961,62	807,59	0,09235a	5	2
0,6	1.266,75	775,66	0,09204a	5	2
1	2.097,56	727,84	0,07790a	5	1
1,2	2.375,43	700,00	0,07792a	5	1



Gambar-4. Hubungan spasi dan produktivitas *ripping*

untuk spasi *ripping* 1,2 meter yang diperoleh sebesar 2.375,43 BCM/Jam.

Gambar-3 dan gambar-4 menunjukkan bahwa semakin besar spasi *ripping* yang digunakan maka produktivitas *ripping* akan semakin besar, jika menggunakan spasi *ripping* 1 meter material yang berhasil digaruk oleh *ripper* akan lebih banyak karena spasinya lebih besar dan waktu yang diperlukan untuk menggaruk material tersebut lebih sebentar, sedangkan pada produktivitas Komatsu PC2000-45 semakin kecil jika menggunakan spasi 1,2 meter dan alat gali muat akan memerlukan waktu yang lama untuk menggali material hasil *ripping* karena material yang tidak terberai dengan baik akibat spasi yang terlalu besar. Sebaliknya jika spasi *ripping* yang digunakan semakin kecil, maka produktivitas *ripping* akan semakin kecil juga karena spasi nya terlalu rapat sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk menggaruk material dan material yang didapatkan sedikit, berbeda dengan produktivitas Komatsu PC2000-45 jika spasi *ripping*nya lebih kecil maka material hasil *ripping* akan lebih mudah digali oleh alat gali muat karena kondisi material terberai dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara produktivitas *ripping* Komatsu D375-90 dan produktivitas Komatsu PC2000-45 berbanding terbalik.

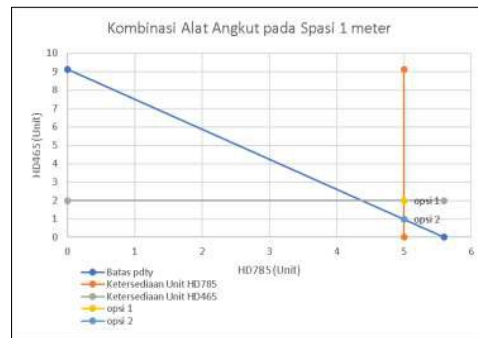
Hasil optimasi jumlah alat angkut yang dibutuhkan pada masing-masing skenario spasi *ripping* dapat dilihat pada gambar-5, gambar-6, gambar-7, dan gambar-8. Gambar-5 menunjukkan bahwa pada spasi *ripping* 0,3 meter dengan produktivitas Komatsu PC2000 yaitu 807,59 BCM/jam, produktivitas Komatsu HD785 yaitu 130,02 BCM/jam dan HD465 yaitu 79,69 BCM/jam, alat angkut

yang digunakan adalah 5 unit Komatsu HD785 dan 2 unit HD465 dengan biaya operasional yang dikeluarkan adalah sebesar 0,09235 \$/BCM. Gambar-6 menunjukkan bahwa pada spasi *ripping* 0,6 meter dengan produktivitas Komatsu PC2000 yaitu 775,66 BCM/jam, produktivitas Komatsu HD785 yaitu 130,02 BCM/jam dan HD465 yaitu 79,69 BCM/jam, alat angkut yang digunakan memiliki 2 opsi yaitu opsi pertama 5 unit Komatsu HD785 dan 2 unit HD465 dengan biaya operasional yang dikeluarkan adalah sebesar 0,09204 \$/BCM dan opsi kedua 5 unit Komatsu HD785 dan 1,6 unit HD465. Berdasarkan batasan yang dimasukkan pada saat optimasi menggunakan *solver* untuk jumlah unit alat harus menggunakan bilangan bulat karena tidak mungkin alat menggunakan pecahan, jadi untuk opsi kedua alat angkut yang digunakan adalah 5 unit Komatsu HD785 dan 2 unit HD465. Gambar-7 menunjukkan bahwa pada spasi *ripping* 1 meter dengan produktivitas Komatsu PC2000-45 727,84 BCM/jam, produktivitas Komatsu HD785 130,02 BCM/jam dan HD465 79,69 BCM/jam, alat angkut yang digunakan memiliki 2 opsi yaitu opsi pertama 5 unit Komatsu HD785 dan 2 unit HD465 dengan biaya operasional yang dikeluarkan adalah sebesar 0,09170 \$/BCM dan opsi kedua 5 unit Komatsu HD785 dan 1 unit

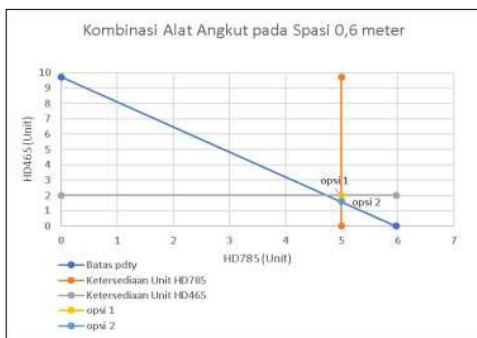
HD465 dengan biaya operasional 0,07790 \$/BCM. Berdasarkan biaya operasional yang dikeluarkan opsi pertama lebih besar dari pada opsi kedua, kedua opsi tersebut produktivitas Komatsu PC2000-45 sama-sama melebihi target produktivitas. Sehingga opsi yang dipilih adalah opsi kedua karena biaya operasional lebih murah dan produktivitas masih melebihi target. Gambar-8 menunjukkan bahwa pada spasi *ripping* 1,2 meter dengan produktivitas Komatsu PC2000 700 BCM/jam, produktivitas Komatsu HD785 130,02 BCM/jam dan HD465 79,69 BCM/jam, alat angkut yang digunakan memiliki 2 opsi yaitu opsi pertama 5 unit Komatsu HD785 dan 2 unit HD465 dengan biaya operasional yang dikeluarkan adalah sebesar 0.09172 \$/BCM dan opsi kedua 5 unit Komatsu HD785 dan 0,7 unit HD465. Berdasarkan batasan yang dimasukkan pada saat optimasi menggunakan *solver* untuk jumlah unit alat harus menggunakan bilangan bulat karena tidak mungkin alat menggunakan pecahan, jadi untuk alat angkut pada opsi kedua, 0,7 dibulatkan menjadi 1 unit HD465 dengan biaya operasional 0,07792 \$/BCM berdasarkan biaya operasional yang dikeluarkan opsi 2 menggunakan 5 unit Komatsu HD785 dan 1 HD465 merupakan biaya yang paling murah dibandingkan opsi 1.



Gambar-5. Kombinasi alat angkut pada spasi *ripping* 0,3 meter



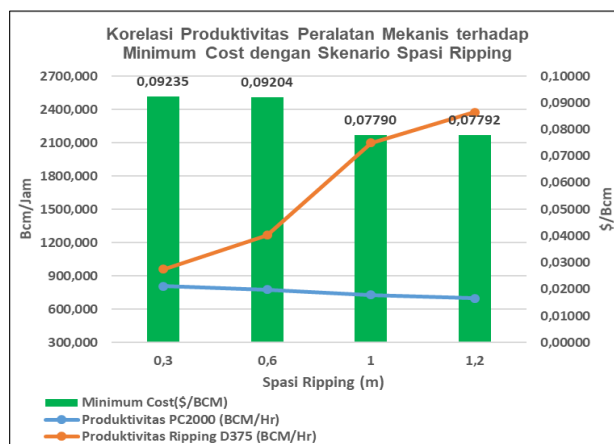
Gambar-7. Kombinasi alat angkut pada spasi *ripping* 1 meter



Gambar-6. Kombinasi alat angkut pada spasi *ripping* 0,6 meter



Gambar-8. Kombinasi alat angkut pada spasi *ripping* 1,2 meter



Gambar-9. Korelasi produktivitas, minimum *cost*, dan spasi *ripping*

Berdasarkan gambar-9, *cost fleet minimum* yang dikeluarkan perusahaan adalah saat spasi *ripping* 1 meter karena pada saat spasi *ripping* 1 meter produktivitas yang didapatkan stabil yaitu melebihi target produktivitas Komatsu PC2000 dan produktivitas *ripping* Komatsu D375-90 yang didapatkan juga lebih besar dibandingkan pada spasi *ripping* 0,3 meter dan 0,6 meter. Perubahan yang signifikan terjadi pada spasi *ripping* 0,6 meter ke spasi *ripping* 1 meter karena produktivitas *ripping* Komatsu D375-90 naik drastis dengan selisih nilai ± 400 Bcm/Hr sehingga menyebabkan perubahan pada *cost fleet* yang dikeluarkan turun drastis juga dari 0,09204 \$/Bcm ke 0,07790 \$/Bcm dan pada saat spasi *ripping* 1,2 meter produktivitas Komatsu PC2000 hanya sesuai target hal itu juga sangat berpengaruh pada saat optimasi karena komponen optimasi yang digunakan adalah produktivitas Komatsu PC2000, *ripping* Komatsu D375-90, Komatsu HD785 & Komatsu HD465 dan biaya rental alat. Dapat disimpulkan bahwa nilai biaya operasional *minimum* pada grafik di atas tidak hanya dipengaruhi oleh produktivitas Komatsu PC2000-45 dan produktivitas alat angkut tetapi juga dipengaruhi oleh produktivitas *ripping* Komatsu D375-90 karena sedikit banyaknya *overburden* yang dimuat maupun diangkut tergantung dari berapa banyak hasil *ripping* Komatsu D375-90.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian kali ini berdasarkan 4 skenario spasi *ripping* yang dilakukan, spasi *ripping* yang paling optimal adalah spasi *ripping* 1 meter dengan produktivitas *ripping* Komatsu D375-90 yang dihasilkan yaitu 2097,56 Bcm/Jam, produktivitas Komatsu PC2000-45 yaitu 727,84 Bcm/Jam, produktivitas Komatsu HD785 yaitu 130,02 Bcm/Jam, produktivitas Komatsu HD65 yaitu 79,69 Bcm/Jam, dan biaya operasional *fleet* yang dikeluarkan paling murah dari skenario spasi *ripping* yang lainnya yaitu sebesar 0,07790 \$/Bcm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. T. Toha, R. Juniah and M. Yusuf, "Optimalisasi pembeeraan overburden dengan metode *ripping* dan peledakan di Banko Barat PT Bukit Asam Tbk," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, vol. 18, no. 1, pp. 13-22, 2022.
- [2] E. T. Mohamad, M. Koopialipoor, B. R. Murlidhar, A. Rashiddel, A. Hedayat and D. J. Armaghani, "A new hybrid method for predicting *ripping* production in different weathering zones through in situ tests," *Measurement*, vol. 147, p. 106826, 2019.
- [3] F. MacGregor, "The rippability of rock," University of New South Wales, Sydney, 1993.
- [4] A. Liutari, R. Tui, R. Amalia and A. Anas, "Optimasi produksi Dozer D8R di Disposasi Hasan PT Vale Indonesia Tbk menggunakan metode linear programming," *Jurnal Pertambangan*, vol. 6, no. 3, pp. 124-31, 2022.
- [5] M. Sahrudin, R. Anarta, A. Octova and A. Nazki, "Optimalisasi Biaya Produksi Menggunakan Metode Linear Programming Dalam Rangka Pengupasan Overburden di KUD Sinamar Sakato, Sinamar, Kabupaten Dharmasraya, Provinsi Sumatera Barat," *Jurnal Bina Tambang*, vol. 7, no. 3, pp. 113-127, 2022.
- [6] F. A. Putra, E. Santoso and K. Putri, "Kajian optimasi kombinasi peralatan mekanis pada kegiatan backfilling tambang PD Baramarta Provinsi Kalimantan Selatan," *Jurnal Himasapta*, vol. 6, no. 2, pp. 73-78, 2021.
- [7] Adinda and D. Yulhendra, "Studi Optimasi Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut Menggunakan Metode Linear Programming Pada Perolehan Produksi Overburden PT. Surya Global Makmur Jobsite Pemusiran, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi," *Jurnal Bina Tambang*, vol. 5, no. 2, pp. 238-249, 2020.
- [8] D. Ahangaran, A. Yasrebi, A. Wetherelt and P. Foster, "Real-time dispatching modelling for trucks with different capacities in open pit mines," *Archives of Mining Sciences*, vol. 57, no. 1, pp. 39-52, 2012.
- [9] S. Alarie and M. Gamache, "Overview of solution strategies used in truck dispatching systems for open pit mines," *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, vol. 16, no. 1, pp. 59-76, 2022.
- [10] M. A. Afrapoli and H. Askari-Nasab, "Mining fleet management systems: a review of models and algorithms," *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, vol. 33, no. 1, pp. 42-60, 2019.
- [11] B. Ozdemir and M. Kumral, "Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 95, pp. 36-48, 2019.
- [12] J. Douglas, Prediction Shovel-Truck Production: A Reconciliation Of Computer And Conventional Estimates, Stanford: Stanford University, 1964.
- [13] C. N. Burt and L. Caccetta, "Match factor for heterogeneous truck and loader fleets," *International journal of mining, reclamation and environment*, vol. 21, no. 4, pp. 262-270, 2007.
- [14] C. N. Burt and L. Caccetta, Equipment selection for mining: with case studies, Cham: Springer International Publishing, 2018.
- [15] Z. M. Fraditos, Y. Novianti and K. Putri, "Kajian keserasian jumlah alat mekanis dengan *fleet* yang heterogen pada aktivitas pemuatan batubara di Stockpile CP 02 PT Binuang Mitra Bersama," in *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, 2020.

- [16] T. Sriwidadi and E. Agustina, "Analisis Optimalisasi Produksi dengan Linear Programming Melalui Metode Simpleks," *Binus Business Review*, vol. 4, no. 2, pp. 725-741, 2013.
- [17] Komatsu, *Specifications and Application Handbook*, Japan: Komatsu Ltd., 2009.

