



OPTIMASI PRODUKSI *DOZER* D8R DI *DISPOSAL* HASAN PT VALE INDONESIA TBK MENGGUNAKAN METODE *LINEAR PROGRAMMING*

OPTIMIZATION PRODUCTION OF *DOZER* D8R AT HASAN *DISPOSAL* PT VALE INDONESIA TBK USING *LINEAR PROGRAMMING* METHOD

A. Liutari¹, R. N. S. Tui², R. Amalia³, A. V. Anas⁴

¹⁻⁴Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

¹⁻⁴Jl. Poros Malino km. 6 Bonrombarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171

e-mail: *¹liutaria@gmail.com, ²rini@unhas.ac.id, ³rizkiamalia@unhas.ac.id, ⁴aryantiv@unhas.ac.id

ABSTRAK

PT Vale menerapkan sistem *dumping* tanpa mundur di *Disposal Hasan* sebagai upaya untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja di area *disposal* yang menyebabkan jarak dorong *dozer* D8R unit 4084 dan 4072 semakin jauh sehingga data waktu edar *dozer* semakin lama. Waktu edar yang semakin lama mengakibatkan nilai produksi *dozer* di *Disposal Hasan* tidak optimal. Penelitian ini dilakukan untuk menghitung produksi aktual harian dari *dozer* dan mengoptimasi produksi pada masing-masing unit dari *dozer* D8R yang beroperasi di *Disposal Hasan* dengan menggunakan metode *linear programming*. Pengumpulan data dilakukan di *Disposal Hasan* PT Vale Indonesia. Jumlah produksi *dozer* D8R didapatkan menggunakan rumus produksi *dozer* dan pengoptimalan dilakukan dengan *linear programming* metode simpleks dan metode grafik menggunakan *software POM for Windows*. Data-data yang didapatkan berupa data waktu edar, spesifikasi alat, *fill factor*, *grade factor*, efisiensi kerja alat, jam kerja alat, target produksi dan kapasitas *disposal*. Fungsi tujuan dari penelitian ini yaitu jumlah produksi optimal masing-masing unit *dozer*. Fungsi kendala berupa waktu kerja, kapasitas *Disposal Hasan*, target produksi dan produksi aktual. Jumlah produksi harian aktual rata-rata *dozer* unit 4084 yaitu sebesar 11.596 ton/hari dan untuk unit 4072 yaitu sebesar 10.385 ton/hari. Produksi optimal untuk produksi *dozer* D8R unit 4084 yaitu sebesar 13.333 ton/hari dan untuk unit 4072 yaitu sebesar 11.429 ton/hari dengan jumlah total nilai produksi optimal *dozer* D8R yaitu sebesar 24.762 ton/hari.

Kata kunci: *disposal*, *dozer*, produksi, optimasi, *linear programming*.

ABSTRACT

PT Vale implements *dumping* without reverse system at *Hasan disposal* as an effort to reduce the risk of work accidents in the *disposal* area. This *dumping* system causes the *dozer* D8R which is units 4084 and 4072 to have longer distance, therefore the cycle time is getting longer. The longer cycle time causes the *dozer* production value at *Hasan disposal* to be not optimal. This study was conducted to determine the actual production of the *dozer* and to optimize the production of each unit of the *dozers* D8R by using the *linear programming* method. Data collection was carried out at PT Vale Indonesia's *Hasan disposal*. The production value was calculated using the *dozer* production formula, and optimization was carried out using the *linear programming* simplex and graphic method using *POM for Windows* software. The data obtained in the form of data cycle time, *dozer* specifications, *fill factor*, *grade factor*, work efficiency of *dozer*, working hours of *dozer*, production target and *disposal* capacity. The objective function of this research is the optimal production amount of each *dozer* unit. The constraint functions are working time, *Hasan disposal* capacity, the company's production target and actual production. The actual daily production of the *dozer* unit 4084 is 11,596 tons/day and the unit 4072 is 10,385 tons/day. Optimal production for the production of *dozer* D8R unit 4084 is 13,333 tons/day and for unit 4072 is 11,429 tons/day with the total optimal production value of *dozer* D8R is 24,762 tons/day.

Keywords: *disposal*, *dozer*, production, optimization, *linear programming*

PENDAHULUAN

Awal kegiatan penambangan yang dilakukan oleh PT Vale Indonesia yaitu pemindahan tanah penutup kemudian yang akan dibawa ke area *disposal* [1]. *Disposal* adalah daerah pada suatu operasi tambang terbuka yang dijadikan tempat untuk membuang material yang memiliki kadar rendah atau material bukan bijih [2]. Salah satu *disposal* di PT Vale Indonesia adalah *Disposal Hasan* yang merupakan satu-satunya *disposal* yang menerapkan sistem *dumping* tanpa mundur sebagai upaya perusahaan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja di area *disposal*. Alat berat yang beroperasi di area *disposal* adalah alat dorong (*dozer*). *Dozer* merupakan traktor yang dipasangkan pisau atau blade di bagian depannya yang berfungsi mendorong material yang ada di depannya [3].

Penerapan sistem *dumping* tanpa mundur di area *Disposal Hasan* menggunakan dua unit alat dorong (*dozer*) tipe D8R yaitu unit 4084 dan 4072 mengakibatkan jarak dorong *dozer* semakin jauh sehingga data waktu edar semakin lama. Waktu edar merupakan waktu yang diperlukan untuk melakukan satu siklus kegiatan [4]. Waktu edar alat sangat mempengaruhi nilai produksi dari suatu alat.

Proses produksi operasi pemindahan tanah menggunakan *dozer* mempertimbangkan atribut mekanis *dozer* yaitu berat *dozer*, kapasitas *blade*, *drawbar* penuh, dan lain-lain serta atribut atmosfer dan permukaan tanah di lokasi kerja seperti ketinggian, udara suhu, derajat kemiringan, jenis tanah, kondisi permukaan, dan lain-lain dari lokasi pekerjaan [5]. Perhitungan produksi *dozer* dibagi menjadi penentuan volume beban pisau, menentukan waktu edar, kondisi kerja dan pemanfaatan dari jam kerja [6]. Semakin kecil waktu edar dari suatu alat maka akan semakin optimal produksi yang dihasilkan, begitupun sebaliknya [7].

Dalam upaya untuk mengetahui produksi optimal material tanah penutup dari dua unit *dozer* di *Disposal Hasan* karena belum adanya penelitian yang membahas mengenai penerapan sistem *dumping* tanpa mundur terhadap jumlah produksi optimal, maka perlu dilakukannya optimasi produksi. Optimasi produksi merupakan pendekatan normatif dengan mengidentifikasi penyelesaian terbaik dari suatu permasalahan yang diarahkan pada titik maksimum atau minimum suatu fungsi tujuan [8]. Optimasi produksi bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan yang dihasilkan dari proses produksi dan meminimumkan biaya dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada [9].

Salah satu metode optimasi produksi adalah *linear programming* [10]. *Linear programming* menyelesaikan masalah optimasi suatu model linear dengan keterbatasan-keterbatasan sumberdaya yang tersedia [11] yaitu mengoptimalkan fungsi tujuan (memaksimalkan atau meminimalkan) pada fungsi tujuan linear dengan

persamaan dan fungsi kendala pertidaksamaan linear [12]. Metode yang dapat digunakan untuk mencari solusi dari model program linier terbagi menjadi dua, yaitu metode grafik dan metode simpleks [13]. Menentukan solusi optimal menggunakan metode simpleks didasarkan pada teknik eliminasi Gauss Jordan yang dilakukan dengan memeriksa titik ekstrim satu per satu dengan cara perhitungan iteratif [14]. Sedangkan, metode grafik menggunakan grafik untuk penentuan keputusan, dimana seluruh fungsi kendala digambarkan dalam grafik kemudian keputusan diambil melalui perhitungan dari fungsi yang digambarkan dalam grafik tersebut [15].

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menghitung produksi optimal pada masing-masing unit *dozer* D8R yang beroperasi di *Disposal Hasan* dengan menggunakan metode *linear programming*.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari pengumpulan data, pengolahan dan analisis data. Pengumpulan data dilakukan di dua divisi PT Vale Indonesia yaitu Divisi *Short Term Planning* dan Divisi *Production and Cost*. Data-data yang dikumpulkan kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode *linear programming* metode simpleks dan metode grafik menggunakan *software POM for Windows*. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari bulan November 2021 – Januari 2022 yang terdiri dari data:

1. Data waktu edar alat *dozer* unit 4084 dan unit 4072 selama 41 hari mulai dari tanggal 18 November 2021 - 13 Januari 2022. Data waktu edar berpengaruh pada perhitungan produktivitas alat. Data waktu edar *dozer* untuk unit 4084 dan 4072 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu edar *dozer*

Hari	Waktu Edar Unit 4084 (m)	Waktu Edar Unit 4072 (m)
1	0,88	0,83
2	0,69	0,69
3	0,72	0,69
4	0,69	0,89
5	0,86	0,69
6	0,79	0,73
7	1,06	0,69
8	0,91	0,84
9	0,77	0,80
10	0,88	0,77
11	0,69	0,97
12	0,73	0,86
13	0,68	0,79
14	0,72	1,25
15	0,81	0,89
16	0,85	0,90
17	0,80	0,95



18	0,80	0,71	20	22	20
19	0,76	0,81	21	19	19
20	0,73	0,84	22	17	14
21	0,85	0,87	23	21	18
22	0,97	1,15	24	20	16
23	0,78	0,91	25	20	17
24	0,80	1,03	26	19	21
25	0,83	0,96	27	21	14
26	0,87	0,74	28	21	21
27	0,67	1,19	29	21	19
28	0,75	0,68	30	20	20
29	0,69	0,87	31	21	16
30	0,82	0,83	32	21	21
31	0,68	1,00	33	21	21
32	0,68	0,73	34	18	20
33	0,69	0,78	35	19	22
34	0,94	0,82	36	19	21
35	0,87	0,76	37	19	19
36	0,84	0,75	38	21	21
37	0,88	0,86	39	20	21
38	0,70	0,72	40	21	21
39	0,82	0,71	41	21	19
40	0,71	0,75			
41	0,79	0,85			

2. Spesifikasi alat

Alat yang digunakan merupakan *dozer* merk *caterpillar* tipe D8R. Data spesifikasi alat digunakan untuk menghitung produktivitas dari suatu alat berupa lebar *blade* yaitu 8,7 m².

3. Jam kerja alat

Jumlah jam kerja diperoleh dari penggunaan jam kerja rata-rata alat dalam satu hari kegiatan produksi untuk unit *dozer* 4084 dan 4072 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jam kerja alat

Hari	Jam kerja unit 4084 (h)	Jam kerja unit 4072 (h)
1	19	20
2	20	21
3	21	21
4	21	19
5	19	21
6	21	21
7	16	21
8	18	20
9	21	20
10	19	21
11	21	17
12	21	19
13	21	21
14	21	22
15	20	19
16	19	18
17	21	17
18	20	21
19	22	20

4. Efisiensi kerja alat

Efisiensi kerja alat digunakan untuk mendapatkan nilai produksi dari suatu alat yang dinyatakan dalam persen (%). Nilai efisiensi kerja alat dapat diketahui melalui Persamaan 1 [16] yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.

$$Ek = \frac{Wp}{Wk} \times 100\% \quad (1)$$

dimana,

Ek = Efisiensi kerja (%)

Wp = Waktu produksi (jam)

Wk = Waktu kerja (jam)

Tabel 3. Efisiensi kerja alat

Hari	Unit 4084 (%)	Unit 4072 (%)
1	78	83
2	83	88
3	88	88
4	88	77
5	80	88
6	86	88
7	65	88
8	75	82
9	89	85
10	78	88
11	88	70
12	88	80
13	88	87
14	88	92
15	84	77
16	80	76



17	86	72
18	85	88
19	90	85
20	94	82
21	81	79
22	70	60
23	88	75
24	85	66
25	83	71
26	79	88
27	88	58
28	88	88
29	88	79
30	83	82
31	88	68
32	88	88
33	88	87
34	73	83
35	79	90
36	81	88
37	78	80
38	88	88
39	84	88
40	88	88
41	87	80

Data produksi harian *dozer* D8R yang didapatkan kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode *linear programming* dengan bantuan *software POM for Windows*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Harian *Dozer* D8R

Data produksi harian secara aktual yang telah didapatkan untuk *dozer* D8R yang beroperasi di *Disposal Hasan* selama 41 hari dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Produksi *dozer* D8R

Hari	Produksi Unit 4084 (ton/hari)	Produksi Unit 4072 (ton/hari)
1	8921	10579
2	12828	14194
3	13616	14090
4	14075	8590
5	9490	14109
6	11970	13350
7	5018	14143
8	7931	10083
9	12922	11552
10	8870	12899
11	14165	6481
12	13409	9451
13	14339	12173
14	13616	3085
15	11200	8532
16	9637	8275
17	11673	6867
18	11528	13708
19	13555	11366
20	15328	10174
21	9732	9181
22	6504	3930
23	12548	7881
24	11552	5417
25	10537	6790
26	9076	13257
27	14493	3577
28	13060	14281
29	14211	9093
30	10708	10327
31	14457	5917
32	14331	13460
33	14206	12434
34	7221	10752
35	9007	13408
36	9964	13011
37	8870	9451
38	13996	13553
39	10973	13723
40	13744	13011
41	12173	9637

5. *Fill factor*

Tanah yang digusur merupakan tanah penutup atau *overburden* yang termasuk ke dalam tipe penggusuran yang agak sulit sehingga diasumsikan sebesar 0.7 [17].

6. *Grade factor*

Data *grade factor* digunakan untuk menghitung produktivitas dari suatu alat. Data ini didapatkan melalui *software* Maptek Vulcan. Nilai *grade factor* yang digunakan yaitu sebesar 0.86.

7. Target produksi

Target produksi untuk satu unit *dozer* D8R yaitu 16.752 ton/hari.

8. Kapasitas *Disposal Hasan*

Kapasitas untuk *Disposal Hasan* yaitu 707.706 wmt.

Data-data yang dikumpulkan kemudian diolah menggunakan rumus produksi *dozer* untuk mendapatkan data produksi harian *dozer*. Rumus produksi alat *dozer* menggunakan Persamaan 2 [17].

$$P = (q1 \times a) \times \frac{60}{Cm} \times e \times E \quad (2)$$

dimana,

P = Produksi *dozer*

q = Produksi per siklus (m³)

q1 = Kapasitas *blade* (m³)

a = *Fill factor blade*

Cm = *Cycle time* (menit)

e = Faktor kelandaian

E = Efisiensi kerja

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa nilai produksi harian rata-rata *dozer* D8R selama 41 hari untuk unit 4084 yaitu sebesar 11.596 ton/hari dan untuk unit 4072 yaitu sebesar 10.385 ton/hari. Produksi aktual *dozer* D8R unit 4084 lebih tinggi dibandingkan unit 4072 karena jarak dorong unit 4084 lebih pendek dibandingkan jarak dorong unit 4072. Jarak dorong *dozer* D8R unit 4084 yaitu sejauh 16,8 m dan untuk unit 4072 yaitu 17,3 m. Waktu edar yang dibutuhkan *dozer* D8R unit 4084 lebih singkat dibandingkan unit 4072. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa nilai produksi harian selama 41 hari untuk *dozer* D8R unit 4082 juga tidak mencapai target perusahaan yaitu sebesar 16.752 ton/hari.

Penggunaan dua unit *dozer* D8R yang beroperasi di area *disposal* ditargetkan sebanyak 33.504 ton/hari. Berdasarkan hal tersebut, maka diketahui estimasi umur *Disposal Hasan* dengan penggunaan dua unit *dozer* D8R ditargetkan yaitu selama 21 hari. Namun secara aktual, jumlah tanah penutup yang diproduksi setiap hari dengan menggunakan dua unit *dozer* D8R hanya sebesar 21.981 ton/hari dengan estimasi lama pengerjaan *disposal* atau umur *disposal* yaitu selama 32 hari

Optimasi Produksi Menggunakan Metode *Linear Programming*

Analisis program linear atau *linear programming* digunakan untuk menentukan jumlah produksi yang optimal untuk masing-masing unit pada alat *dozer* D8R. Analisis *linear programming* terdiri dari variabel keputusan, fungsi tujuan dan fungsi kendala [18].

1. Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah variabel yang mempengaruhi nilai tujuan yang hendak dicapai. Variabel keputusan yang digunakan dari analisis *linear programming* adalah produksi optimal dari masing-masing unit *dozer* yang beroperasi di *Disposal Hasan*. Analisis *linear programming* dibagi menjadi dua variabel keputusan, yaitu:

- X_1 = Produksi optimal *dozer* D8R unit 4084
- X_2 = Produksi optimal *dozer* D8R unit 4072

2. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan merupakan fungsi yang menggambarkan tujuan atau sasaran yang berkaitan dengan pengaturan secara optimal sumberdaya-sumberdaya untuk memperoleh solusi optimal. Fungsi tujuan yang ingin dicapai yaitu mengoptimalkan jumlah produksi dari masing-masing unit *dozer* yang bekerja di *Disposal Hasan*. Jumlah unit 4084 dan 4072 alat *dozer* D8R yang beroperasi yaitu masing-masing satu unit. Bentuk persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$\text{Maksimalkan: } Z = X_1 + X_2 \quad (3)$$

3. Fungsi Batasan

Fungsi batasan dapat dikatakan sebagai suatu pembatas terhadap variabel-variabel keputusan yang telah dibuat. Fungsi batasan atau kendala dari penelitian ini, yaitu:

a. Kendala jam kerja

Kendala jam kerja berfungsi agar solusi optimal yang didapatkan tidak melebihi dari jam kerja yang tersedia dalam satu hari. Jam kerja yang digunakan merupakan waktu operasi masing-masing unit *dozer* D8R maksimum dalam satu hari kerja. Jam kerja maksimum dalam satu hari produksi untuk *dozer* D8R unit 4084 dan unit 4072 yaitu selama 22 jam. Dalam proses produksi memiliki rentan waktu yang berbeda untuk memproduksi satu ton tanah penutup. Untuk mendapatkan koefisien untuk masing-masing unit *dozer* D8R, maka menggunakan perhitungan penggunaan jam kerja tertinggi dari masing-masing unit *dozer* dibagi dengan produksi harian rata-rata masing-masing unit *dozer*. Maka, bentuk pertidaksamaannya dinyatakan dalam Persamaan 4 dan Persamaan 5.

$$0,0018X_1 \leq 24 \quad (4)$$

$$0,0021X_2 \leq 24 \quad (5)$$

b. Kendala target produksi

Kendala target produksi berfungsi agar solusi optimal lebih besar dibandingkan target yang ada. Kendala target produksi diperoleh dari target produksi perusahaan dibagi dengan produksi harian masing-masing unit *dozer* dibatasi oleh target produksi pada masing-masing variabel yang telah ditetapkan oleh perusahaan yaitu 16.752 ton/hari. Bentuk pertidaksamaannya dinyatakan dalam Persamaan 6 dan Persamaan 7.

$$1,4446X_1 \geq 16.752 \quad (6)$$

$$1,6130X_2 \geq 16.752 \quad (7)$$

c. Kendala kapasitas *disposal*

Kendala kapasitas *disposal* digunakan agar tanah penutup yang diproduksi tidak melebihi dari kapasitas *Disposal Hasan*. Kapasitas *Disposal Hasan* yaitu 707.706 wmt. Maka bentuk pertidaksamaannya dinyatakan dalam Persamaan 8.

$$0,0163X_1 + 0,0146X_2 \leq 707706 \quad (8)$$

d. Kendala produksi aktual

Kendala target produksi berfungsi agar solusi optimal lebih besar dibandingkan nilai produksi aktual. Produksi harian rata-rata *dozer* unit 4084 yaitu sebesar 11.596 ton/hari dan untuk unit 4072 yaitu sebesar 10.385 ton/hari. Bentuk pertidaksamaannya dinyatakan dalam Persamaan 9 dan Persamaan 10.

$$X_1 \geq 11.596 \quad (9)$$

$$X_2 \geq 10.385 \quad (10)$$

e. Kendala non-negatif

Kendala non-negatif mewakili jumlah produksi *dozer* D8R yang tidak mungkin negatif. Bentuk pertidaksamaannya dapat dilihat pada Persamaan 11.

$$X_1, X_2 \geq 0 \quad (11)$$

Setelah fungsi tujuan dan fungsi batasan telah didapatkan, selanjutnya dilakukan tahap optimasi produksi menggunakan metode *linear programming*.

Linear Programming Menggunakan Metode Simpleks

Hasil analisis *linear programming* menggunakan metode simpleks menunjukkan bahwa perhitungan iterasi berhenti pada hitungan iterasi ke-10. Hal ini disebabkan pada baris $Z_j - C_j$ pada kolom variabel keputusan dan *slack* telah mencapai nilai ≥ 0 yang menunjukkan pemecahan sudah optimum. Hasil analisis *linear programming* dengan bantuan *POM for Windows* dapat dilihat pada Gambar 1.

	X1	X2	RHS	Dual
Maximize				
Jam Kerja 4084	0,0018	0	<=	24 555,5556
Jam Kerja 4072	0	0,0021	<=	24 476,1905
Target Produksi 4084	1,444	0	>=	16752 0
Target Produksi 4072	0	1,613	>=	16752 0
Kapasitas Disposasi	1	1	<=	707706 0
Produksi aktual 4084	1	0	>=	11596 0
Produksi aktual 4072	0	1	>=	10385 0
X1	1	0	>=	0 0
X2	0	1	>=	0 0
Solution->	13333,33	11428,57		24761,91

Gambar 1. Hasil analisis *linear programming*.

Gambar 1 menunjukkan produksi optimal dari *dozer* D8R unit 4084 (X_1) dan produksi optimal dari *dozer* D8R unit 4072 (X_2) serta jumlah produksi optimal dari dua unit *dozer* D8R yang beroperasi di *Disposal Hasan*. Produksi optimal untuk *dozer* D8R unit 4084 yaitu sebesar $13.333,33 \approx 13.333$ ton/hari. Nilai produksi optimal untuk *dozer* D8R unit 4084 yang didapatkan menggunakan metode *linear programming* lebih tinggi dibandingkan nilai produksi aktual. Selisih antara nilai produksi optimal dan nilai produksi aktual untuk *dozer* D8R unit 4084 yaitu sebesar 1.737 ton.

Berdasarkan Gambar 2, nilai produksi optimal untuk *dozer* D8R unit 4072 yaitu sebesar $11.428,57 \approx 11.429$ ton/hari. Nilai produksi optimal untuk *dozer* D8R unit 4072 yang didapatkan menggunakan metode *linear programming* juga lebih tinggi dibandingkan nilai produksi aktual. Selisih antara nilai produksi optimal dan nilai produksi aktual untuk *dozer* D8R unit 4072 yaitu sebesar 1.044 ton. Nilai produksi optimal *dozer* D8R unit 4084 lebih besar dibandingkan nilai produksi dari unit 4072. Hal ini disebabkan karena data produksi aktual *dozer* D8R unit 4084 lebih besar dibandingkan unit 4072.

Nilai *optimal value* (Z) atau jumlah produksi optimal untuk dua unit *dozer* yang beroperasi di *Disposal Hasan* yaitu sebesar $24.761,91 \approx 24.762$ ton/hari. Selisih antara target produksi dan produksi optimal menggunakan dua unit *dozer* D8R yaitu sebesar 8.742 ton. Nilai produksi optimal yang didapatkan melalui analisis *linear*

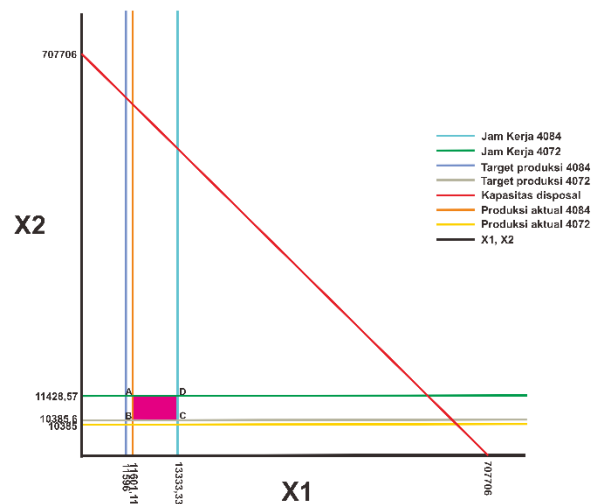
programming metode simpleks tidak mencapai target yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Hal ini dipengaruhi oleh kapasitas *Disposal Hasan* yang terbatas.

Linear Programming Menggunakan Metode Grafik

Langkah pertama yaitu menggambarkan fungsi batasan. Mencari titik potong garis tersebut dengan kedua sumbu dilakukan untuk menggambarkan fungsi linear yang tidak lain merupakan garis lurus. Suatu garis akan memotong salah satu sumbu apabila nilai variabel yang lain sama dengan nol. Kordinat sumbu yang akan digunakan pada metode grafik yaitu:

1. Jam kerja 4084 : (13333,33 , 0)
2. Jam kerja 4084 : (0 , 11428,57)
3. Target produksi 4084 : (11601,10 , 0)
4. Target produksi 4072 : (0 , 10385,67)
5. Kapasitas *disposal* : (707706 , 707706)
6. Produksi aktual 4084 : (11596 , 0)
7. Produksi aktual 4072 : (0 , 10385)
8. X_1 : (1 , 0)
9. X_2 : (0 , 1)

Hasil analisis *linear programming* dengan metode grafik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil *linear programming* metode grafik.

Berdasarkan Gambar 2 diketahui bahwa ada empat titik pojok yang didapatkan yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Titik pojok metode grafik.

Titik Pojok	X1	X2	Z
A	11601,11	11428,57	23029,68
B	11601,11	10385,6	21986,72
C	13333,33	10385,6	23718,95
D	13333,33	11428,57	24761,91

Berdasarkan hasil grafik diperoleh bahwa produksi optimal berada pada titik pojok D. Produksi optimal untuk *dozer* D8R unit 4084 (X1) yaitu sebesar 13.333,33 \approx 13.333 ton/hari dan untuk unit 4072 (X2) yaitu sebesar 11.428,57 \approx 11.429 ton/hari. Nilai ini menunjukkan bahwa produksi optimal perusahaan diperoleh saat nilai X1 dan X2 sebesar nilai tersebut. Jumlah produksi optimal material tanah penutup dengan menggunakan dua unit *dozer* D8R (Z) yaitu sebesar 24.761,91 \approx 24.762 ton/hari. Artinya, nilai produksi optimal untuk metode grafik sama dengan nilai produksi optimal metode simpleks.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas diperlukan untuk menganalisis dampak dari perubahan nilai parameter yang meliputi nilai variabel dan kendala pada *linear programming*. Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui seberapa peka solusi optimal terhadap perubahan pada variabel basis. Hasil pengolahan data menggunakan bantuan *software POM for Windows* terdapat batas-batas perubahan koefisien nilai sisi kanan (RHS) pada masing-masing unit *dozer* D8R yang tidak mempengaruhi solusi optimal.

Hasil analisis rentang nilai kanan (RHS) dengan menggunakan bantuan *POM for Windows* menunjukkan batas atas dan batas bawah jumlah sumberdaya produksi yang dapat dilakukan oleh perusahaan sesuai dengan kapasitas sumberdaya dan kebutuhan masing-masing produksi. Rentang nilai sisi kanan (RHS) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rentang perubahan nilai sisi kanan

Constraint	Rentang perubahan nilai sisi kanan (RHS)		
	Nilai sisi kanan	Batas bawah	Batas atas
Jam kerja 4084	24	20,882	1253,299
Jam kerja 4072	24	21,8098	1458,182
Target produksi 4084	16752	-Tidak terbatas	19253,33
Target produksi 4072	16752	-Tidak terbatas	18434,29
Kapasitas <i>disposal</i> Produksi aktual 4084	707706	24761,88	Tidak terbatas
Produksi aktual 4084	11596	-Tidak terbatas	13333,33
Produksi aktual 4072	10385	-Tidak terbatas	11428,57
X1	0	-Tidak terbatas	13333,33
X2	0	-Tidak terbatas	11428,57

Tabel 6. menunjukkan rentang perubahan nilai sisi kanan yang akan membuat solusi optimal tidak terganggu dalam memproduksi material tanah penutup. Untuk kendala jam kerja 4084, memiliki batas atas sebesar 1.253,299 jam \approx 1.253 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa jam kerja untuk *dozer* D8R unit 4084 dapat ditambah selama 1.299 jam (batas atas – jam kerja yang tersedia), sedangkan batas bawahnya yaitu sebesar 20,882 jam \approx 21 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa jam kerja dapat diturunkan sampai 3 jam (jam kerja yang tersedia – batas bawah).

Untuk kendala jam kerja 4072, memiliki batas atas sebesar 1.458,182 jam \approx 1.458 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa jam kerja untuk *dozer* D8R unit 4072 dapat ditambah selama 1.434 jam (batas atas – jam kerja yang tersedia). Sedangkan, batas bawahnya yaitu sebesar 21,809 jam \approx 22 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa jam kerja dapat diturunkan sampai 2 jam (jam kerja yang tersedia – batas bawah).

Target produksi untuk unit 4084 menunjukkan nilai batas atas sebesar 19.253,33 ton \approx 19.253 ton. Nilai ini menunjukkan bahwa target produksi untuk unit 4084 dapat ditingkatkan sebanyak 2.501 ton (batas atas – target produksi). Untuk unit 4072 menunjukkan nilai batas atas sebesar 18434,29 \approx 18.434 ton. Hal ini menunjukkan bahwa target produksi unit 4072 dapat ditingkatkan sebanyak 1.682 ton (batas atas – target produksi). Kendala target produksi unit 4084 dan unit 4072 memiliki nilai batas bawah tidak terbatas, dimana nilai tersebut menunjukkan bahwa target produksi dapat diturunkan menjadi nol atau tidak terbatas.

Kendala kapasitas *disposal* menunjukkan berapapun penambahan nilai pada kapasitas *disposal*, tidak akan mempengaruhi nilai solusi optimal. Hal ini karena nilai batas atas dari kendala kapasitas *disposal* tidak terbatas. Batas bawah pada kendala kapasitas *disposal* yang didapatkan yaitu sebesar 24.761,88 wmt \approx 24.762 wmt. Diketahui bahwa nilai kapasitas *disposal* dapat dikurangi sebanyak 682.944 wmt.

Untuk kendala produksi aktual unit 4084 memiliki nilai batas atas yaitu sebesar 13.333,33 ton \approx 13.333 ton. Nilai ini menunjukkan bahwa produksi aktual untuk unit 4084 dapat ditingkatkan sebanyak 1.737 ton (batas atas – produksi aktual). Untuk unit 4072 menunjukkan nilai batas atas sebesar 11.428,57 ton \approx 11.429 ton. Hal ini menunjukkan bahwa target produksi unit 4072 dapat ditingkatkan sebanyak 1.044 ton (batas atas – produksi aktual). Kendala produksi aktual unit 4084 dan unit 4072 memiliki nilai batas bawah tidak terbatas, dimana nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai produksi aktual dapat diturunkan menjadi nol atau tidak terbatas.

Berdasarkan produksi optimal jumlah tanah penutup yang telah didapatkan, diketahui estimasi umur *disposal* dengan menggunakan dua unit *dozer* D8R secara optimal yaitu selama 29 hari. Estimasi umur *disposal* jika dua unit



dozer D8R memproduksi secara optimal lebih singkat dibandingkan produksi aktual dengan selisih waktu lama pengerjaan yaitu tiga hari. Sedangkan, selisih antara estimasi umur *disposal* jika dua unit dozer D8R beroperasi sesuai dengan target produksi dengan secara optimal yaitu selama 8 hari.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai produksi harian rata-rata dozer D8R selama 41 hari untuk unit 4084 yaitu sebesar 11.596 ton/hari dan untuk unit 4072 yaitu sebesar 10.385 ton/hari. Berdasarkan hasil perhitungan produksi sehingga diketahui jumlah total tanah penutup yang diproduksi tiap hari dengan menggunakan dua unit dozer yaitu sebesar 21.981 ton/hari. Berdasarkan hasil analisis *linear programming* menggunakan bantuan *software POM for Windows* diketahui produksi optimal untuk dozer D8R unit 4084 (X1) yaitu sebesar 13.333 ton/hari dan untuk unit 4072 (X2) yaitu sebesar 11.429 ton/hari dengan nilai *optimal value (Z)* atau jumlah total produksi optimal yaitu sebesar 24.762 ton/hari. Berdasarkan analisis sensitivitas, perubahan nilai parameter produksi tidak mempengaruhi produksi optimal jika masih berada di rentang batas atas dan batas bawah nilai *right hand side (RHS)*. Apabila berada di luar rentang tersebut, nilai produksi optimal akan mengalami perubahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada Bapak Saeful Yusuf dan seluruh karyawan PT Vale Indonesia Tbk serta seluruh pihak yang telah membantu penulis selama melakukan kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT Vale Indonesia, (2020), *Journey to Excellence Amidst Challenge*. Sorowako: PT Vale Indonesia.
- [2] Mulyanti, W., Yuliadi., Maryanto. (2017). Analisa Teknis dan Ekonomis Strategi Short Distance Disposal West Block (Anoa South). *Prosiding Teknik Pertambangan Tahun 2017*. Bandung: Universitas Islam Bandung.
- [3] Rostiyanti, S, (2008), Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- [4] Anisari, R., (2018). Perhitungan Produktivitas Bulldozer Pada Aktivitas Dozing di PT Pamapersada Nusantara Tabaling Kalimantan Selatan, *Jurnal INTEKNA 18(1)*, 8-12.
- [5] Kim, R., Park, Y., Lee, D., (2019). Dozer Productivity Correction Method for Eco-Dozing Assessment, *KSCE Journal 23(7)*, 2829-2838.
- [6] Klanfar, M., Kujundžić, T., Vrkljan, D., (2014). Calculation Analysis of Bulldozer's Productivity In Gravitational Transport On Open Pits, *Tehnički Vjesnik 21(3)*, 517-523.
- [7] Oemiati, N., Revisdah., Rahmawati, (2020). Analisa Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pada Pengupasan Lapisan Tanah Penutup (Overburden), *Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil 6(3)*, 194-207.
- [8] Taylor, B, (2013), *Introduction to Management Science*. Amerika: Pearson Education.
- [9] Kesuma, (2006), *Teori Produksi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [10] Prasmoro, A., Hasibuan, S., (2018). Optimasi Kemampuan Produksi Alat Berat dalam Rangka Produktivitas dan Keberlanjutan Bisnis Pertambangan Batubara, *Operation Excellence 10(1)*, 1-16.
- [11] Margaretta, J., Gondokusumo, O., (2017). Penerapan Metode Linear Programming Untuk Analisis Pemotongan Besi Tulangan Pada Proyek Bangunan Gedung di Jakarta, *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan 1(2)*, 51-61.
- [12] Adiantantri, E., Indriani, S., (2021). Optimization of Production Planning Using Linear Programming, *International Journal of Software and Hardware Research in Engineering 9(11)*, 41-46.
- [13] Christian. S., (2013). Penerapan Linear Programming Untuk Mengoptimalkan Jumlah Produksi dalam Memperoleh Keuntungan Maksimal Pada CV Cipta Unggul Pratama, *Journal The WINNERS 14(1)*, 55-60.
- [14] Siringoringo, (2005), *Seri Teknik Riset Operasional: Pemograman Linear*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [15] Maswani, W., Hermawan, H., Kartono, (2019), *Riset Operasi*. Banten: Universitas Pamulang.
- [16] Hustrulid, W., Kuchta, M., Martin, R, (2013), *Open Pit Mine Planning and Design*. London: CRC Press.
- [17] Komatsu, (2009), *Spesifications and Application Hanbook*. Jepang: Komatsu.
- [18] Schulze, M, (1998), *Linear Programming for Optimization*. Texas: Perceptive Scientific Instruments.