

SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

AFIFAH LIUTARI

D111181302



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

AFIFAH LIUTARI

D111181302

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 7 Oktober 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

NIP. 198311142014042001

Pembimbing Pendamping,



Rizki Amalia, S.T., M.T

NIDK. 8889211019

Ketua Program Studi,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197303142000121001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afifah Liutari
NIM : D111181302
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Optimasi Produksi *Dozer D8R* di *Disposal* Hasan
PT Vale Indonesia Tbk Menggunakan Metode
Linear Programming

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

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 11 Oktober 2022

Yang menyatakan



Tanda tangan

Afifah Liutari

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.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan rahmat dan kasih sayangNya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "OPTIMASI PRODUKSI *DOZER* D8R DI *DISPOSAL* HASAN PT VALE INDONESIA TBK MENGGUNAKAN METODE *LINEAR PROGRAMMING*". Segala puji bagiNya yang telah memberikan penulis kesehatan serta kesempatan sehingga penulis dapat menjalani segala aktivitas penelitian yang penulis lakukan. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Sallallahu alaihiwasallam beserta para sahabat dan keluarganya yang mulia.

Penyelesaian laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan moril dan materil dari berbagai pihak. Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada Bapak Saeful Yusuf, selaku pembimbing penelitian penulis dan seluruh karyawan PT Vale Indonesia Tbk yang telah sangat banyak membantu selama penulis melakukan penelitian di PT Vale Indonesia Tbk.

Terima kasih juga kepada Bapak Asran Ilyas ST., MT., PhD selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, ST., MBA., MT., selaku dosen pembimbing utama dan Ibu Rizki Amalia, ST., MT., selaku pembimbing pendamping. Terima kasih pula penulis ucapkan kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T., dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta ST., MT., selaku dosen penguji yang telah mengarahkan penulis. Terima kasih kepada seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin dan pegawai yang telah membantu penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

Terima kasih untuk saudara-saudara Teknik Pertambangan angkatan 2018, terima kasih kepada seluruh anggota Lab PVT dan sahabat-sahabat penulis yang telah setia menemani dalam suka maupun duka. Ucapan terima kasih sedalam-dalamnya kepada keluarga penulis Bapak Arfah Mustaring, dan Ibu Husni Jalali, Aghna, Kak Didiet, Ibnu dan Afghan serta seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, doa dan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat dalam pengembangan wawasan dan pengetahuan ilmu teknik pertambangan khususnya optimasi produksi *dozer* D8R dengan metode *linear programming*.

Makassar, Oktober 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Lokasi Penelitian	3
1.6 Tahapan Penelitian	4
BAB II <i>DISPOSAL, DOZER DAN LINEAR PROGRAMMING</i>	6
2.1 <i>Disposal</i>	6
2.2 <i>Dozer</i>	10
2.3 <i>Linear Programming</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Pengumpulan Data	29
3.2 Pengolahan dan Analisis Data	34
BAB IV OPTIMASI PRODUKSI <i>DOZER D8R MENGGUNAKAN METODE LINEAR PROGRAMMING</i>	46
4.1 Produksi <i>Dozer</i>	48

	Halaman
4.2 Optimasi Produksi Menggunakan <i>Linear Programming</i>	52
BAB V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.	4
2.1 <i>Disposal induced flow</i>	7
2.2 <i>Disposal semi induced flow</i>	8
2.3 <i>Disposal finger</i>	9
2.4 Tampak atas <i>disposal finger</i>	9
2.5 Macam-macam <i>blade</i>	12
3.1 Tampilan awal <i>software POM for Windows</i>	38
3.2 Tampilan menu <i>linear programming</i>	38
3.3 Tampilan pembuatan lembar kerja baru.	39
3.4 Tampilan kotak <i>create data set for linear programming</i>	39
3.5 Memilih fungsi tujuan dan mengatur nama baris pada <i>row names</i>	40
3.6 Tampilan <i>column names</i>	40
3.7 Pengisian tabel fungsi tujuan untuk optimasi.	41
3.8 Pengisian tabel fungsi batasan.	41
3.9 Mengganti tanda batasan	42
3.10 Tampilan menu <i>solve</i>	42
3.11 Tampilan hasil analisis <i>linear programming</i>	43
3.12 Tampilan tabel iterasi.	43
3.13 Tampilan <i>ranging</i> menggunakan <i>POM for Windows</i>	44
3.14 Tampilan grafik hasil optimasi.	44
3.15 Bagan alir penelitian.	45

4.1 Sistem <i>dumping</i> tanpa mundur.....	46
4.2 Sistem <i>dumping</i> mundur.....	47
4.3 Jarak dorong <i>dozer</i> D8R di <i>disposal</i> Hasan.....	48
4.4 Hasil analisis <i>linear programming</i>	56
4.5 Hasil <i>linear programming</i> metode grafik.	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Efisiensi kerja alat.....	14
2.2 Faktor bilah.....	14
3.1 Data waktu edar <i>dozer</i>	30
3.2 Jam kerja alat.....	31
3.3 Efisiensi kerja alat.....	33
4.1 Produksi <i>dozer</i> D8R unit 4084.....	48
4.2 Produksi <i>dozer</i> D8R unit 4072.....	50
4.3 Rata-rata penggunaan jam kerja alat.....	53
4.4 Koordinat sumbu metode grafik.....	57
4.5 Titik pojok area layak.....	59
4.6 <i>Ranging</i> menggunakan <i>software POM for Windows</i>	59
4.7 Rentang perubahan nilai sisi kanan.....	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A.	69
B.	74
C.	81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Vale Indonesia memiliki kegiatan operasi penambangan yang terbagi ke dalam tiga blok yaitu Blok Sorowako *West*, Blok Sorowako *East*, dan Blok Petea. Saat ini, PT Vale Indonesia Tbk menjadi merek komersial resmi sejak *rebranding* sejak tanggal 24 Januari 2012. Kegiatan operasi penambangan yang dilakukan oleh PT Vale Indonesia menggunakan metode *open cast mining*. Tahapan penambangan dimulai dari kegiatan pemindahan tanah penutup ke area *disposal*, menggali lapisan tanah yang mengandung bijih nikel kadar tinggi (saproilit) menggunakan eskavator dan kemudian diolah di *screening station* (PT Vale Indonesia, 2020).

Area *disposal* merupakan daerah pada lokasi tambang terbuka yang dijadikan tempat untuk menimbun atau membuang material yang tidak berharga. Alat berat yang beroperasi di area *disposal* adalah alat dorong (*dozer*) yang berfungsi untuk mendorong material tanah penutup. Terdapat dua sistem *dumping* di area *disposal* yang diterapkan oleh PT Vale Indonesia yaitu sistem *dumping* mundur dan *dumping* tanpa mundur. Setiap unit *dozer* yang beroperasi di *disposal* memiliki target jarak dorong yang sejauh 15 m.

Disposal Hasan yang terletak di Blok *Sorowako West* merupakan satu-satunya *disposal* yang menerapkan sistem *dumping* tanpa mundur dari tujuh *disposal* aktif yang dimiliki oleh PT Vale Indonesia. Penerapan sistem *dumping* tanpa mundur di *disposal* Hasan merupakan upaya perusahaan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja di area *disposal*. *Disposal* Hasan menggunakan dua unit *dozer* tipe D8R yaitu unit 4084 dan unit 4072. Penerapan sistem *dumping* tanpa mundur mengakibatkan jarak dorong *dozer* semakin jauh dibandingkan target jarak dorong *dozer* sehingga menyebabkan data

waktu edar dari alat lebih lama. Waktu edar alat sangat mempengaruhi produksi dari suatu alat. Semakin lama waktu edar yang dibutuhkan oleh suatu alat untuk bekerja, maka semakin tidak optimalnya produksi dari alat tersebut.

Dalam upaya untuk mengoptimalkan produksi dari alat *dozer* yang beroperasi di *disposal*/Hasan, maka perlu dilakukannya optimasi produksi. Optimasi produksi bertujuan memaksimalkan keuntungan yang dihasilkan dari proses produksi dan meminimumkan biaya dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada (Kesuma, 2006). Salah satu metode optimasi yaitu metode *linear programming* yang merupakan metode untuk menyelesaikan masalah optimasi suatu model linear dengan keterbatasan-keterbatasan sumberdaya yang tersedia (Margaretta dan Gondokusumo, 2017). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menghitung produksi optimal pada masing-masing unit *dozer* D8R yang beroperasi di *disposal*/Hasan dengan menggunakan *linear programming*.

1.2 Rumusan Masalah

Disposal/Hasan terletak di Blok *Sorowako West* merupakan satu-satunya *disposal* yang menerapkan sistem *dumping* tanpa mundur dari tujuh *disposal* aktif yang dimiliki oleh PT Vale Indonesia. Penerapan sistem *dumping* tanpa mundur di *disposal* Hasan mengakibatkan jarak dorong *dozer* D8R semakin jauh yaitu 16,8 m untuk unit 4084 dan 17,3 m untuk unit 4072 dibandingkan target jarak dorong *dozer* yang telah ditentukan oleh perusahaan. Jarak dorong *dozer* yang semakin jauh menyebabkan data waktu edar *dozer* semakin lama. Data waktu edar *dozer* yang semakin lama menyebabkan tidak optimalnya produksi *dozer*. Berdasarkan hal tersebut, permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah berapa jumlah produksi optimal material tanah penutup (*overburden*) dari masing-masing unit *dozer* tipe D8R yang beroperasi di *disposal*/Hasan dalam produksi harian.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung produksi aktual harian *dozer* D8R unit 4084 dan unit 4072 yang beroperasi di *disposal* Hasan.
2. Mengoptimasi produksi harian *dozer* D8R unit 4084 dan unit 4072 yang beroperasi di *disposal* Hasan dengan menggunakan metode *linear programming*.
3. Mengetahui pengaruh perubahan nilai parameter produksi terhadap produksi harian optimal *dozer* D8R menggunakan analisis sensitivitas.

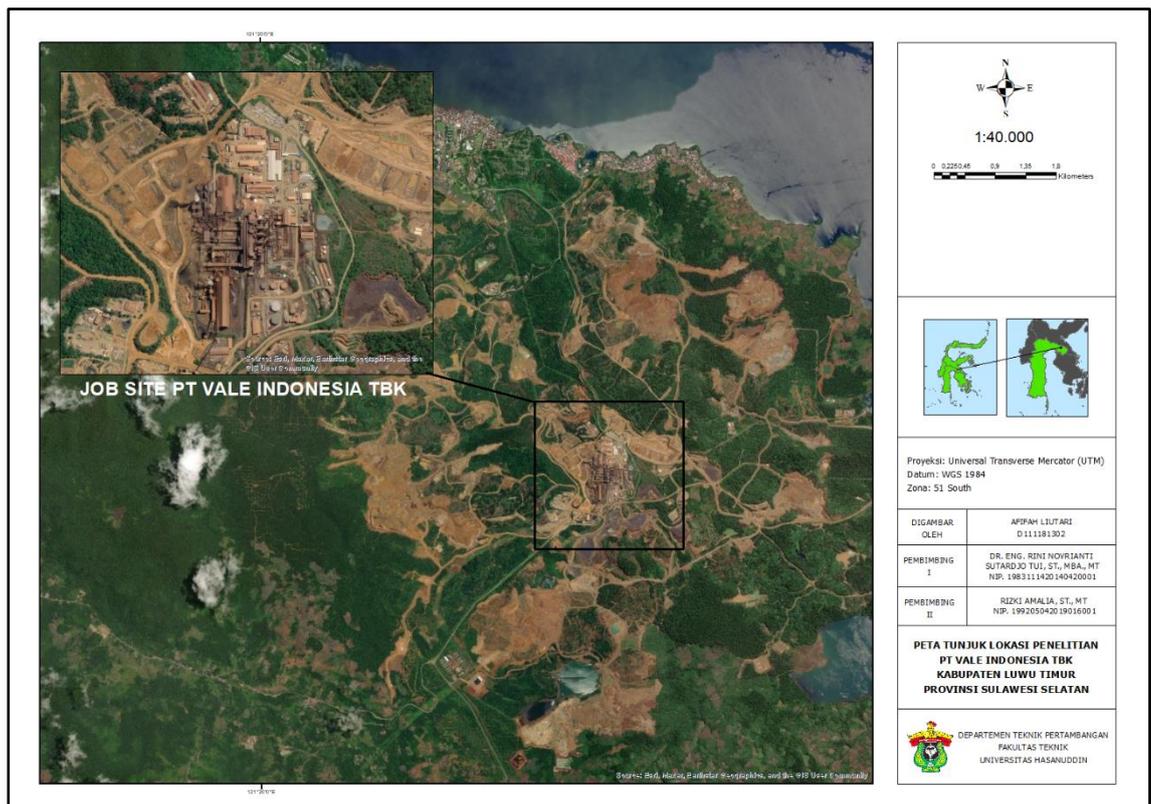
1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui jumlah produksi optimal material tanah penutup dari masing-masing unit *dozer* D8R yang beroperasi di *disposal* Hasan sehingga dapat menjadi pertimbangan perusahaan dalam penerapan sistem *dumping* tanpa mundur di area *disposal*.

1.5 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada area Blok Sorowako *West*. Lokasi *site* PT Vale Indonesia Tbk di PT Vale Indonesia Tbk Desa Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia. Perjalanan menuju Sorowako dari Makassar dapat ditempuh melalui dua jalur, yaitu jalur darat dan jalur udara. Jalur darat menggunakan kendaraan darat ditempuh selama \pm 13 jam dan melalui akses udara ditempuh sekitar \pm 45 menit dari Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Maros. Lokasi penelitian terletak sekitar \pm 361 km ke arah Timur Laut dari Kota Makassar, ibukota Provinsi Sulawesi Selatan.

Secara umum, wilayah Kontrak Karya PT Vale Indonesia Tbk dibagi ke dalam dua lokasi, yaitu lokasi *Sorowako Project Area* (SPA) dengan luas area 10.000 ha dan *Sorowako Outer Area* (SOA) dengan luas area sebesar 108.000 ha. Daerah penambangan PT Vale Indonesia meliputi dua blok, yaitu blok barat (*Mine Operation Soroako*) dan blok timur (*Mine Operation Petea*). Daerah penelitian meliputi daerah *Mine Operation Sorowako* yang dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.

1.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian. Tahapan ini terbagi ke dalam tiga tahapan, yaitu:

a. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dimaksudkan untuk mengetahui masalah apa yang akan diangkat dalam penelitian.

b. Administrasi

Pengurusan masalah administrasi merupakan pengurusan segala bentuk perizinan kegiatan penelitian kepada pihak-pihak terkait.

c. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebelum, selama penelitian berlangsung hingga penyusunan Tugas Akhir. Studi literatur dibutuhkan untuk mempelajari masalah yang akan diteliti mengenai optimasi produksi. Studi literatur dilakukan dengan mengkaji buku-buku teks, jurnal, dan laporan sebelumnya yang mendukung dalam pengolahan data dan penulisan laporan penelitian ini, termasuk informasi yang didapatkan dari media internet.

2. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan meliputi data waktu edar *dozer*, *grade factor*, efisiensi kerja, spesifikasi alat, jam kerja, target produksi dan kapasitas *disposal* Hasan.

3. Pengolahan dan Analisis Data

Tahapan pengolahan dan analisis data dilakukan dengan tujuan agar mendapatkan hasil dari permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya.

4. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahapan akhir dalam melakukan penelitian. Penyusunan laporan dilakukan setelah pengolahan dan analisis data. Seluruh hasil penelitian disusun secara sistematis sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan.

BAB II

DISPOSAL, DOZER DAN LINEAR PROGRAMMING

2.1 *Disposal*

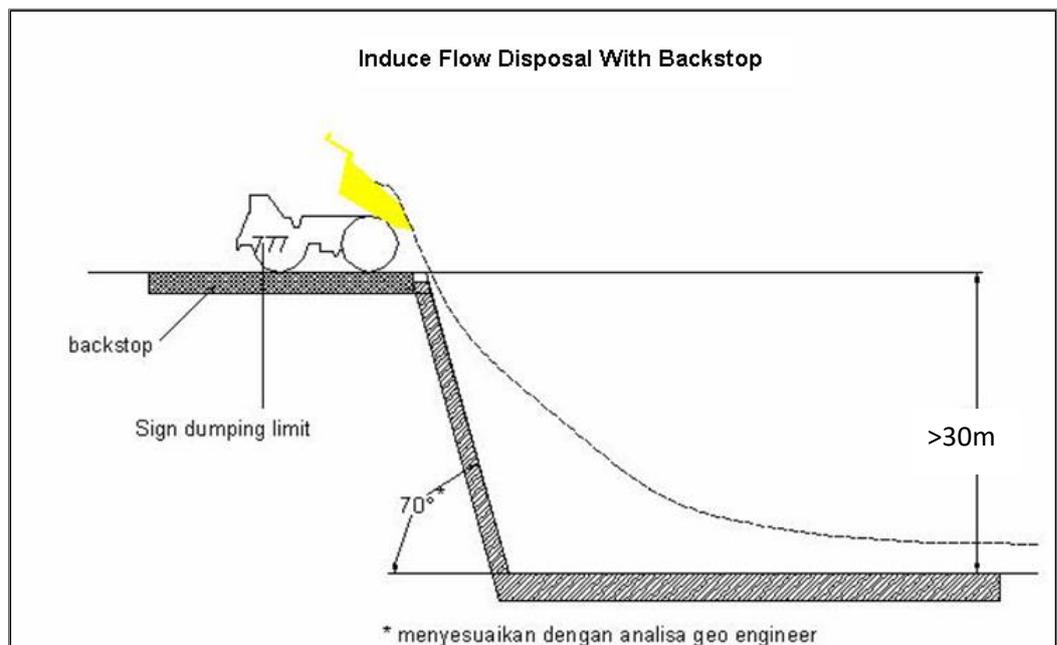
Kegiatan operasi penambangan biasanya menghasilkan sejumlah batuan sisa yang seringkali memiliki sedikit atau tanpa mineral berharga (Khorami *et. al.*, 2019). Batuan yang tidak mengandung mineral berharga disebut dengan *overburden* atau material tanah penutup (Londong dkk, 2016). Tanah penutup yang dikupas kemudian akan diangkut pada tempat penimbunan yang disebut area *disposal*. *Waste dump* atau *disposal* adalah daerah pada suatu operasi tambang terbuka yang dijadikan tempat untuk membuang material yang memiliki kadar rendah atau material bukan bijih. Material tersebut perlu digali dari *pit* demi memperoleh bijih atau material dengan kadar tinggi (Mulyanti dkk, 2017).

Material *disposal* adalah material-material yang digunakan untuk konstruksi yang meliputi batuan kuari, pecahan batuan *slag*, dan *reject screening*. Batuan kuari adalah batuan dasar yang berasal dari daerah-daerah *bluezone* atau *bedrock*. *Slag* (terak nikel) adalah limbah buangan dari industri pengolahan nikel yang membentuk *liquid* panas yang kemudian mengalami pendinginan sehingga membentuk batuan alam yang terdiri dari *slag* padat dan *slag* yang berpori. Material *reject* adalah material-material (batu atau *boulder*) yang menjadi pengotor dalam kegiatan pengambilan ROM. Material *disposal* ini berguna untuk menambah kekuatan dari tanah. Selain sebagai bahan perkerasan jalan, material *disposal* juga digunakan sebagai bahan perkerasan permukaan lapangan di front dan sebagai bahan untuk perkuatan material di *disposal*. Material *disposal* yang atas tiga macam yaitu kuari, *reject* dan *slag* (Mulyanti dkk, 2017).

Tipe-tipe *disposal* yang biasa diterapkan dalam pertambangan menggunakan jenis penambangan *open cast mining*. Berdasarkan ketinggiannya, terdapat tiga jenis *disposal*, yaitu (PT Vale Indonesia, 2021):

1. *Disposal Induced Flow*

Disposal induced flow adalah *disposal* yang memanfaatkan ketinggian lereng tempat penongkangan (*dumping point*) untuk mengalirkan material ke kaki *disposal*. Agar efektif, ketinggian awal lereng tempat *dumping*-nya harus lebih dari 30 m. Persyaratan utama untuk *disposal* ini adalah tempat penongkangan harus stabil berupa batuan yang kokoh dengan nilai faktor keamanan lerengnya minimal 1.30. Pada tipe ini, *dump truck* melakukan penongkangan material *overburden* atau *waste* pada tepi lereng. Tipe *disposal induced flow* dapat dilihat pada Gambar 2.1.

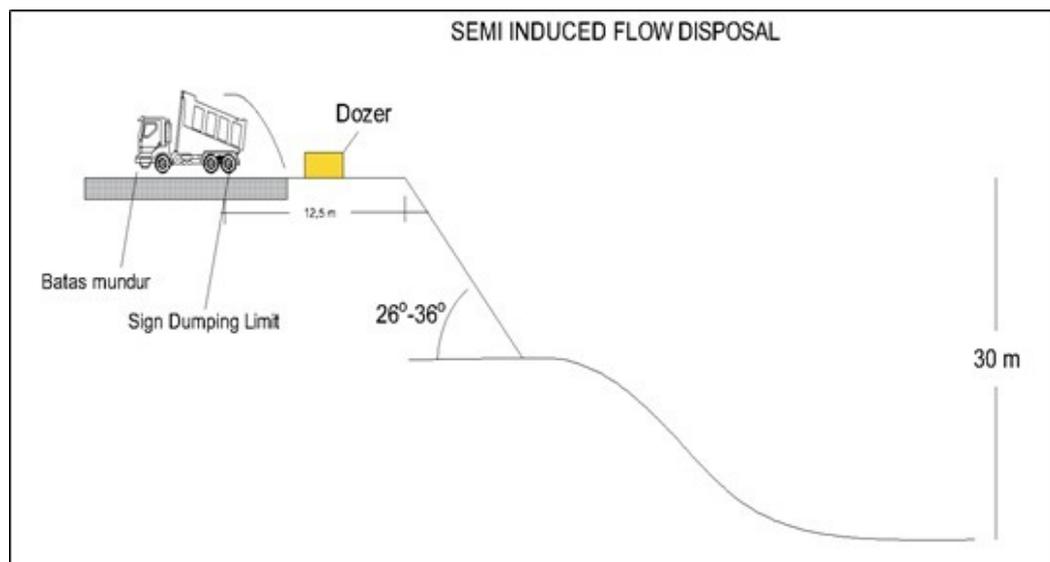


Gambar 2.1 *Disposal induced flow* (PT Vale Indonesia, 2021).

2. *Disposal Semi Induced Flow*

Disposal semi induced flow adalah *disposal* yang memanfaatkan ketinggian lereng tempat penongkangan (*dumping point*) untuk mengalirkan material ke

kaki *disposal* dengan bantuan *dozer*. Agar efektif, ketinggian awal lereng tempat *dumping*-nya harus lebih dari 15 m dan kurang dari 30 m. *Disposal* tipe *semi induced flow* tempat *dumping*-nya harus berupa tanah asli (original) atau batuan yang kokoh dengan nilai faktor keamanan lerengnya minimal 1.30. Pada saat mulai digunakan, jarak minimum antara ujung lereng dan batas *dumping* minimal 7.5 m. Apabila *disposal* ini melakukan penimbungan pada lereng yang berjenjang maka timbunannya dapat mengisi jenjang pertama. Untuk kasus ini batas *dumping* dapat dimajukan dengan menganggap timbunan pada jenjang pertama berada dalam kondisi yang stabil dengan kemiringan 26 derajat dan maksimum ketebalan timbunan adalah 10 meter. Penentuan batas *dumping* harus berdasarkan kajian geoteknik. Tipe *disposal semi induced flow* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

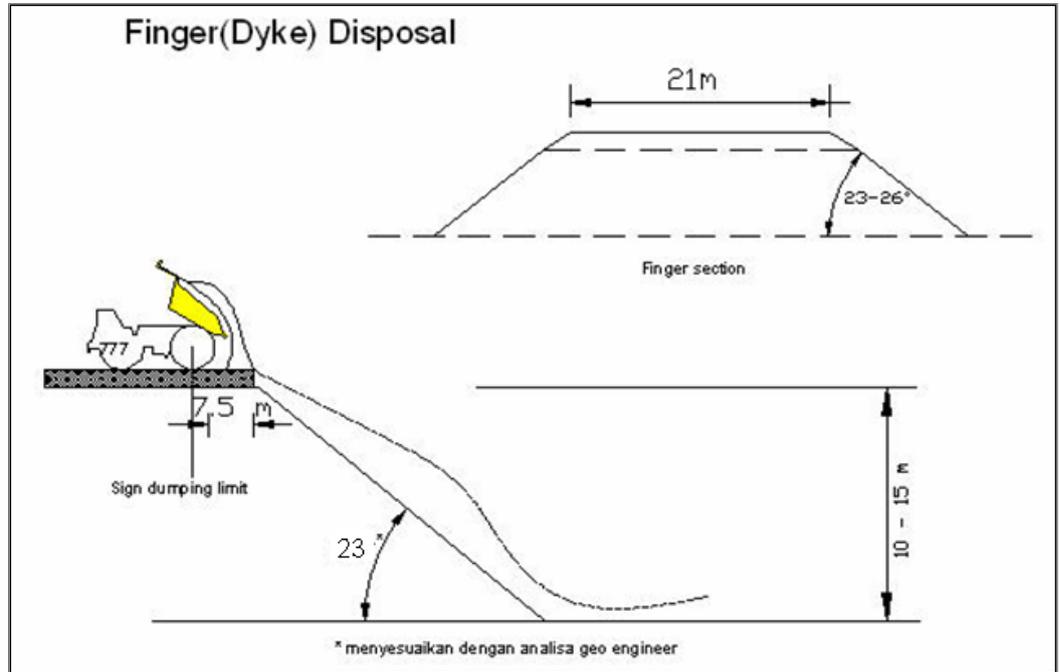


Gambar 2.2 *Disposal semi induced flow* (PT Vale Indonesia, 2021).

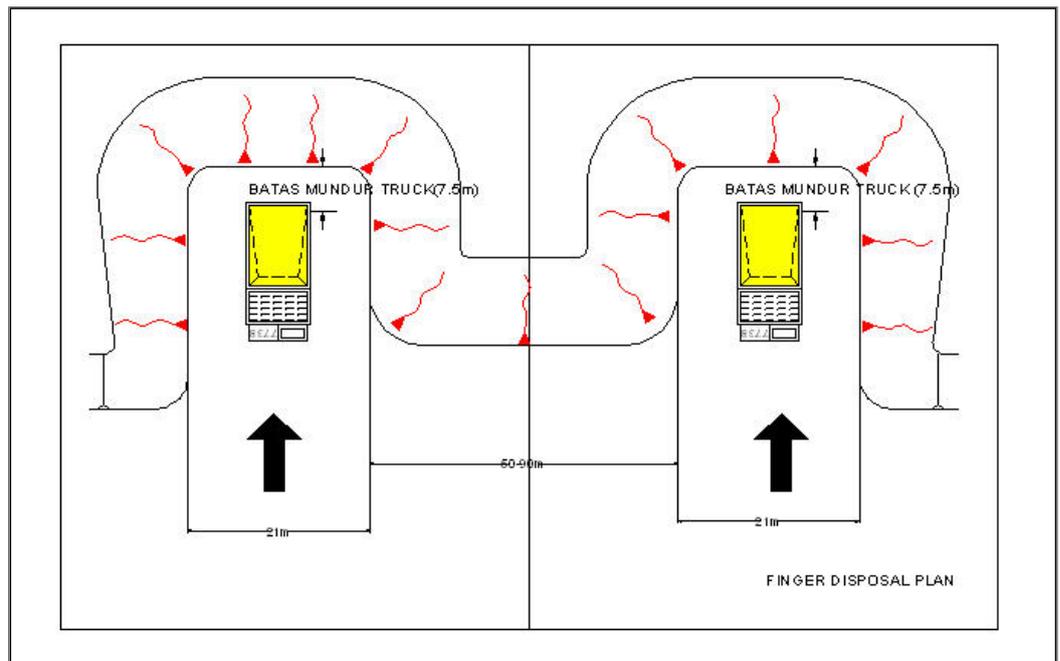
3. *Disposal Finger*

Disposal finger adalah *disposal* yang dibuat maju dengan bantuan *dozer* dan membutuhkan kontinuitas dari material sipil sebagai landasan tempat penongkangan truk dan memanfaatkan beda ketinggian kurang dari 15 m

dengan sudut kemiringan final 26 – 30 derajat. *Disposal finger* dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan tampak atas dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 *Disposal finger* (PT Vale Indonesia, 2021).



Gambar 2.4 Tampak atas *disposal finger* (PT Vale Indonesia, 2021).

2.2 Dozer

Dozer merupakan traktor yang dipasangkan pisau atau *blade* di bagian depannya. *Blade* berfungsi untuk mendorong atau memotong material yang ada di depannya. *Dozer* dapat digunakan untuk bermacam-macam pekerjaan seperti menggali, mendorong, menggosur, menggerak dan sebagainya dan efisien untuk kondisi medan kerja yang berat seperti daerah berbukit, berbatu dan hutan. *Dozer* mampu beroperasi pada tanah yang kering hingga lembab. Jenis pekerjaan yang biasanya menggunakan *dozer* seperti mengupas *top soil* dan pembersihan lahan dari pepohonan, pembukaan jalan baru, pemindahan material pada jarak pendek sampai dengan 100 m, membantu mengisi material pada *scraper*, menyebarkan material, mengisi kembali saluran dan membersihkan *quarry*. *Dozer* terdiri dari tiga bagian, yaitu penggerak utama (*prime mover*), traktor dan pisau (*blade*) di bagian depan (Rostiyanti, 2008).

Macam-macam *dozer* dibagi berdasarkan (Anisari, 2018):

1. *Undercarriage*

Undercarriage adalah bagian-bagian dari *dozer* yang berada di bawah kabin yang berfungsi untuk menggerakkan *dozer* ke depan atau ke belakang. Roda penggeraknya roda rantai (*crawler*) atau roda ban (*tires* atau *wheel*).

2. *Attachment*

Macam *dozer* berdasarkan *attachment*-nya (kelengkapan mekanis) yang dipasang pada bagian depan yang disebut *blade* atau *rake* dan bagian belakang disebut *ripper* jika berbentuk berupa garpu.

3. Media/alat penggerak *blade*

Berdasarkan media penggerak *blade*-nya terdiri dari *dozer* dengan penggerak *hydraulic* dan *dozer* dengan penggerak kabel.

Proyek-proyek konstruksi terutama proyek yang memiliki hubungan pada kegiatan pemindahan tanah, terdapat berbagai fungsi *dozer* seperti dibawah ini (Rostiyanti, 2008):

1. Mengupas lapisan permukaan.
2. Pembukaan jalan baru.
3. Menyebarkan material.
4. Mengupas *top soil* dan pembersihan lahan dari pepohonan.
5. Memindahkan material pada jarak pendek sampai dengan 100 m.
6. Membantu mengisi material pada *scraper*.
7. Mengisi kembali saluran
8. Membersihkan *quarry*.

Ada beberapa macam jenis pisau yang dipasangkan pada *dozer* yang dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pemilihan jenis pisau yang digunakan tergantung pada jenis pekerjaan yang akan dilakukan. Jenis pisau yang umum dipakai adalah (Rostiyanti, 2008):

1. *Straight blade (S-blade)*

S-blade cocok digunakan untuk segala jenis lapangan, digunakan untuk pekerjaan pengupasan dan penimbunan tanah. *Blade* jenis ini dapat bekerja pada tanah keras dan dapat menggusur material dengan mudah.

2. *Angle blade (A-blade)*

Mempunyai lebar lebih besar 0,3 m sampai 0,6 m dibandingkan *S-blade*. *Blade* jenis ini digunakan untuk pembuangan material ke samping, penggalian saluran, pembukaan lahan dan pekerjaan lainnya.

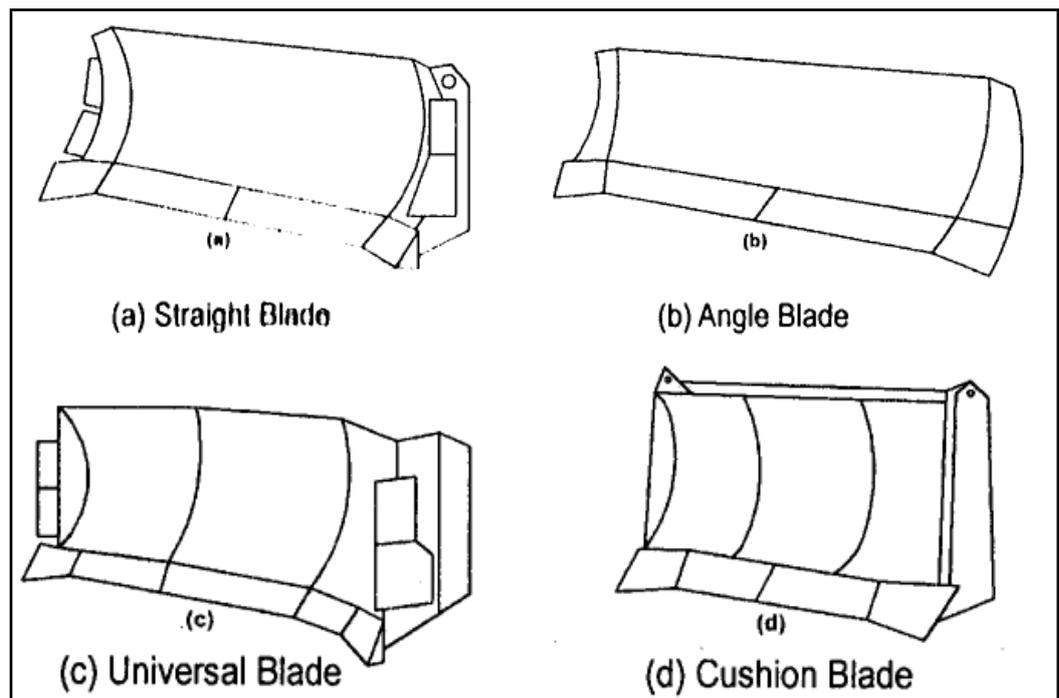
3. *Universal blade (U-blade)*

Universal blade dilengkapi dengan sayap yang terdapat di sisi *blade*, dengan ini memungkinkan *dozer* membawa atau mendorong muatan lebih banyak. *Blade*

jenis ini didesain untuk pekerjaan dengan material yang terlepas seperti *stockpile* dari tanah lepas atau gembur, reklamasi dengan tanah lepas. *Blade* jenis ini mempunyai kemampuan untuk mengangkut material dalam jumlah besar pada jarak tempuh yang relatif jauh.

4. *Cushion blade (C-blade)*

C-blade umumnya dipasang pada traktor yang besar yang digunakan untuk mendorong *scraper*. *Blade* jenis ini lebih pendek daripada jenis *S-blade*.



Gambar 2.5 Macam-macam *blade* (Rostiyanti, 2008).

2.2.1 Waktu Edar

Alat - alat berat yang bekerja mempunyai kemampuan memindah material persiklus. Siklus kerja adalah proses gerakan dari suatu alat dari gerakan awalnya sampai kembali lagi pada gerakan awal tersebut. Waktu yang diperlukan untuk melakukan satu siklus kegiatan tersebut disebut dengan waktu siklus edar atau *cycle time*. Kegiatan pemindahan material, siklus kerja merupakan suatu kegiatan oleh alat yang dilakukan berulang. Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu edar yaitu (Anisari, 2018):

1. Ukuran Unit

Semakin besar unit, maka waktu edar yang dibutuhkan akan semakin lama.

2. Jenis Material

Adanya bongkahan material tanah penutup besar dan jenis material basah seperti material *cut back* dan *spoil* mengakibatkan daya dorong terhadap material tinggi dan berpengaruh pada lamanya waktu penggusuran.

3. Keterampilan Operator

Semakin bagus keterampilan operator dalam mengoperasikan unit alat, maka waktu edar yang dibutuhkan akan cepat.

Komponen-komponen waktu siklus untuk *dozer* dapat dilihat pada Persamaan 2.1 (Komatsu, 2009).

$$Cycle\ Time = dozing + reversing + gear\ shifting..... (2.1)$$

Keterangan:

Dozing = Waktu mendorong material

Reversing = Waktu kembali mundur

Gear shifting = Waktu ganti perseneling

2.2.2 Efisiensi Kerja Alat

Efisiensi kerja merupakan penilaian terhadap pelaksanaan suatu pekerjaan atau merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu yang tersedia. Dalam perhitungannya digunakan pengertian persentase waktu kerja efektif (%). Efisiensi kerja dapat dinyatakan dengan perbandingan waktu yang digunakan untuk beroperasi dengan waktu kerja yang direncanakan. Nilai efisiensi kerja alat dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.2 (Hustrulid *et al.*, 2013).

$$Ek = \frac{Wp}{Wk}(2.2)$$

Keterangan:

Ek = Efisiensi kerja (%)

Wp = Waktu Produksi (Jam)

Wk = Waktu Kerja (Jam)

Nilai efisiensi kerja alat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Efisiensi kerja alat (Sharkhel *and* Dey, 2015).

Kondisi operasi	Efisiensi Kerja
Sangat Baik	0,95
Baik	0,85
Rata-rata	0,75
Cukup	0,65
Buruk	0,55

2.2.3 Faktor Bilah (*Blade Fill Factor*)

Produksi per siklus berbeda-beda untuk setiap jenis tanah. Faktor pengisian bilah menggunakan nilai yang terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor bilah (Komatsu, 2009).

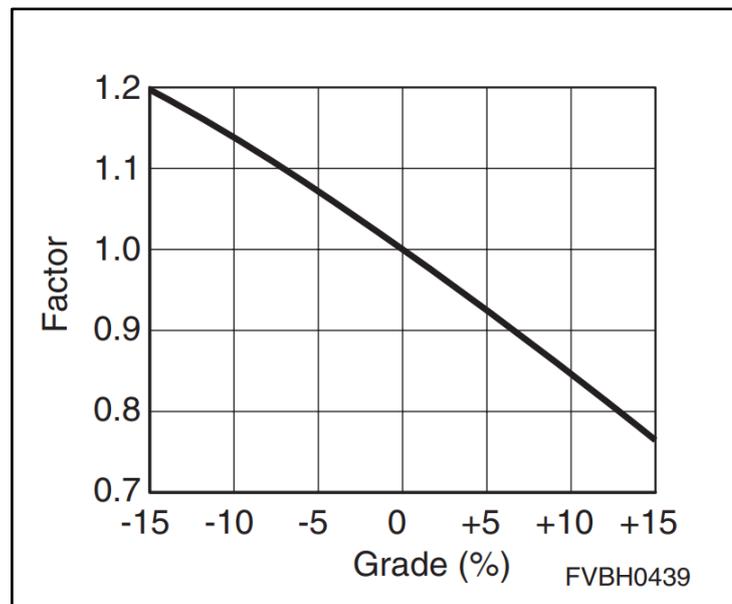
Kondisi Penggusuran	Faktor Bilah
Penggusuran ringan Bilah tanah penuh dapat diratakan sebagai tanah yang benar-benar gembur: kadar air rendah, tanah berpasir tanpa pemadatan, tanah biasa, bahan timbunan	1,1 – 0,9
Penggusuran sedang Tanah gembur, tetapi tidak mungkin digusur dengan seluruh bilah tanah: tanah dengan kerikil, pasir, batu pecah	0,9 – 0,7
Penggusuran agak sulit Kadar air yang tinggi dan tanah liat lengket, pasir berbatu, tanah liat yang sangat kering dan tanah asli	0,7 – 0,6

Tabel 2.2 Faktor bilah (Lanjutan) (Komatsu, 2009).

	Kondisi Penggusuran	Faktor Bilah
Penggusuran sulit	Batuan hasil ledakan, batuan berukuran besar	0,6 – 0,4

2.2.4 *Grade Factor*

Kemampuan produksi *dozer* dipengaruhi oleh tingkat kelandaian tanah permukaan operasi *dozer* saat unit *dozer* melakukan penggusuran. *Grade factor* bisa ditentukan dengan melihat grafik pada Gambar 2.6 (Komatsu, 2009).



Gambar 2.6 *Grade factor* (Komatsu, 2009).

2.2.5 Produksi

Produktivitas adalah kemampuan alat dalam satuan waktu (m^3/jam) dan alat berat merupakan faktor penting didalam proyek terutama proyek-proyek konstruksi dengan skala yang besar. Tujuan penggunaan alat-alat berat tersebut untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan bisa tercapai dengan lebih mudah dengan waktu yang relatif singkat.

Produktivitas alat tergantung pada kapasitas, waktu siklus alat, dan efisiensi alat (Rostiyanti, 1999).

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. Terdapat pula metode yang mempertimbangkan atribut mekanis dan manajemen untuk menghitung produksi *dozer* yaitu jarak perpindahan tanah, tahanan gelinding, derajat kemiringan, kompetensi operator, cuaca, kondisi tanah, kapasitas sudu, mempertimbangkan suhu udara dan variasi barometrik (Kim *et al*, 2019).

Perhitungan produksi *dozer* dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu dengan menentukan volume beban pisau, menentukan kecepatan gerak (durasi siklus), dan dengan cara menentukan produksi bersama dengan penerapan koefisien koreksi untuk kondisi kerja dan pemanfaatan dari jam kerja. Perhitungan tertentu termasuk perhitungan kecepatan gerak berdasarkan *rimpull dozer* yang telah ditentukan (Klanfar, *et al.*, 2014). Produksi alat dorong dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3 (Komatsu, 2009):

$$P = q \times \frac{60}{C_m} \times e \times E \dots \dots \dots (2.3)$$

$$q = q_1 \times a \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

P = Produksi per jam (m³/jam)

q = Produksi per siklus (m³)

q1 = Kapasitas *blade* (m³)

a = *Fill factor blade*

- Cm = *Cycle time* (menit)
e = Faktor kelandaian
E = Efisiensi kerja

2.3 Linear Programming

2.3.1 Optimasi

Manajemen produksi dan operasi merupakan kegiatan untuk mengatur dan mengkoordinasikan penggunaan sumberdaya-sumberdaya baik berupa sumberdaya manusia, sumberdaya alat, sumberdaya dana dan bahan secara efektif dan efisien untuk menciptakan atau menambah kegunaan suatu barang atau jasa. Istilah manajemen tercakup semua kegiatan atau aktivitas yang menghasilkan barang atau jasa. Tahap-tahap utama yang harus dilakukan untuk melakukan studi tentang riset operasi yaitu (Zaenal, 2008):

1. Definisi Masalah

Tahap yang harus diperhatikan dalam tahap ini adalah deskripsi tentang sasaran atau tujuan dari studi tersebut, identifikasi alternatif keputusan sistem tersebut, dan pengenalan tentang keterbatasan, batasan dan persyaratan sistem tersebut.

2. Pengembangan Model

Model yang dikembangkan harus sesuai dan mewakili sistem yang bersangkutan, serta dapat menyatakan ekspresi kuantitatif dari tujuan dan batasan masalah dalam bentuk variabel keputusan.

3. Pemecahan Masalah

Pemecahan masalah dicapai dengan menggunakan teknik-teknik optimalisasi yang diidentifikasi dengan baik dan menghasilkan pemecahan yang optimal

Optimasi merupakan pendekatan normatif dengan mengidentifikasi penyelesaian terbaik dari suatu permasalahan yang diarahkan pada titik maksimum atau minimum

suatu fungsi tujuan (Taylor, 2013). Optimasi produksi di dunia pertambangan dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu dengan melakukan optimasi kemampuan produksi alat berat, efisiensi waktu kerja dan sebagainya. Optimasi kemampuan produksi alat berat merupakan faktor yang sangat penting karena biaya yang dikeluarkan dalam operasional tambang banyak dihasilkan oleh aktivitas operasional alat berat. Ada berbagai metode optimasi produksi dan pemilihan peralatan serta peningkatan produksi alat, yaitu seperti metode *match factor*, teori antrian, *linear programming* dan simulasi (Prasmoro dan Hasibuan, 2018).

Optimasi adalah serangkaian proses untuk mendapatkan gugus kondisi yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik dalam suatu kondisi tertentu. Dapat diketahui optimasi dengan pendekatan normatif dapat mengidentifikasi penyelesaian terbaik suatu masalah yang diarahkan pada tujuan maksimisasi atau minimisasi melalui fungsi tujuan. Optimasi bertujuan memaksimalkan keuntungan atau nilai dari produk yang dihasilkan dari proses produksi dan meminimumkan biaya atau segala pengorbanan yang diperlukan dalam proses produksi dengan memperhatikan kendala-kendala yang berada di luar jangkauan pelaku kegiatan. Oleh karena itu, dalam upaya pencapaian tujuan tersebut kegiatan produksi selalu berusaha untuk mengalokasikan sumberdaya yang terbatas diantara berbagai kegiatan yang saling bersaing (Kesuma, 2006).

2.3.2 *Linear Programming*

Salah satu teknik dalam riset operasi yang sering digunakan untuk memecahkan masalah optimasi berkendala adalah teknik program linear (*linear programming*), baik secara manual maupun dengan bantuan komputer untuk menghasilkan solusi yang cepat dan akurat bagi manajemen perusahaan (Kesuma, 2006). *Linear programming* yang merupakan salah satu metode untuk menyelesaikan masalah optimasi suatu model linear dengan keterbatasan-keterbatasan sumberdaya yang tersedia (Margaretta dan

Gondokusumo, 2017). Metode program linear atau *linear programming* mencakup fungsi tujuan dan kendala. *Linear programming* adalah cabang matematika terapan yang berhubungan dengan pemecahan masalah optimasi bentuk tertentu. Masalah *linear programming* terdiri dari fungsi biaya linear (terdiri dari sejumlah variabel tertentu) yang harus diminimalkan atau dimaksimalkan suatu subjek pada sejumlah kendala tertentu (Schulze, 1998).

Model *linear programming* dapat menentukan nilai dari variabel keputusan yang terdapat di dalam model *linear programming*. Metode yang dapat digunakan untuk mencari solusi dari model *linear programming* terbagi menjadi dua, yaitu metode grafik dan metode simpleks. Metode grafik digunakan jika banyaknya variabel keputusan di dalam model *linear programming* sejumlah dua variabel keputusan (= 2 variabel). Metode simpleks digunakan jika banyaknya variabel keputusan di dalam model *linear programming* minimal dua variabel keputusan (≥ 2 variabel) (Christian, 2013).

Linear programming merupakan salah satu teknik optimasi yang paling banyak digunakan dan metode yang paling efektif berupa teknik matematis untuk menentukan alokasi terbaik dari sumber daya perusahaan yang terbatas untuk mencapai tujuan yang optimal yang mencakup semua faktor produksi seperti mesin, tenaga kerja, bahan baku, modal dan teknologi yang tersedia. Metode *linear programming* dapat mengoptimalkan fungsi tujuan (memaksimalkan atau meminimalkan) dengan persamaan dan fungsi kendala pertidaksamaan linear. Masalah mengenai alokasi sumber daya akan muncul jika terdapat kegiatan tertentu yang memerlukan pemenuhan kebutuhan, sehingga masalah-masalah tersebut akan diterjemahkan ke dalam rumusan matematika. Selain itu, teknik *linear programming* merupakan model optimasi alokasi sumber daya untuk mencapai efisiensi dalam perencanaan produksi (Adriantantri and Indriani, 2021).

Untuk membentuk suatu model *linear programming* diperlukan penerapan asumsi-asumsi dasar, yaitu (Abdillah, 2013):

1. Asumsi Linearitas

Asumsi ini menyatakan bahwa fungsi tujuan dan semua kendala harus berbentuk linier, dengan kata lain apabila suatu kendala melibatkan dua variabel keputusan maka dalam diagram dimensi dua kendala tersebut akan berupa suatu garis lurus. Apabila suatu kendala melibatkan tiga variabel maka akan menghasilkan suatu bidang datar dengan kendala yang melibatkan n variabel akan menghasilkan bentuk geometris yang rata dalam ruang berdimensi n .

2. Asumsi Pembagian

Asumsi ini menyatakan bahwa nilai variabel keputusan yang diperoleh tidak harus berupa bilangan bulat, artinya nilai variabel keputusan bisa diperoleh pada nilai pecahan. Apabila diinginkan solusi berupa bilangan bulat (integer), atau harus digunakan metode untuk *integer programming*.

3. Asumsi Kesebandingan

Asumsi ini menyatakan bahwa jika variabel keputusan mengalami perubahan, maka dampak perubahannya akan menyebar dalam proporsi yang sama terhadap fungsi tujuan dan juga pada kendalanya. Misalnya, apabila variabel keputusan dinaikkan dua kali, maka secara proporsional (seimbang dan serasi) nilai-nilai fungsi tujuan dan kendalanya juga akan menjadi dua kali lipat.

4. Asumsi Kepastian

Asumsi ini menyatakan bahwa semua parameter dalam *linear programming* harus bernilai tetap dan diketahui atau ditentukan secara pasti.

5. Asumsi Penambahan

Asumsi ini menyatakan bahwa nilai parameter suatu kriteria optimasi (koefisien variabel keputusan dan fungsi tujuan) merupakan jumlah dari individu-individu c_j dalam *linear programming*. Misalnya, keuntungan total Z yang merupakan variabel keputusan sama dengan jumlah keuntungan yang diperoleh dari masing-

masing kegiatan. Seluruh sumber daya yang digunakan untuk semua kegiatan harus sama dengan jumlah sumber daya yang digunakan untuk masing-masing kegiatan.

Untuk menyusun dan merumuskan suatu permasalahan yang dihadapi ke dalam model *linear programming*, maka diperlukan empat syarat yang harus dipenuhi, yaitu (Kesuma, 2006):

1. Tujuan

Tujuan permasalahan yang dihadapi yang ingin dipecahkan dan dicari jalan keluarnya. Tujuan ini harus jelas dan tegas yang disebut dengan fungsi tujuan. Fungsi tujuan tersebut dapat berupa dampak positif, keuntungan yang ingin dimaksimumkan atau dampak negatif, risiko-risiko, biaya-biaya yang ingin diminimumkan.

2. Adanya Alternatif Aktivitas

Adanya berbagai alternatif yang ingin diperbandingkan, misalnya antara waktu tercepat dan biaya tertinggi dengan waktu terlambat dan biaya terendah atau antara proyeksi permintaan tinggi dan rendah.

3. Sumberdaya

Sumberdaya yang dianalisis harus berada dalam keadaan yang terbatas. Misalnya keterbatasan waktu, biaya, tenaga, luas tanah ruangan dan lain-lain.

4. Keterkaitan Peubah

Peubah-peubah yang membentuk fungsi tujuan dan kendala tersebut harus memiliki hubungan fungsional atau hubungan keterkaitan. Hubungan keterkaitan tersebut dapat diartikan sebagai hubungan yang saling mempengaruhi, hubungan interaksi, interdependensi, timbal-balik, saling menunjang dan sebagainya.

Linear programming untuk mencari nilai – nilai peubah atau variabel x_1, x_2, \dots, x_n yang memaksimumkan atau meminimumkan seperti persamaan-persamaan di bawah ini (Nehring *et. al*, 2010):

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \dots \dots \dots (2.8)$$

dengan kendala:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\leq, =, \geq) b_1 \dots \dots \dots (2.9)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n (\leq, =, \geq) b_2 \dots \dots \dots (2.10)$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n (\leq, =, \geq) b_m \dots \dots \dots (2.11)$$

dalam model ini, Z mewakili nilai fungsi tujuan yang dapat memaksimumkan keuntungan atau meminimumkan biaya, x_j adalah variabel keputusan yang nilainya ditentukan oleh model, a_{ij} dan c_j adalah konstanta yang nilainya ditentukan oleh sifat masalah dan b_i adalah nilai konstanta di ruas kanan.

Penentuan kendala dilakukan dengan memilih satu di antara tiga tanda \leq (kurang atau sama dengan), $=$ (sama dengan), \geq (lebih atau sama dengan). Perumusan di atas dapat ditulis lebih ringkas sebagai berikut (Abdillah, 2013):

Mencari $x_j, j = 1, 2, \dots, n$ yang memaksimumkan atau meminimumkan seperti Persamaan 2.12:

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \dots \dots \dots (2.12)$$

Sedemikian hingga:

$$Z = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan syarat $x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$ karena persoalan *linear programming* merupakan masalah alokasi sumber daya, maka perumusan di atas dapat diinterpretasikan bahwa jika (b_1, b_2, \dots, b_m) adalah jumlah sumber daya ke-i yang harus dialokasikan pada setiap kegiatan atau aktivitas ke-j. Sumbangan laba dari setiap kegiatan ke-j dinyatakan oleh konstanta $c_j, j = 1, 2, \dots, n$.

Terdapat empat jenis analisis dalam *linear programming*, yaitu (Kesuma, 2006):

1. Analisis Primal

Analisis primal berfungsi untuk mengetahui jumlah kombinasi produk yang terbaik dengan menghasilkan tujuan Z , dimana dalam tujuan Z tersebut meminimumkan deviasi atas atau bawah dengan kendala keterbatasan sumberdaya yang tersedia.

2. Analisis Dual

Analisis dual berfungsi untuk mengetahui penilaian terhadap sumberdaya. Penilaian ini dilakukan dengan melihat nilai *slack* atau *surplus* dan nilai dual yang ada. Apabila dari nilai perhitungan terdapat nilai *slack* atau *surplus* yang lebih besar dari nol dan nilai dual sama dengan nol, maka dapat disimpulkan bahwa sumberdaya tersebut keberadaannya berlebihan dan sebaliknya. Nilai dual yang dihasilkan dalam analisis dual menunjukkan perubahan fungsi tujuan apabila sumberdaya tersebut berubah satu satuan. Dari analisis dual juga dapat diketahui sumberdaya mana saja yang membatasi fungsi tujuan, yang dapat dilihat dengan cara melihat sumberdaya yang memiliki nilai dual lebih besar dari nol yang disebut sebagai kendala aktif.

3. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas terdiri dari analisis perubahan koefisien dari fungsi tujuan dan analisis *right hand side* (RHS) atau kisaran sisi kanan dari fungsi tujuan.

4. Analisis Post-optimal

Analisis post optimal merupakan suatu analisis untuk mempelajari nilai-nilai dari peubah-peubah pengambilan keputusan dalam suatu model matematika jika satu, beberapa atau semua parameter model tersebut berubah. Analisis post optimal dilakukan setelah diketahui kondisi yang optimal untuk suatu model tertentu.

2.3.3 Metode Simpleks

Teknik penentuan solusi optimal yang digunakan dalam *linear programming* salah satunya adalah metode simpleks. 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, sehingga penentuan solusi optimal dengan simpleks dilakukan tahap demi tahap yang disebut dengan iterasi. Iterasi ke- i hanya tergantung dari iterasi sebelumnya ($i-1$) (Siringoringo, 2005).

Beberapa istilah yang sangat sering digunakan dalam metode simpleks, diantaranya (Siringoringo, 2005):

1. Iterasi adalah tahapan perhitungan dimana nilai dalam perhitungan itu tergantung dari nilai tabel sebelumnya.
2. Variabel non basis adalah variabel yang nilainya diatur menjadi nol pada sembarang iterasi. Jumlah variabel non basis selalu sama dengan derajat bebas dalam sistem persamaan.
3. Variabel basis merupakan variabel yang nilainya bukan nol pada sembarang iterasi. Variabel basis merupakan variabel *slack* (jika fungsi kendala merupakan pertidaksamaan \leq) atau variabel buatan (jika fungsi kendala menggunakan pertidaksamaan \geq atau $=$) pada solusi awal. Secara umum, jumlah variabel basis selalu sama dengan jumlah fungsi pembatas (tanpa fungsi non negatif).
4. Solusi atau nilai kanan merupakan nilai sumber daya pembatas yang masih tersedia. Nilai kanan atau solusi sama dengan jumlah sumber daya pembatas awal yang ada, karena aktivitas belum dilaksanakan pada solusi awal.
5. Variabel *slack* adalah variabel yang ditambahkan ke model matematik kendala untuk mengonversikan pertidaksamaan \leq menjadi persamaan ($=$). Penambahan

variabel ini terjadi pada tahap inisialisasi. Pada solusi awal, variabel *slack* akan berfungsi sebagai variabel basis.

6. Variabel *surplus* adalah variabel yang dikurangkan dari model matematik kendala untuk mengkonversikan pertidaksamaan \geq menjadi persamaan (=). Penambahan ini terjadi pada tahap inisialisasi. Variabel *surplus* tidak dapat berfungsi sebagai variabel basis pada solusi awal.
7. Variabel buatan adalah variabel yang ditambahkan ke model matematik kendala dengan bentuk \geq atau $=$ untuk difungsikan sebagai variabel basis awal. Penambahan variabel ini terjadi pada tahap inisialisasi. Variabel ini harus bernilai 0 pada solusi optimal, karena kenyataannya variabel ini tidak ada. Variabel hanya ada di atas kertas.
8. Kolom pivot (kolom kerja) adalah kolom yang memuat variabel masuk. Koefisien pada kolom ini akan menjadi pembagi nilai kanan untuk menentukan baris pivot (baris kerja).
9. Baris pivot (baris kerja) adalah salah satu baris dari antara variabel basis yang memuat variabel keluar.
10. Elemen pivot (elemen kerja) adalah elemen yang terletak pada perpotongan kolom dan baris pivot. Elemen pivot akan menjadi dasar perhitungan untuk tabel simpleks berikutnya.
11. Variabel masuk adalah variabel yang terpilih untuk menjadi variabel basis pada iterasi berikutnya. Variabel masuk dipilih satu dari antara variabel non basis pada setiap iterasi. Variabel ini pada iterasi berikutnya akan bernilai positif.
12. Variabel keluar adalah variabel yang keluar dari variabel basis pada iterasi berikutnya dan digantikan oleh variabel masuk. Variabel keluar dipilih satu dari antara variabel basis pada setiap iterasi. Variabel ini pada iterasi berikutnya akan bernilai nol.

Sebelum melakukan perhitungan iteratif untuk menentukan solusi optimal, pertama sekali bentuk umum pemrograman linier dirubah ke dalam bentuk baku terlebih dahulu. Bentuk baku dalam metode simpleks tidak hanya mengubah persamaan kendala ke dalam bentuk sama dengan, tetapi setiap fungsi kendala harus diwakili oleh satu variabel basis awal. Variabel basis awal menunjukkan status sumber daya pada kondisi sebelum ada aktivitas yang dilakukan. Dengan kata lain, variabel keputusan semuanya masih bernilai nol. Dengan demikian, meskipun fungsi kendala pada bentuk umum *linear programming* sudah dalam bentuk persamaan, fungsi kendala tersebut masih harus tetap berubah. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam membuat bentuk baku, yaitu (Siringoringo, 2005):

1. Fungsi kendala dengan pertidaksamaan \leq dalam bentuk umum, diubah menjadi persamaan (=) dengan menambahkan satu variabel *slack*.
2. Fungsi kendala dengan pertidaksamaan \geq dalam bentuk umum, dirubah menjadi persamaan (=) dengan mengurangi satu variabel *surplus*.
3. Fungsi kendala dengan persamaan dalam bentuk umum, ditambahkan satu *artificial variable* (variabel buatan).

Langkah-langkah penyelesaian adalah sebagai berikut (Siringoringo, 2005):

1. Periksa apakah tabel layak atau tidak. Kelayakan tabel simpleks dilihat dari solusi (nilai kanan). Jika solusi ada yang bernilai negatif, maka tabel tidak layak. Tabel yang tidak layak tidak dapat diteruskan untuk dioptimalkan.
2. Tentukan kolom pivot. Penentuan kolom pivot dilihat dari koefisien fungsi tujuan (nilai di sebelah kanan baris z) dan tergantung dari bentuk tujuan. Jika tujuan maksimisasi, maka kolom pivot adalah kolom dengan koefisien paling negatif. Jika tujuan minimisasi, maka kolom pivot adalah kolom dengan koefisien positif terbesar. Jika kolom pivot ditandai dan ditarik ke atas, maka kita akan mendapatkan variabel keluar. Jika nilai paling negatif (untuk tujuan maksimisasi)

atau positif terbesar (untuk tujuan minimisasi) lebih dari satu, pilih salah satu secara sembarang.

3. Tentukan baris pivot. Baris pivot ditentukan setelah membagi nilai solusi dengan nilai kolom pivot yang bersesuaian (nilai yang terletak dalam satu baris). Dalam hal ini, nilai negatif dan 0 pada kolom pivot tidak diperhatikan, artinya tidak ikut menjadi pembagi. Baris pivot adalah baris dengan rasio pembagian terkecil. Jika baris pivot ditandai dan ditarik ke kiri, maka kita akan mendapatkan variabel keluar. Jika rasio pembagian terkecil lebih dari satu, pilih salah satu secara sembarang.
4. Tentukan elemen pivot. Elemen pivot merupakan nilai yang terletak pada perpotongan kolom dan baris pivot.
5. Bentuk tabel simpleks baru. Tabel simpleks baru dibentuk dengan pertama sekali menghitung nilai baris pivot baru. Baris pivot baru adalah baris pivot lama dibagi dengan elemen pivot. Baris baru lainnya merupakan pengurangan nilai kolom pivot baris yang bersangkutan dikali baris pivot baru dalam satu kolom terhadap baris lamanya yang terletak pada kolom tersebut.
6. Periksa apakah tabel sudah optimal. Keoptimalan tabel dilihat dari koefisien fungsi tujuan (nilai pada baris z) dan tergantung dari bentuk tujuan. Untuk tujuan maksimisasi, tabel sudah optimal jika semua nilai pada baris z sudah positif atau 0. Pada tujuan minimisasi, tabel sudah optimal jika semua nilai pada baris z sudah negatif atau 0. Jika belum, kembali ke tahap menentukan kolom pivot, jika sudah optimal baca solusi optimalnya.

2.3.4 Metode Grafik

Salah satu metode untuk menentukan solusi permasalahan adalah *linear programming* adalah metode grafik. 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. Metode grafik hanya digunakan untuk pemakaian dua variabel keputusan. Jika terdapat lebih dari dua variabel keputusan, maka metode grafik tidak dapat digunakan tetapi dapat diselesaikan dengan metode simpleks (Maswarni dkk, 2019).

Terdapat tujuh langkah dalam pemecahan masalah grafik, yaitu (Maswarni dkk, 2019):

1. Mengidentifikasi variabel keputusan dan memformulasikan ke dalam bentuk matematis.
2. Mengidentifikasi tujuan yang akan dicapai dan kendala-kendala yang digunakan.
3. Memformulasikan tujuan dan kendala ke dalam model matematis.
4. Membuat grafik untuk kendala-kendala ke dalam satu bagian. Untuk membuat grafik fungsi kendala yang berbentuk pertidaksamaan (\leq dan \geq) diubah terlebih dahulu ke dalam bentuk persamaan (=).
5. Menentukan *feasible area* (area layak) pada grafik tersebut. Area layak dapat dilihat dari pertidaksamaan pada kendala. Apabila kendala berbentuk \leq , maka daerah arsiran atau layak terjadi pada bagian kiri/bawah/kiri bawah. Tetapi apabila bentuk pertidaksamaan \geq , maka pengarsiran dilakukan ke kanan/atas/kanan atas. Apabila bentuk persamaan (=), maka daerah layak terjadi di sepanjang grafik tersebut.
6. Menentukan titik-titik variabel keputusan pada area tersebut.
7. Memilih variabel keputusan dari titik yang telah dibuat.