

**PEMODELAN DINAMIS KEUNTUNGAN PRODUKSI *OVERBURDEN*
PER *FLEET* BERDASARKAN JARAK DAN KECEPATAN
PENGANGKUTAN DI *SITE* TIA PT CIPTA KRIDATAMA
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

SKRIPSI



HARUN

D62116008

**DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2020



HALAMAN PENGESAHAN



HARUN
D62116008

**PEMODELAN DINAMIS KEUNTUNGAN PRODUKSI *OVERBURDEN*
PER *FLEET* BERDASARKAN JARAK DAN KECEPATAN
PENGANGKUTAN DI *SITE* TIA PT CIPTA KRIDATAMA
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S-1) pada
Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin
Disetujui di Makassar, 5 Oktober 2020

Pembimbing I

Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP. 197010052008012026

Pembimbing II

Rizki Amalia, S.T., M.T.
NIDK. 8889211019

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Pertambangan

Dr-Eng. Purwanto, S.T., M.T.
NIP. 197111282005011002



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Harun
NIM : D62116008
Judul Skripsi : Pemodelan Dinamis Keuntungan Produksi *Overburden* Per Fleet
Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Pengangkutan Di Site TIA
PT Cipta Kridatama Provinsi Kalimantan Selatan

Bahwa benar adalah Karya Ilmiah saya dan bebas dari *plagiarism* (duplikasi).

Demikian Surat Pernyataan ini dibuat, jika kemudian hari ditemukan bukti ketidakaslian atas Karya Ilmiah ini, maka Saya bersedia mempertanggungjawabkan sesuai Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Makassar, 5 November 2020
Yang bersangkutan,



(Harun)



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah Jalla Jalaluhu atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Skripsi dengan judul "Pemodelan Dinamis Keuntungan Produksi *Overburden Per Fleet* Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Pengangkutan di *Site* TIA PT Cipta Kridatama Provinsi Kalimantan Selatan" dapat diselesaikan dengan baik.

Penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Andi Mangkona selaku Direktur Operasi PT Cipta Kridatama yang telah menerima saya melaksanakan penelitian. Terima kasih kepada Bapak Ferianto, S.T. selaku Kepala Departemen Operasi yang telah mendidik saya di bawah naungan Departemen Operasi PT Cipta Kridatama *Site* TIA. Terima kasih kepada Bapak Sigit Rahmad Wibowo, Bapak Ronald Sesa, S.T. dan Bapak Mutsammir, S.T. yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis selama proses penelitian.

Terima kasih penulis haturkan kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku Pembimbing I dan Kepala Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang dan kepada Ibu Rizki Amalia, S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu untuk membimbing, memberi masukan, serta memberi semangat kepada penulis selama penyusunan Skripsi. Terima kasih kepada Bapak Dr. Irzal Nur, S.T., M.T., dan Ibu Andi Arumansawang, S.T., M.Sc. selaku tim penguji. Terima kasih pula kepada Bapak Dr-Eng. Purwanto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin, seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Pertambangan.

Terima kasih penulis haturkan kepada seluruh anggota Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Terima kasih kepada saudara-saudara ROCKBOLT tercinta Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan



2016 yang telah menjadi keluarga dan rekan kerja yang selama ini telah melewati suka dan duka, serta seluruh kakak-kakak dan adik-adik yang telah banyak membantu selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Pertambangan.

Ucapan terima kasih juga tidak kalah besarnya penulis haturkan kepada kedua orang tua Bapak Rusli Abbas dan Ibu Te'ne Baco Tahe serta seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan semangat, doa, dan membantu penulis dalam mewujudkan cita-cita. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala dukungan dan doanya.

Harapan penulis, semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah pengetahuan mengenai pemodelan dinamis keuntungan produksi *overburden*.

Makassar, Oktober 2020

Harun



ABSTRACT

PT Cipta Kridatama (PT CK) is one of the mining contractor companies in South Kalimantan Province that operates coal overburden mining activities in the mining permit area of PT Tunas Inti Abadi (PT TIA). The profit gained by PT CK Site TIA is influenced by the income earned and the costs that must be incurred during the process of stripping and hauling the overburden. Increasing the hauling distance will increase the revenues, but the costs will also be even greater. The purpose of this study is to determine the furthest hauling distance that still yields profits and determine the speed of the hauler to produce the profit of overburden production for each fleet combination using dynamic modeling methods. Based on the simulation the furthest hauling distance obtained by the fleet combination of digger 100 tons-hauler 70 tons is 1,300 meters with profit \$7.14/BCM/Hour and the simulation results of speed load and speed empty are 19.86 Km/Hour and 28.72 Km/Hour. The furthest hauling distance combined with the fleet combination of digger 100 tons-hauler 60 tons is 1,300 meters with profit \$0.60/BCM /Hour and the simulation results of speed load and speed empty are 19.14 Km/Hour and 28.86 Km/Hour. The farthest distance of fleet combination of digger 90 tons-hauler 60 tons 900 meters with profit \$10.13/BCM/Hour and the simulation results of speed load and speed empty are 19.14 Km/Hour and 28.86 Km/Hour.

Keywords: Dynamic model, digger, hauler, coal, income, cost



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Cipta Kridatama (PT CK) merupakan salah satu perusahaan kontraktor pertambangan yang melakukan aktivitas pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*) batubara pada area IUPOP (Izin Usaha Penambangan Operasi Produksi) milik PT Tunas Inti Abadi (PT TIA) di Provinsi Kalimantan Selatan. *Overburden* diangkut dari *front* penambangan ke tiga *disposal*, yaitu *Inpit Dump 1* (IP 1), *Outpit Dump 1* (OP 1) dan *Outpit Dump 2* (OP 2). Pembuangan material *overburden* pada IP 1 dilakukan langsung pada area *low wall pit*, sedangkan pembuangan material *overburden* pada OP 1 dan OP 2 dilakukan di luar *pit* dengan jarak awal 900 meter. Jarak dari *front* penambangan ke OP 1 dan OP 2 akan bertambah seiring kemajuan penambangan (PT Cipta Kridatama, 2012).

Kegiatan pengangkutan *overburden* dilakukan menggunakan alat angkut kelas 70 ton tipe CAT 775 dan 60 ton tipe CAT 773. Alat angkut tersebut dipasangkan dengan alat gali muat kelas 100 ton tipe HITACHI 1200-6 dan Liebherr R984C dan kelas 90 ton tipe CAT 390D. Pasangan alat tersebut terdiri dari tiga kombinasi *fleet*, yaitu kombinasi *fleet* alat gali muat 100 ton-alat angkut 70 ton, alat gali muat 100 ton-alat angkut 60 ton, dan alat gali muat 90 ton-alat angkut 60 ton (PT Cipta Kridatama, 2012). Setiap kombinasi *fleet* memiliki tingkat produksi *overburden* yang berbeda-beda ditinjau dari

dan pengangkutan *overburden* pada setiap jarak yang ditempuh.

Jarak dan kecepatan pengangkutan merupakan variabel dinamis yang mempengaruhi waktu edar alat angkut. Nilai waktu edar akan menentukan produktivitas



alat angkut yang menentukan keuntungan yang dihasilkan perusahaan. Perubahan variabel jarak dan kecepatan alat angkut berpengaruh terhadap perolehan keuntungan yang diterima perusahaan, sehingga perhitungan keuntungan dapat diselesaikan dengan menggunakan model sistem dinamis.

Sistem dinamis merupakan metode yang dapat menggambarkan proses, perilaku, dan kompleksitas dalam sistem (Hartisari, 2007). Metode ini dititikberatkan pada pengambilan kebijakan dan bagaimana kebijakan tersebut menentukan tingkah laku masalah-masalah yang dapat dimodelkan oleh sistem secara dinamis. Metode ini menerapkan simulasi dalam proses penyelesaian masalah, sehingga alternatif keputusan yang akan diambil dapat disimulasikan untuk mendapatkan pilihan yang paling tepat (Richardson *and* Pugh, 1986).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan jarak pengangkutan *overburden* terjauh dan kecepatan alat angkut pada setiap kombinasi *fleet* yang masih dapat menghasilkan keuntungan produksi *overburden* menggunakan metode sistem dinamis.

1.2 Rumusan Masalah

Pertambahan jarak angkut menyebabkan peningkatan pendapatan produksi yang diperoleh perusahaan karena setiap pertambahan jarak angkut 100 meter perusahaan dibayar sebesar \$ 0.01/jam dan \$1/BCM oleh pihak *owner* (PT TIA). Namun, disisi lain pertambahan jarak angkut juga menyebabkan biaya operasi yang dikeluarkan bertambah, sehingga akan memengaruhi nilai keuntungan yang diperoleh.

Keuntungan yang diperoleh dari pengangkutan *overburden* dipengaruhi oleh jarak angkut dan kecepatan alat angkut pada setiap jarak pengangkutan yang ditempuh. Perubahan nilai kedua faktor tersebut menyebabkan perubahan nilai keuntungan yang diperoleh perusahaan karena jarak angkut berpengaruh terhadap nilai biaya operasi dan



kecepatan alat angkut menentukan nilai produktivitas. Faktor-faktor tersebut berubah secara dinamis, sehingga rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana model dinamis keuntungan produksi *overburden* per *fleet* berdasarkan jarak dan kecepatan pengangkutan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membangun model dinamis untuk:

1. Menentukan jarak pengangkutan *overburden* terjauh yang masih menghasilkan keuntungan produksi *overburden* pada setiap kombinasi *fleet*.
2. Menentukan kecepatan alat angkut untuk menghasilkan keuntungan produksi *overburden* pada setiap kombinasi *fleet*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah pengembangan pengetahuan mengenai metode sistem dinamis dan aplikasinya pada industri pertambangan khususnya perhitungan keuntungan yang dipengaruhi oleh variabel jarak dan kecepatan yang bersifat dinamis.

1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah penambangan PT CK *Site* TIA yang terletak di Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. PT CK *Site* TIA berada pada empat wilayah administrasi kecamatan yakni Kecamatan Angsana, Kecamatan Sungai

Kecamatan Kusan Hulu dan Kecamatan Satui. Lokasi tambang berbatasan dengan lima desa yaitu Desa Sebambar Lama, Desa Sebambar Baru, Desa ..., Desa Bunati, dan Desa Mangkalapi (PT Tunas Inti Abadi, 2010). Selain



berbatasan dengan desa wilayah kuasa pertambangan eksploitasi, PT CK *Site* TIA berbatasan dengan beberapa konsesi batubara, yaitu Konsesi Pertambangan Eksploitasi PT Multi Cahaya Prima (PT MCP), PT Aneka Cipta Prima, PT Dipta Iriana Sejahtera dan PT Sinar Megah Prima di sebelah Barat wilayah kuasa pertambangan PT TIA, serta PT Borneo Indo Bara di sebelah Utara dan Timur (PT Tunas Inti Abadi, 2010).

Secara geografis PT CK *Site* TIA terletak pada koordinat $115^{\circ} 54' 00'' - 115^{\circ} 57' 30''$ BT dan $3^{\circ} 34' 30'' - 3^{\circ} 37' 00''$ LS (PT Tunas Inti Abadi, 2010). Lokasi penelitian dapat diakses menggunakan jalur darat dengan lama perjalanan ± 1 jam 30 menit dari Kota Batu Licin. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Lampiran A.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian yang Terletak di Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan (*Google Earth*, 2020)



BAB II

ALAT BERAT DAN SISTEM DINAMIS

2.1 Alat Berat

Alat berat adalah peralatan mesin berukuran besar yang didesain untuk melaksanakan fungsi konstruksi seperti pengerjaan tanah (*earthworking*) dan memindahkan material-material lainnya. Alat berat merupakan faktor penting di dalam proyek, terutama proyek-proyek konstruksi maupun pertambangan dan kegiatan lainnya dengan skala yang besar (Rochmanhadi, 1985). Alat berat terdiri dari beberapa jenis diantaranya adalah alat pengolah lahan, alat penggali, alat pengangkut material, alat pemindahan material, alat pemadat, dan alat pemroses material (Yadam, 2015). Alat berat utama yang digunakan dalam pemindahan material tambang adalah alat gali muat (*excavator*) dan alat angkut (*dump truck*).

2.1.1 Waktu Edar Alat

Waktu edar merupakan waktu yang diperlukan oleh alat untuk melakukan serangkaian kegiatan. Waktu edar merupakan salah satu aspek penting dalam pencapaian produksi tambang. Secara umum, waktu edar alat produksi dapat dilihat pada alat gali muat dan alat angkut.

A. Waktu Edar Alat Gali Muat



Salah satu siklus operasi alat gali muat dibagi menjadi empat segmen waktu, yaitu waktu penggalian (T_1), waktu berayun (T_2), waktu bongkar (T_3) dan waktu berayun kembali (T_4). Waktu edar alat gali muat dapat diperoleh menggunakan Persamaan

2.1 (Song *and* Marks, 2017).

$$CT = T1+T2+T3+T4.....(2.1)$$

Keterangan:

CT = Waktu edar alat gali muat (Detik)

T1 = Waktu gali (Detik)

T2 = Waktu putar bermuatan (Detik)

T3 = Waktu menumpahkan material (Detik)

T4 = Waktu putar tanpa muatan (Detik)

B. Waktu Edar Alat Angkut

Waktu edar alat angkut merupakan aspek penting dalam pengangkutan material tambang. Waktu edar alat angkut dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.2 (Song *and* Marks, 2017).

$$CT = T1+T2+T3+T4+T5.....(2.2)$$

Keterangan:

CT = Waktu edar alat angkut (Detik)

T1 = Waktu antri dan mengambil posisi siap dimuati (Detik)

T2 = Waktu pengisian (Detik)

T3 = Waktu mengangkut saat bermuatan (Detik)

T4 = Waktu penumpahan (Detik)

T5 = Waktu kembali kosong (Detik)

2.1.2 Match Factor



faktor keserasian (*match factor*) digunakan untuk mengetahui jumlah alat angkut yang sesuai untuk melayani unit alat gali muat (Choudhary, 2015). Keserasian muat dan alat angkut dapat dirumuskan sebagai berikut (Anisari, 2016):

$$MF = \frac{Na \times n \times Ctm}{Nm \times Cta} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

MF = *Match Factor*

Nm = Jumlah alat gali muat

n = Banyaknya pengisian tiap satu unit alat angkut

Cta = Waktu edar alat angkut (Detik)

Ctm = Waktu edar alat gali muat (Detik)

MF =1 (serasi antara alat gali muat 100% atau mendekati 100%)

MF <1 (alat angkut bekerja penuh, alat muat mempunyai waktu tunggu)

MF >1 (alat muat bekerja penuh, alat angkut mempunyai waktu tunggu)

2.1.3 Produktivitas

Produktivitas dari masing-masing alat mekanis antara lain alat gali muat dan alat angkut perlu diketahui untuk mencapai target produksi yang diharapkan. Produktivitas merupakan kemampuan suatu alat untuk berproduksi dalam kurun waktu tertentu (Nichols, 2010).

A. Produktivitas alat gali muat

Produktivitas alat gali muat dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.4 (Nichols, 2010).

$$Qe = \frac{q \times 3600 \times Ek}{CT} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$q = q1 \times K \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

Qe = Produktivitas alat gali muat (BCM/Jam)

q = Produksi per siklus (BCM)



- Ek = Efisiensi kerja alat
- q1 = Kapasitas vessel (BCM)
- K = Faktor pengisian *bucket*
- CT = Waktu edar (Detik)

B. Produktivitas alat angkut

Produktivitas alat angkut dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6 (Nichols, 2010).

$$Q_h = \frac{C_v \times E_k \times 3600}{C_T} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- Qh = Produktivitas alat angkut per jam (BCM/Jam)
- CT = Waktu edar (Detik)

2.1.4 Efisiensi Kerja

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 atau dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.7 (Hustrulid *et al*, 2013).

$$E_k = \frac{W_p}{W_k} \dots\dots\dots(2.7)$$

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 (Sarkhel *and* Dey, 2015).

Efisiensi Kerja Alat	Nilai
0,9	Sangat Baik
0,8	Baik
0,7	Sedang
0,6	Cukup
0,5	Buruk

2.1.5 Komponen Biaya

Pembiayaan alat terdiri dari dua tipe, yaitu biaya kepemilikan alat (*owning cost*) dan biaya operasi alat (*operating cost*). Biaya kepemilikan alat mengacu pada biaya yang terjadi bahkan bila alat tersebut tidak dapat bekerja/rusak. Biaya operasi alat adalah biaya yang terjadi dalam pengoperasian alat. Semakin tinggi biaya pemilikan dan operasi tidak selalu berarti semakin mahal harga suatu tipe alat, tetapi sejauh diimbangi oleh produktifitas yang tinggi dari alat tersebut, ada kemungkinan biaya produksinya akan menjadi murah (Pryantara, 2007). Komponen biaya penggunaan alat berat dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komponen Biaya Alat (Pryantara, 2007)



A. Biaya Kepemilikan

Biaya kepemilikan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, mulai dari umur ekonomis alat, suku bunga, pajak, asuransi yang setiap waktunya dapat berubah-ubah nilainya, dan depresiasi. Depresiasi (penyusutan) merupakan biaya kepemilikan alat yang berdampak langsung terhadap produksi suatu alat.

Depresiasi adalah harga modal yang hilang pada peralatan yang disebabkan oleh umur pemakaian alat tersebut. Metode yang dapat digunakan untuk menghitung depresiasi adalah metode jam jasa atau *straight line*. Metode ini dipilih karena alat berat yang dihitung merupakan alat produksi. Metode ini didasarkan pada teori bahwa pembelian suatu aktiva tetap merupakan sejumlah jam jasa langsung. Depresiasi dengan metode *straight line* dihitung dengan Persamaan 2.8 (Baridwan, 2008).

$$\text{Depresiasi} = \frac{HP - NS}{n} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

- HP = Harga pembelian (\$)
- NS = Nilai sisa (\$)
- n = Taksiran umur pemakaian alat

Harga perolehan yang disusutkan dibagi dengan total umur alat akan menghasilkan tarif penyusutan yang dibebankan untuk setiap waktu penggunaan aktiva tetap tersebut.

B. Biaya Operasi

Biaya operasi (*operating cost*) nilainya sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya bahan bakar, minyak pelumas untuk mesin dan hidrolik, umur ban, biaya atau perbaikan, pergantian suku cadang hingga upah operator. Biaya operasi alat berat antara lain (Dania dkk, 2018):



1. Biaya Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar alat tergantung dari besar kecilnya daya mesin yang digunakan. Biaya bahan bakar dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.9 (Dania dkk, 2018).

$$\text{Biaya bahan bakar} = \text{Kebutuhan bbm/jam} \times \text{Harga bbm/liter} \dots\dots\dots(2.9)$$

2. Biaya Pelumas

Kebutuhan minyak pelumas dan minyak hidrolis tergantung pada besarnya bak karter dan lamanya periode penggantian minyak pelumas. Biaya pelumas dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.10 (Dania dkk, 2018).

$$\text{Biaya pelumas} = \text{Kebutuhan pelumas/jam} \times \text{Harga bbm/liter} \dots\dots\dots(2.10)$$

3. Biaya Reparasi

Biaya reparasi ini merupakan biaya yang diperlukan untuk perbaikan ataupun biaya pemeliharaan pada alat-alat sesuai dengan yang mengalami kerusakan, termasuk harga suku cadang (*spare part*) dan ongkos pasang, serta ongkos perawatan sesuai dengan kondisi operasinya.

4. Upah Operator

Upah operator merupakan biaya yang dikeluarkan untuk seseorang yang menjalankan alat berat. Upah operator biasanya akan disesuaikan dengan tingkat kecakapan hingga lamanya pengalaman kerja operator tersebut.

2.2 Sistem Dinamis

Sistem dinamis didefinisikan sebagai sebuah bidang untuk memahami bagaimana berubah menurut waktu (Purnomo, 2005). Sistem dinamis merupakan metode yang menggambarkan proses, perilaku, dan kompleksitas dalam sistem (Hartisari, 2018). Sistem dinamis adalah metodologi yang digunakan untuk mengembangkan model



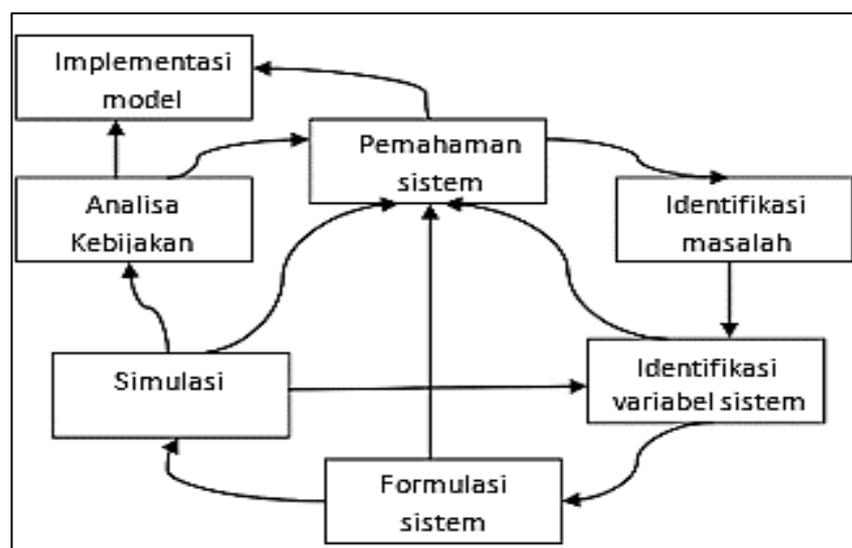
yang didasarkan pada dua data yaitu data historis dan hubungan dinamis antara variabel penting untuk tujuan menggambarkan dan memodelkan perilaku-perilaku sistem yang kompleks (Park *et al*, 2014).

Sistem dinamis dititikberatkan pada penentuan kebijakan dan bagaimana kebijakan tersebut menentukan tingkah laku masalah-masalah yang dapat dimodelkan dengan menggunakan sistem dinamis. Dalam metodologi sistem dinamis yang dimodelkan adalah struktur informasi sistem yang di dalamnya terdapat sumber informasi dan jaringan aliran informasi yang saling terhubung.

Sistem dinamis terdiri dari tiga komponen utama, yaitu (Pasaribu 2019):

1. Pengambilan keputusan, adalah suatu usaha untuk menyelesaikan masalah dan melakukan sesuatu.
2. Analisis sistem umpan balik, berhubungan dengan penggunaan informasi secara tepat untuk mengambil keputusan tersebut.
3. Simulasi, memberikan representasi kepada para pengambil keputusan terhadap hasil dari keputusan di masa mendatang.

Pendekatan metode sistem dinamis dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pendekatan Metode Sistem Dinamis (Pasaribu, 2019)



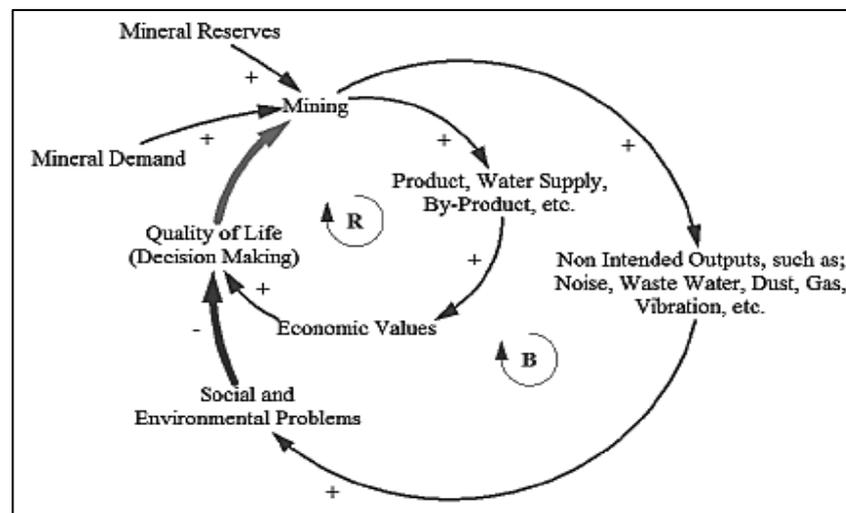
Dalam penyusunan suatu model dinamis terdapat tiga bentuk alternatif yang dapat digunakan yaitu verbal, visual, dan model matematis. Model verbal adalah model sistem yang dinyatakan dalam bentuk kata-kata. Model visual dinyatakan dalam bentuk diagram dan menunjukkan hubungan sebab akibat banyak variabel secara sederhana dan jelas. Model matematis yang merupakan perhitungan-perhitungan terhadap suatu sistem. Simulasi model dinamis dapat memberikan penjelasan tentang proses yang terjadi dalam sistem dan prediksi hasil dari berbagai skenario (Hartisari, 2007).

Model dinamis sistem dibentuk karena adanya hubungan sebab-akibat (*causal*) yang memengaruhi struktur di dalamnya baik secara langsung antar dua struktur, maupun akibat dari berbagai hubungan yang terjadi pada sejumlah struktur, hingga membentuk umpan-balik (*causal loop*). Struktur umpan-balik ini merupakan blok pembentuk model yang diungkapkan melalui lingkaran-lingkaran hubungan sebab-akibat dari variabel-variabel yang melingkar secara tertutup.

Hubungan kausal terdiri dari (Pasaribu, 2019):

1. Hubungan sebab-akibat positif.
2. Hubungan sebab-akibat negatif.

Contoh *causal loop diagram* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Causal Loop Diagram* Sistem Perencanaan Tambang (Sontamino, 2014)



Pendekatan dinamika sistem diawali oleh pendefinisian masalah secara dinamis. Dinamika sistem mencakup konsep dari sistem nyata yang berisikan variabel-variabel yang saling berhubungan timbal balik. Konsep awal tersebut dapat dituangkan ke dalam *Causal Loop Diagram* (CLD) (Adipraja dan Sulisty, 2018). Pembuatan konsep CLD mengutamakan identifikasi serta hubungan antar masing-masing variabel yang berpengaruh (Firmansyah dan Suryani, 2017). Representasi aktivitas dalam suatu lingkaran umpan-balik menggunakan dua jenis variabel utama yang disebut sebagai stock dan aliran (*level and rate*) atau dikenal juga dengan sebutan *stock and flow*. *Stock* menyatakan kondisi sistem pada setiap saat. *Stock* merupakan akumulasi di dalam sistem. Variabel *rate* merupakan suatu struktur kebijaksanaan yang menjelaskan mengapa dan bagaimana suatu keputusan dibuat berdasarkan kepada informasi yang tersedia di dalam sistem. *Rate* adalah satu-satunya variabel dalam model yang dapat memengaruhi *stock*. *Stock* dirumuskan menggunakan Persamaan 2.11 (Aminudin, 2014).

$$L_{sk} = L_{sb} + Dt(RM - RK) \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

L_{sk} = Nilai baru dari level yang akan dihitung pada saat sekarang

L_{sb} = Nilai level sebelumnya

Dt = Interval waktu (satuan waktu)

RM = Nilai *rate* yang menambah level selama interval waktu (unit/waktu)

RK = Nilai *rate* yang mengurangi level selama interval waktu (unit/waktu)

Variabel lainnya dalam memodelkan dinamika sistem adalah *auxiliary*, konstanta (*constant*) dan tundaan (*delay*). *Auxiliary* merupakan variabel yang bisa berubah seiring

waktu. Konstanta merupakan variabel dengan nilai tetap, sedangkan tundaan

variabel waktu yang tidak serta-merta terjadi. Variabel dalam *flow diagram* dapat

klasifikasi sebagai berikut (Pasaribu, 2019):



1. *Level (stocks)*

Variabel *level* atau *state* menggambarkan suatu kondisi sistem pada setiap saat. Variabel ini dinyatakan dengan sebuah besaran kuantitas terakumulasi sebagai akibat aktivitas aliran sepanjang waktu. Level akan dipengaruhi oleh *rate (flow)*.

2. *Rate (flow)*

Variabel *rate* menggambarkan suatu aktivitas. Pergerakan (*movement*) dan aliran yang berkontribusi terhadap perubahan per satuan waktu dalam suatu *level* yang dinyatakan dalam suatu besaran laju perubahan.

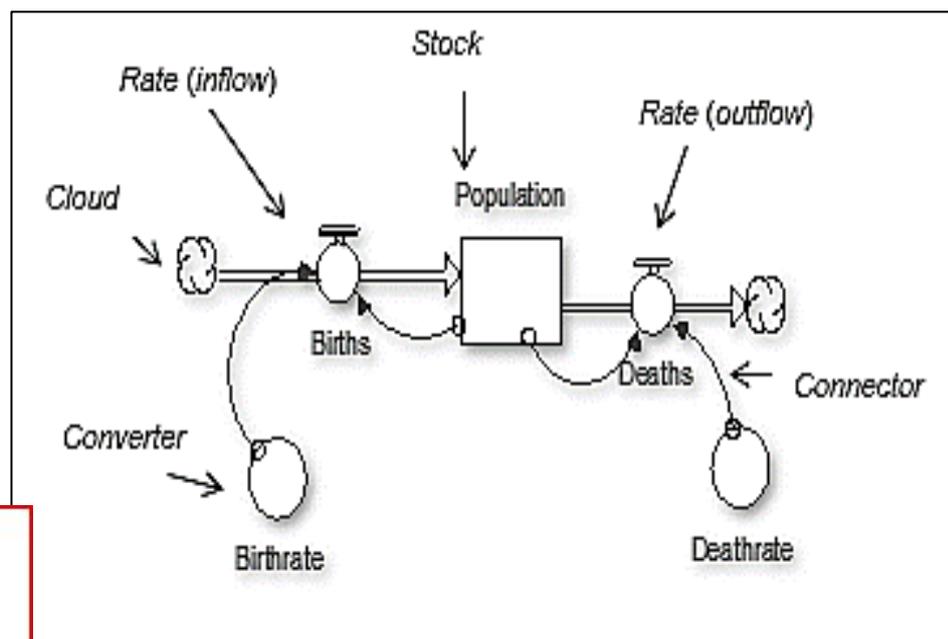
3. *Auxiliary*

Variabel *Auxiliary* merupakan variabel tambahan untuk menyederhanakan hubungan informasi antara *level* dan *rate*.

4. *Constant*

Constant merupakan *input* informasi untuk *rate* secara langsung maupun melalui variabel *auxiliary*.

Model dinamis dalam bahasa grafis dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bahasa Grafis Sistem Dinamis (Muhammadi dkk, 2001)

Pembuatan model dinamis umumnya dilakukan dengan menggunakan beberapa perangkat lunak seperti Powersim, Vensim, Stella, dan Dynamo. Perangkat lunak tersebut membantu membuat model secara grafis dengan simbol-simbol atas variabel dan hubungannya.

2.2.1 Simulasi dalam Sistem Dinamis

Analisis model sistem dinamis menggunakan analisis model simulasi. Simulasi sebagai teknik penunjang keputusan dalam pemodelan, misalnya pemecahan masalah bisnis secara ekonomis dan tepat menghadapi perhitungan rumit dan data yang banyak. Simulasi adalah aktivitas di mana pengkaji dapat menarik kesimpulan tentang perilaku dari suatu sistem melalui penelaahan perilaku model yang selaras, dimana hubungan sebab akibatnya sama dengan atau seperti yang ada pada sistem sebenarnya (Eriyatno 1998).

Simulasi diartikan sebagai aktivitas di mana pengkaji dapat menarik kesimpulan-kesimpulan tentang perilaku dari suatu sistem, melalui penelaahan perilaku model yang selaras, di mana hubungan sebab akibatnya sama dengan atau seperti yang ada pada sistem sebenarnya (Eriyatno, 1998). Alat yang digunakan adalah *stock flow diagram* (SFD) sebagai konsep sentral dalam teori sistem dinamis. *Stock* merupakan akumulasi atau pengumpulan dan karakteristik keadaan sistem dan pembangkit informasi di mana aksi dan keputusan didasarkan. *Stock* ini digabungkan dengan *rate* atau *flow* sebagai aliran informasi, sehingga *stock* menjadi sumber ketidakseimbangan dinamis dalam sistem. Basis penentuan nilai dari *stock* dan *flow* berdasarkan persamaan matematik integral dan differensial.

Perilaku model sistem dinamis ditentukan oleh keunikan dari struktur model, dapat dipahami dari hasil simulasi model. Dengan simulasi akan didapatkan informasi dari suatu gejala atau proses yang terjadi dalam sistem, sehingga dapat



dilakukan analisis dan peramalan perilaku gejala atau proses tersebut di masa depan. Simulasi dilakukan dengan memasukkan faktor kebijakan/intervensi kebijakan (sesuai skenario yang diinginkan) kedalam model yang telah dibangun. Perubahan kebijakan akan berpengaruh terhadap variabel yang lain sehingga secara keseluruhan akan memengaruhi kinerja sistem. Kondisi ini merupakan gambaran tentang kondisi riil yang mungkin terjadi. Hasil dari perubahan ini akan diamati pada tabel atau grafik variabel yang diinginkan. Simulasi digunakan untuk membuat peramalan secara terintegrasi mengenai fenomena perilaku sistem yang akan terjadi berdasarkan nilai-nilai peubah dari model (Pramudya, 1989).

Simulasi merupakan salah satu kegiatan dalam analisis sistem yang secara garis besar meliputi tiga kegiatan:

1. Merumuskan model yang menggambarkan sistem dan proses yang terjadi di dalamnya.
2. Melakukan eksperimen.
3. Menggunakan model dan data untuk memecahkan masalah.

Titik tolak pemodelan dengan simulasi adalah menyederhanakan sistem nyata yang hanya memperhatikan beberapa bagian atau sifat utama yang memiliki hubungan sebab akibat dari sistem sebenarnya. Simulasi adalah proses desain model suatu sistem nyata dan melakukan eksperimen terhadap model tersebut dengan tujuan untuk memahami keadaan sistem dan atau mengevaluasi berbagai strategi operasi dalam sistem. Simulasi sebagai suatu model sistem di mana komponennya dipresentasikan oleh proses-proses aritmatika dan logika yang dijalankan pada komputer untuk memperkirakan sifat-sifat dinamis sistem tersebut. Simulasi menyangkut pembangkitan

serta pengamatan dari proses untuk menarik kesimpulan dari sistem yang diwakili (dan Ramdhani, 2002).

Simulasi juga merupakan prosedur kuantitatif yang menggambarkan suatu



proses dengan mengembangkan modelnya dan menerapkan serangkaian uji coba terencana untuk memprediksikan tingkah laku proses sepanjang waktu. Simulasi adalah suatu aktivitas untuk menarik perilaku suatu sistem dengan mempelajari perilaku model yang memiliki kesamaan dengan sistem (Gottfried, 1984).

Simulasi juga dilakukan dengan menggunakan bahasa program dalam beberapa perangkat lunak komputer yang dirancang untuk kebutuhan simulasi seperti Dynamo, AutoMod II, ProModel, Simfactory II.5, Witness, XCELL+, -Powersim, Stella, Vensim. Perangkat lunak dalam pemodelan sistem dinamis tersebut merupakan alat bantu yang dapat memudahkan pemodel dalam menerjemahkan bahasa *causal loop diagram* ke dalam *stock flow diagram*. *Stock flow diagram* harus dilengkapi dengan persamaan matematika dan nilai awal untuk aktivitas simulasi. *Stock flow diagram* sebagai konsep sentral dalam teori sistem dinamis. *Stock* adalah akumulasi atas pengumpulan dan karakteristik keadaan sistem dan pembangkit informasi di mana aksi keputusan didasarkan padanya. *Stock* digabungkan dengan *rate* atau *flow* sebagai aliran informasi, sehingga *stock* menjadi sumber ketidakseimbangan dinamis dalam sistem.

Perangkat pemodelan sistem dinamis juga dilengkapi berbagai kemudahan seperti tampilan yang mudah dimengerti sehingga memudahkan pemakai yang tidak mengerti secara teknis sekalipun. Vensim yang dipakai dalam penelitian ini merupakan suatu perangkat lunak yang dibuat atas dasar model sistem dinamis dengan kemampuan yang tinggi dalam melakukan simulasi.

2.2.2 Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi model adalah pembuktian bahwa model komputer yang telah disusun sebelumnya mamapu melakukan simulasi dari model abstrak yang dikaji (Gottfried, 1998). Dalam pengertian lain, verifikasi adalah sebuah proses untuk membuktikan bahwa program komputer yang dibuat beserta penerapannya adalah benar.



Cara yang dilakukan adalah menguji sejauh mana program komputer yang dibuat telah menunjukkan perilaku dan respon yang sesuai dengan tujuan dari model (Sargent, 1998).

Validasi adalah upaya penyimpulan apakah model sistem tersebut merupakan perwakilan yang sah dari realitas yang dikaji, sehingga dapat menghasilkan kesimpulan yang meyakinkan. Validasi juga merupakan proses iteratif sebagai proses penyempurnaan model komputer (Eriyatno 1998). Validasi dalam pengertian yang lain adalah substansi bahwa model yang dikomputerisasikan dalam lingkup aplikasinya memiliki kisaran akurasi yang memuaskan dan konsisten dengan maksud dari penerapan komputer (Sargent, 1998).

Validasi diperlukan untuk mengetahui keakuratan model (Aprillya *et al*, 2019). Validasi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan gejala atau proses yang ditirukan. Model dapat dinyatakan baik jika kesalahan atau simpangan hasil simulasi terhadap gejala atau proses yang terjadi di dunia nyata relatif kecil. Hasil simulasi yang sudah divalidasi tersebut digunakan untuk memahami perilaku gejala atau proses serta kecenderungan di masa depan yang dapat dijadikan sebagai dasar bagi pengambil keputusan untuk merumuskan suatu kebijakan di masa mendatang.

Suatu model dikatakan valid jika struktur dasarnya dan polanya dapat menggambarkan perilaku sistem nyata, atau dapat mewakili dengan cukup akurat, data yang dikumpulkan sehubungan dengan sistem nyata atau asumsi yang dibuat berdasarkan referensi sesuai cara sistem nyata bekerja. Validasi suatu sistem sangat dibatasi oleh mental model dari pemodel, namun demikian untuk memenuhi kaidah keilmuan, pada suatu sistem dinamik tetap tetap harus dilakukan uji validasi.

Model dinyatakan valid jika hasil pengujian (verifikasi) sesuai dengan data . Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk uji keyakinan adalah (Coyle,



1. *Causal Loop diagram* harus berhubungan dengan permasalahan.
2. Persamaan harus disesuaikan dengan *causal loop* diagram khususnya tanda (+) atau (-) harus konsisten di antara persamaan dengan *causal loop*.
3. Dimensi dalam model harus valid.
4. Model tidak menghasilkan nilai yang tidak masuk akal, seperti *stock* negatif.
5. Perilaku model harus masuk akal, artinya apabila ada sesuatu yang seharusnya terjadi, maka harus sesuai dengan apa yang diharapkan dari model tersebut.
6. Massa model harus *balance*, artinya total kuantitas yang telah masuk dan keluar dari proses sistem tetap dapat dijelaskan.

