

**MODEL OPTIMASI PENENTUAN *CUT-OFF GRADE* DAN
ALOKASI TRUK PERTAMBANGAN TERBUKA DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BIAYA INVESTASI DAN
TRANSPORTASI**

Skripsi



MEIDIANA FARRAS ISNAFITRI

I0316055

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2020**

**MODEL OPTIMASI PENENTUAN *CUT-OFF GRADE* DAN
ALOKASI TRUK PERTAMBANGAN TERBUKA DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BIAYA INVESTASI DAN
TRANSPORTASI**

Skripsi

Sebagai Persyaratan untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



MEIDIANA FARRAS ISNAFITRI

I0316055

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2020**



**MODEL OPTIMASI PENENTUAN *CUT-OFF GRADE* DAN
ALOKASI TRUK PERTAMBANGAN TERBUKA DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BIAYA INVESTASI DAN
TRANSPORTASI**

Skripsi



MEIDIANA FARRAS ISNAFITRI

I0316055

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2020**



LEMBAR PENGESAHAN**MODEL OPTIMASI PENENTUAN *CUT-OFF GRADE* DAN
ALOKASI TRUK PERTAMBANGAN TERBUKA DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BIAYA INVESTASI DAN
TRANSPORTASI****SKRIPSI**

oleh :

Meidiana Farras Isnafitri**10316055**

Telah disidangkan di Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas
Sebelas Maret dan diterima guna memenuhi persyaratan untuk mendapat gelar
Sarjana Teknik.

Pada Hari : Jumat

Tanggal : 28 Agustus 2020

Tim Penguji :

1. Prof. Dr. Cucuk Nur Rosyidi, S.T., M.T. (.....)
NIP. 19711104 199903 1 001
2. Azizah Aisyati, S.T., M.T. (.....)
NIP. 19720318 199702 2 001
3. Dr. Eko Pujiyanto, S.Si., M.T. (.....)
NIP. 19700612 199702 1 001
4. Rahmadiyah Dwi Astuti, S.T., M.T. (.....)
NIP. 19760122 199903 2 001

Mengesahkan,

Kepala Program Studi Sarjana Teknik Industri
Fakultas Teknik UNS

Dr. Eko Liqidanu S.T., M.T.
NIP. 19710128 199802 1 001

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH

Saya mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Industri Fakultas Teknik UNS yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Meidiana Farras Isnafitri

NIM : I 0316055

Judul tugas akhir : Model Optimasi Penentuan *Cut-off Grade* dan Alokasi Truk
Pertambangan Terbuka dengan Mempertimbangkan Biaya
Investasi dan Transportasi

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir atau Skripsi yang saya susun tidak mencontoh atau melakukan plagiat dari karya tulis orang lain. Jika terbukti Tugas Akhir yang saya susun tersebut merupakan hasil plagiat dari karya orang lain maka Tugas Akhir yang saya susun tersebut dinyatakan batal dan gelar sarjana yang saya peroleh dengan sendirinya dibatalkan atau dicabut.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila di kemudian hari terbukti melakukan kebohongan maka saya sanggup menanggung segala konsekuensinya.

Surakarta, 17 September 2020



Meidiana Farras Isnafitri
I0316055

SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Industri UNS yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Meidiana Farras Isnafitri

NIM : I 0316055

Judul tugas akhir : Model Optimasi Penentuan *Cut-off Grade* dan Alokasi Truk
Pertambangan Terbuka dengan Mempertimbangkan Biaya
Investasi dan Transportasi

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir atau Skripsi yang saya susun sebagai syarat kelulusan Sarjana S1 telah disusun secara bersama-sama dengan Pembimbing I dan Pembimbing II. Bersamaan dengan syarat pernyataan ini bahwa hasil penelitian dari Tugas Akhir atau Skripsi yang saya susun bersedia digunakan untuk publikasi dari prosiding, jurnal, atau media penerbit lainnya baik di tingkat nasional maupun internasional sebagaimana mestinya yang merupakan bagian dari publikasi karya ilmiah.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila di kemudian hari terbukti melakukan kebohongan maka saya sanggup menanggung segala konsekuensinya.

Surakarta, 17 September 2020



Meidiana Farras Isnafitri
I0316055

ABSTRAK

Meidiana Farras Isnafitri, I0316055. MODEL OPTIMASI PENENTUAN CUT-OFF GRADE DAN ALOKASI TRUK PERTAMBANGAN TERBUKA DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BIAYA INVESTASI DAN TRANSPORTASI. Skripsi. Surakarta: Program Studi Sarjana Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Agustus 2020

Dalam industri pertambangan, tantangan untuk meningkatkan produktivitas hasil tambang dengan biaya minimal semakin besar. Faktor peralatan sangat penting dalam memastikan kelangsungan produksi bahan baku hasil tambang. Jumlah truk yang melebihi kebutuhan akan mengakibatkan tingginya biaya transportasi dan investasi yang dikeluarkan oleh perusahaan. Sebaliknya, jumlah truk yang sedikit menyebabkan biaya transportasi dan biaya investasi yang dikeluarkan perusahaan rendah. Pada penelitian ini dikembangkan model optimasi dua tahap untuk menyelesaikan persoalan pertambangan terbuka dengan minimasi total biaya investasi dan biaya transportasi. Tahap pertama dikembangkan model penentuan *cut-off grade* optimal menggunakan Algoritma Lane untuk memaksimalkan keuntungan dan *Net Present Value* (NPV). Tahap kedua dikembangkan model optimasi alokasi truk dengan mempertimbangkan biaya investasi dan transportasi. Penentuan jumlah truk untuk model penelitian ini menggunakan faktor keserasian (*match factor*) dengan asumsi jumlah *shovel* masing-masing rute adalah 1 unit dan skenario nilai faktor keserasian adalah 1 dimana tidak ada *shovel* maupun truk yang menganggur. Variabel jumlah truk mempengaruhi besarnya biaya transportasi dan investasi. Perhitungan biaya transportasi mempertimbangkan besarnya konsumsi bahan bakar truk dan *shovel* sesuai banyaknya trip yang dilakukan oleh truk. Variabel keputusan dalam penelitian ini adalah tipe truk untuk melakukan transportasi. Komponen total biaya yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah biaya investasi dan biaya transportasi. Berdasarkan contoh numerik didapatkan total biaya investasi dan transportasi sebesar Rp 395.119.635.185,15 dengan variabel keputusan didapatkan hasil Truk J5 terpilih untuk transportasi di Rute 1 dan Rute 5, Truk J3 terpilih untuk transportasi di Rute 2, Rute 3, dan Rute 6, dan Truk J7 terpilih untuk transportasi di Rute 4. Selain itu, dilakukan analisis sensitivitas terhadap beberapa parameter untuk mengetahui perilaku model. Hasil dari analisis sensitivitas menunjukkan bahwa fungsi tujuan sensitif terhadap perubahan parameter harga jual *pellet*, harga jual konsentrat, harga jual produk *sizing*, biaya proses produksi konsentrat, biaya proses produksi *pellet*, biaya proses produksi produk *sizing*, biaya tetap, dan harga bahan bakar.

Kata Kunci : *Cut-off grade*, pertambangan terbuka, alokasi truk

xi + 81 halaman; 13 gambar; 35 tabel

Daftar Pustaka: 38 (1964-2020)

ABSTRACT

Meidiana Farras Isnafitri, I0316055. CUT-OFF GRADE AND TRUCK ALLOCATION OPTIMIZATION MODEL IN OPEN PIT MINING CONSIDERING INVESTMENT AND TRANSPORTATION COSTS. Thesis. Surakarta: Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sebelas Maret University, August 2020

In the mining industry, the challenge to increasing the productivity of mining products with minimal costs is getting bigger. The equipment factor is very important in ensuring the continuity of the production. The excessive number of trucks will increase the transportation and investment costs incurred by the company. Conversely, the small number of trucks will cause lower transportation and investment costs incurred by the company. Thus, a two-stage optimization model is developed to solve open pit mining problems to minimize total investment and transportation costs. In the first stage, the optimal cut-off grade should be determined using Lane Algorithm with the objective to maximize profit and Net Present Value (NPV). In the second stage, an optimization model for truck allocation is developed considering investment and transportation costs. In determining the number of trucks, this research uses "match factor" with an assumption that the number of shovel for each route is 1 unit and the value of the match factor is 1 where neither shovel nor trucks are idle. The number of trucks affects the investment and transportation costs. Transportation costs in this research is determined by considering the amount of fuel consumption for trucks and shovels based on the number of truck's trips. The decision variable in this research is the type of truck selected for the transportation. The costs considered in this research consist of investment and transportation costs. Based on the numerical example, the model found optimal truck selection with the total cost of Rp 395,119,635,185.15. Truck J5 is selected to transport for Route 1 and Route 5, Truck J3 is selected to transport for Route 2, Route 3, and Route 6, Truck J7 is selected to transport for Route 4. Sensitivity analysis of several parameters was also carried out to the study behavior of the model. The results of the sensitivity analysis show of objective function are sensitive to parameter changes are pellet price, concentrate price, ore sizing price, concentrating cost, pelletizing cost, sizing product cost, fixed cost, and fuel price.

Keyword : cut-off grade, open pit mining, truck allocation

xi + 81 pages; 13 pictures; 35 tables

Reference:38 (1964-2020)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Model Optimasi Penentuan *Cut-off Grade* dan Alokasi Truk Pertambangan Terbuka dengan Mempertimbangkan Biaya Investasi dan Transportasi”. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

Laporan Skripsi ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih atas bimbingan, bantuan, dan dukungan yang tak ternilai kepada pihak-pihak berikut:

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat, hidayah-Nya dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Orang tua penulis Bapak Nashirudin, Ibu Sukismi serta Kakak penulis Nurdiana Lexi Isnawati dan Zayana Grisadenti Isnasari yang selalu memberikan kasih sayang serta dorongan moral dan material sehingga penulisan dapat menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak Dr. Eko Liquiddanu, S.T., M.T selaku Kepala Program Studi Sarjana Teknik Industri Universitas Sebelas Maret Surakarta.
4. Bapak Prof. Dr. Cucuk Nur Rosyidi, S.T., M.T. dan Ibu Azizah Aisyati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan, arahan, dan waktu yang diberikan kepada penulis dalam hal penyelesaian laporan skripsi.
5. Bapak Dr. Eko Pujiyanto, S.Si., M.T dan Ibu Rahmadiyah Dwi Astuti, S.T., M.T selaku penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang menjadikan penelitian ini lebih baik.
6. Bapak Dr. Eko Liquiddanu, S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik, atas bimbingan dan nasihatnya sejak tahun pertama penulis menempuh studi.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Industri UNS atas semua ilmu dan motivasi selama penulis mengikuti proses perkuliahan di Teknik Industri UNS.

8. Seluruh staff dan karyawan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret atas segala bantuan administrasinya.
9. *My Support Partner*, Dhinar Tri Atmojo yang selalu mendukung, memberi semangat, memberi motivasi, dukungan kebersamaan, dan selalu memberikan tawa canda kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.
10. Sahabat-sahabat penulis Azizah Hadny Q.A., Trisna F.P., Frisca P., Rizca T.W., Fathin K.P., Nurrudin B., Naufal A., dan Muhammad, terimakasih atas motivasi, dukungan kebersamaan dan canda tawa yang selalu diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
11. Teman-teman asisten LSP 2016 Euis Nur Lathifah, Ratna Novitasari, Nurrudin Baidowi, Ilham Nur Fadlil, dan Danang Miftahudin Pratama atas kebersamaan dalam meramaikan Laboratorium tercinta serta motivasi, dukungan dan canda tawa yang diberikan kepada penulis.
12. Teman-teman RND yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis dalam penyelesaian penelitian ini.
13. Teman-teman PIERO 2016 atas dukungan, doa, waktu, kebersamaan, dan kehangatan yang kita lalui bersama.
14. Teman-teman KKN Selengen Lombok Utara atas dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas bantuan, doa, semangat, dan dukungan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, masukan dan saran yang membangun untuk penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca sekalian.

Surakarta, 16 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-5
1.3 Tujuan Penelitian	I-5
1.4 Manfaat Penelitian.....	I-5
1.5 Batasan Masalah.....	I-5
1.6 Asumsi Penelitian.....	I-6
1.7 Sistematika Penelitian	I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Pertambangan Terbuka	II-1
2.2 <i>Cut-off Grade</i>	II-2
2.3 Alokasi Truk	II-3
2.4 Faktor Keserasian (<i>Match Factor</i>)	II-4
2.5 Biaya Transportasi.....	II-5
2.6 Biaya Investasi	II-5
2.7 <i>Influence Diagram</i>	II-6
2.8 <i>Oracle Crystal Ball</i>	II-7
2.9 Model Acuan Penelitian	II-7
2.9.1 Model Sadjad Reza, Ataei, dan Eshagh (2017)	II-7
2.9.2 Model Chan, Jha, Manoj (2015)	II-9
2.9.3 Model Chung Ha. Ta, Armann Ingolfsson, dan John Doucette (2013).....	II-10

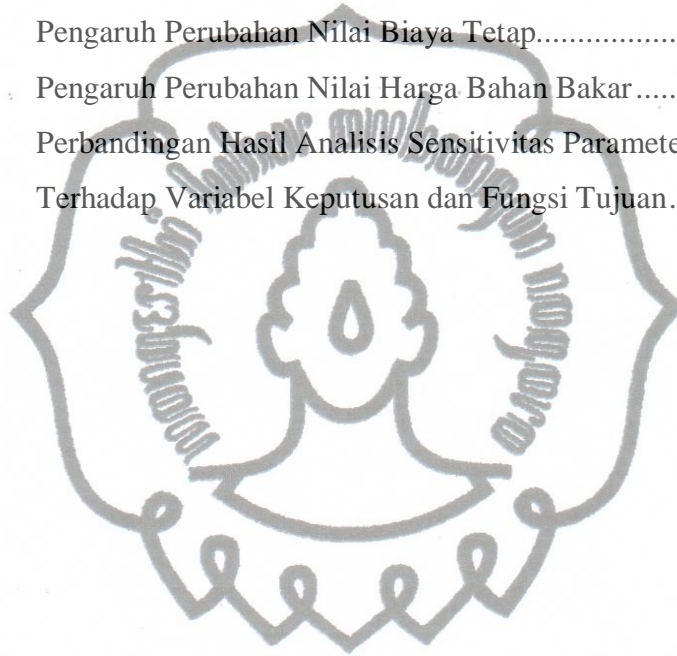
	2.9.4 Model Bajany, Xia, dan Zhang (2017).....	II-11
	2.10 Perbandingan Model Acuan dengan Model yang Dikembangkan.....	II-14
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
	3.1 Tahap Identifikasi Awal	III-2
	3.2 Tahap Pengembangan Model	III-3
	3.3 Tahap Analisis, Kesimpulan, dan Saran.....	III-5
BAB IV	PENGEMBANGAN MODEL	IV-1
	4.1 Deskripsi Sistem.....	IV-1
	4.2 <i>Influence Diagram</i>	IV-4
	4.3 Komponen Model.....	IV-6
	4.4 Formulasi Model.....	IV-9
	4.4.1 Optimum <i>Cut-off Grade</i>	IV-9
	4.4.2 Alokasi Truk.....	IV-14
	4.5 Validasi Model.....	IV-18
	4.6 Contoh Numerik.....	IV-24
	4.6.1 Parameter Model	IV-24
	4.6.2 Pencarian Solusi Optimal.....	IV-27
BAB V	ANALISIS.....	V-1
	5.1 Skenario Perubahan Faktor Keserasian	V-1
	5.1.1 Pengaruh Perubahan Faktor Keserasian Terhadap Jumlah Truk.....	V-2
	5.1.2 Pengaruh Perubahan Faktor Keserasian Terhadap Tipe Truk Terpilih	V-3
	5.1.3 Pengaruh Perubahan Faktor Keserasian Terhadap Total Biaya	V-4
	5.2 Skenario Perubahan Nilai Parameter.....	V-5
	5.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai Harga Jual <i>Pellet</i>	V-6
	5.2.2 Pengaruh Perubahan Nilai Harga Jual Konsentrat.....	V-8
	5.2.3 Pengaruh Perubahan Nilai Harga Jual Produk <i>Sizing</i>	V-9

5.2.4 Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Proses	
Tambang	V-11
5.2.5 Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Proses	
Produksi Konsentrat	V-12
5.2.6 Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Proses	
Produksi <i>Pellet</i>	V-14
5.2.7 Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Proses	
Produksi Produk <i>Sizing</i>	V-16
5.2.8 Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Tetap.....	V-18
5.2.9 Pengaruh Perubahan Nilai Harga Bahan Bakar	V-19
5.3 Perbandingan Seluruh Perubahan Parameter	
Terhadap Variabel Keputusan dan Fungsi Tujuan.....	V-21
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	VI-1
6.1 Kesimpulan	VI-1
6.2 Saran.....	VI-2
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Notasi dalam <i>Influence Diagram</i>	II-6
Tabel 2.2	Perbandingan Model Acuan Dengan Model Usulan.....	II-14
Tabel 4.1	Kerangka Kerja Pengembangan Model	IV-2
Tabel 4.2	Validasi Model	IV-18
Tabel 4.3	Validasi Model (lanjutan).....	IV-19
Tabel 4.4	Validasi Model (lanjutan).....	IV-20
Tabel 4.5	Validasi Model (lanjutan).....	IV-21
Tabel 4.6	Validasi Model (lanjutan).....	IV-22
Tabel 4.7	Validasi Model (lanjutan).....	IV-23
Tabel 4.8	Validasi Model (lanjutan).....	IV-24
Tabel 4.9	Parameter Operasional Proses Tambang.....	IV-24
Tabel 4.10	Parameter Operasional Proses Tambang (lanjutan)	IV-25
Tabel 4.11	Kuantitas Material.....	IV-25
Tabel 4.12	Spesifikasi Truk	IV-26
Tabel 4.13	Spesifikasi <i>Shovel</i>	IV-27
Tabel 4.14	Hasil Perhitungan Jumlah Truk	IV-27
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan Jumlah Truk (lanjutan)	IV-28
Tabel 4.16	Hasil Variabel Keputusan Setiap Tipe Truk.....	IV-28
Tabel 4.17	Hasil Variabel Keputusan Setiap Tipe Truk (lanjutan).....	IV-29
Tabel 4.18	Hasil Optimasi Model	IV-29
Tabel 5.1	Skenario Perubahan Nilai Faktor Keserasian	V-1
Tabel 5.2	Pengaruh Perubahan Faktor Keserasian Terhadap Jumlah Truk	V-2
Tabel 5.3	Pengaruh Perubahan Faktor Keserasian Terhadap Truk Terpilih.....	V-3
Tabel 5.4	Pengaruh Perubahan Faktor Keserasian Terhadap Total Biaya	V-4
Tabel 5.5	Skenario Perubahan Nilai Parameter	V-6
Tabel 5.6	Pengaruh Perubahan Nilai Harga Jual <i>Pellet</i>	V-6
Tabel 5.7	Pengaruh Perubahan Nilai Harga Jual Konsentrat	V-8

Tabel 5.8	Pengaruh Perubahan Nilai Harga Jual Produk <i>Sizing</i>	V-10
Tabel 5.9	Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Proses Tambang	V-11
Tabel 5.10	Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Proses Produksi Konsentrat.....	V-13
Tabel 5.11	Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Proses Produksi <i>Pellet</i>	V-15
Tabel 5.12	Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Proses Produksi Produk <i>Sizing</i>	V-16
Tabel 5.13	Pengaruh Perubahan Nilai Biaya Tetap.....	V-18
Tabel 5.14	Pengaruh Perubahan Nilai Harga Bahan Bakar	V-20
Tabel 5.15	Perbandingan Hasil Analisis Sensitivitas Parameter Terhadap Variabel Keputusan dan Fungsi Tujuan.....	V-22



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	III-1
Gambar 4.1	Proses Operasi Pertambangan.....	IV-3
Gambar 4.2	<i>Influence Diagram</i> Pengembangan Model.....	IV-5
Gambar 4.3	Diagram Representasi Perhitungan NPV	IV-11
Gambar 5.1	Pengaruh Perubahan Parameter Harga Jual <i>Pellet</i> Terhadap Biaya Total.....	V-7
Gambar 5.2	Pengaruh Perubahan Parameter Harga Jual Konsentrat Terhadap Biaya Total.....	V-9
Gambar 5.3	Pengaruh Perubahan Parameter Harga Jual Produk <i>Sizing</i> Terhadap Biaya Total.....	V-10
Gambar 5.4	Pengaruh Perubahan Parameter Biaya Proses Tambang Terhadap Biaya Total.....	V-12
Gambar 5.5	Pengaruh Perubahan Parameter Biaya Proses Produksi Konsentrat Terhadap Biaya Total	V-14
Gambar 5.6	Pengaruh Perubahan Parameter Biaya Proses Produksi <i>Pellet</i> Terhadap Biaya Total	V-15
Gambar 5.7	Pengaruh Perubahan Parameter Biaya Proses Produksi Produk <i>Sizing</i> Terhadap Biaya Total.....	V-17
Gambar 5.8	Pengaruh Perubahan Parameter Biaya Tetap Terhadap Biaya Total.....	V-19
Gambar 5.9	Pengaruh Perubahan Parameter Harga Bahan Bakar Terhadap Biaya Total.....	V-21