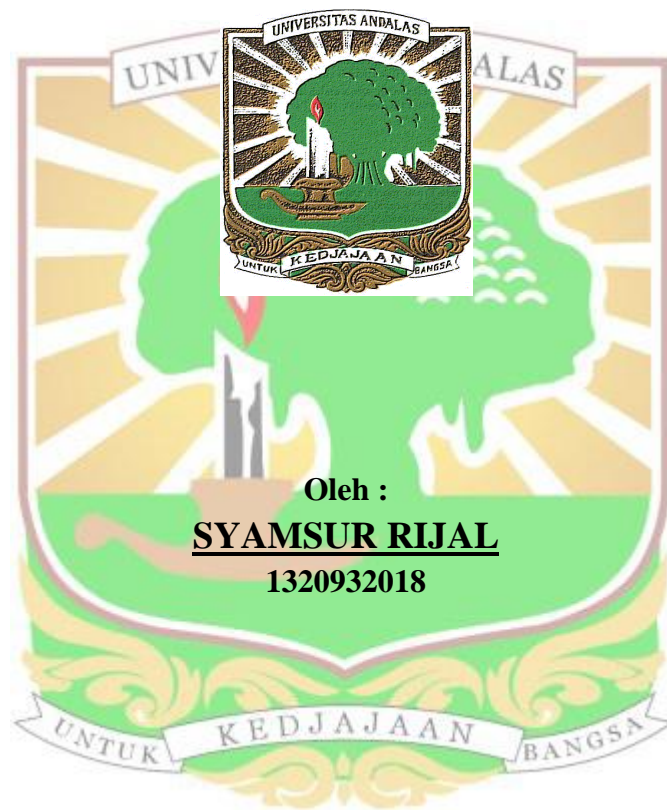


**FORMULASI MODEL OPTIMALISASI KOMPOSISI BAHAN
BAKUUNTUK MENCAPAI STANDAR KUALITAS KLINKER
(STUDI KASUS DI INDARUNG IV PT SEMEN PADANG)**

TESIS



Oleh :
SYAMSUR RIJAL
1320932018

**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
2018**

Persetujuan Tesis

**FORMULASI MODEL OPTIMALISASI KOMPOSISI
BAHAN BAKU UNTUK MENCAPAI STANDAR
KUALITAS KLINKER
(STUDI KASUS DI INDRAMUG IV PT SEMEN PADANG)**

Oleh:

SYAMSUR RIJAL

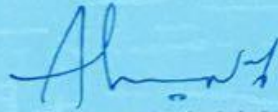
No.BP: 1320932018

Untuk dipertahankan dihadapan tim penguji tesis
Program Pascasarjana Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik
Universitas Andalas
Padang

Komisi Pembimbing

Ketua


Anggota



(Dr. Ahmad Syafruddin L.)

NIP. 19630707 199103 1 003

Tanggal : 27 Juli 2018



(Dr. Alexie Herrvandie BA)

NIP. 19650710 200003 1 001

Tanggal : 27 Juli 2018

Tesis

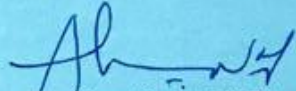
**FORMULASI MODEL OPTIMALISASI KOMPOSISI
BAHAN BAKU UNTUK MENCAPAI STANDAR
KUALITAS KLINKER
(STUDI KASUS DI INDRAMUG IV PT SEMEN PADANG)**

dipersiapkan dan disusun oleh:

SYAMSUR RIJAL
No.BP: 1320932018

Telah dipertahankan di depan tim penguji pada tanggal 30 Juli 2018

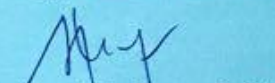
Ketua Komisi Pembimbing,


(Dr. Ahmad Syafruddin I.)
NIP. 19630707 199103 1 003

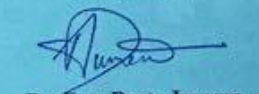
Mengetahui:

Program Pascasarjana
Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik
Universitas Andalas

Anggota Komisi Pembimbing,


Dr. Alexie Herryandie BA
NIP. 19650710 200003 1 001

Kordinator,

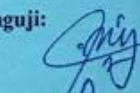
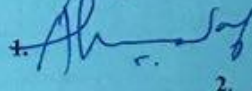
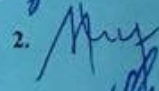
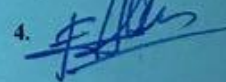

Dr. Eng. Desto Jumeno
NIP. 197612182001121003

Tim Penguji:

Ketua : Nilda Tri Putri, Ph.D

Anggota :

1. Dr. Ahmad Syafruddin I.
2. Dr. Alexie Herryandie BA
3. Hilma Raimona Zadry, Ph.D
4. Feri Afrinaldi, Ph.D

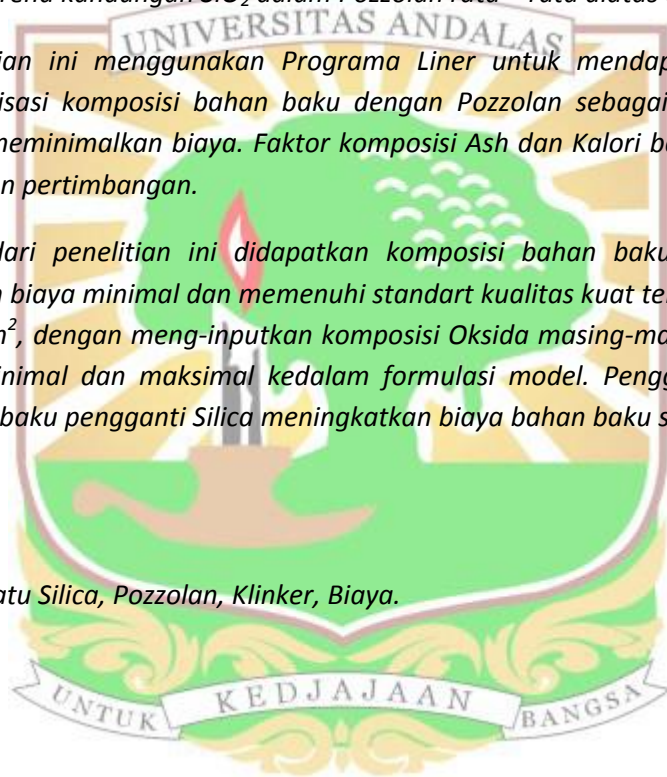
ABSTRAK

Proses pembuatan semen membutuhkan 4 buah bahan baku utama, Batu Kapur sebagai sumber CaCO_3 , batu Silica sebagai sumber SiO_2 , Tanah Liat sebagai sumber Al_2O_3 dan Pasir Besi sebagai sumber Fe_2O_3 . Proporsi bahan baku tersebut kurang lebih 80 % CaCO_3 , 15 % SiO_2 , 3% Al_2O_3 dan selebihnya 2 % untuk Fe_2O_3 . Kendala operasional di area tambang, pabrik Indarung IV mengalami kekurangan bahan baku sumber SiO_2 yaitu batu Silica, untuk mengantisipasi kondisi ini digunakan Pozzolan sebagai alternatif bahan baku karena kandungan SiO_2 dalam Pozzolan rata – rata diatas 60%.

Penelitian ini menggunakan Program Liner untuk mendapatkan formulasi model optimalisasi komposisi bahan baku dengan Pozzolan sebagai pengganti batu Silica dengan meminimalkan biaya. Faktor komposisi Ash dan Kalori bahan bakar tidak di jadikan bahan pertimbangan.

Hasil dari penelitian ini didapatkan komposisi bahan baku paling optimal dengan dengan biaya minimal dan memenuhi standart kualitas kuat tekan 3 hari klinker min. 200 kg/cm^2 , dengan meng-inputkan komposisi Oksida masing-masing bahan baku serta batas minimal dan maksimal kedalam formulasi model. Penggunaan Pozzolan sebagai bahan baku pengganti Silica meningkatkan biaya bahan baku sekitar 265,74 rp/ton.

Kata Kunci: Batu Silica, Pozzolan, Klinker, Biaya.



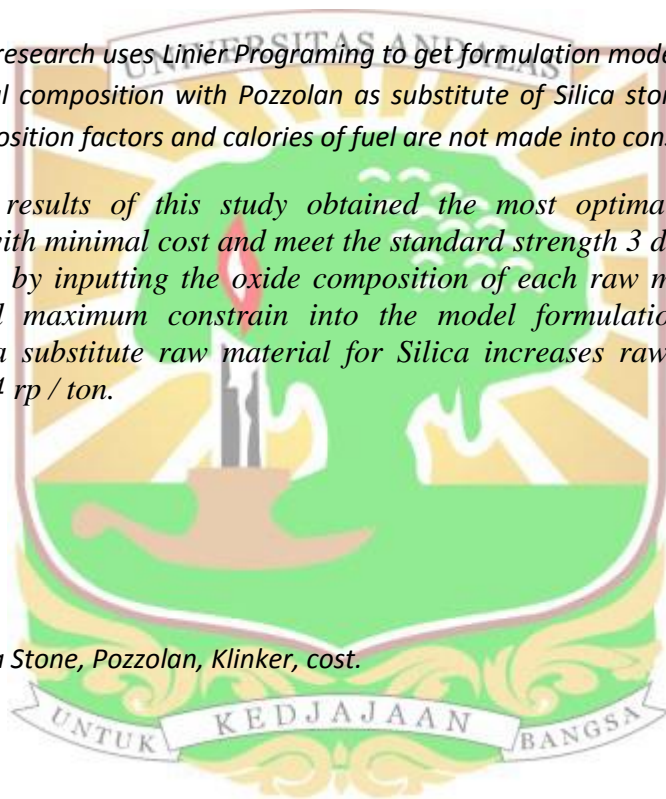
ABSTRACT

The cement making process required four main raw materials, Lime Stone as source of CaCO_3 , Silica Stone as source of SiO_2 , Clay as source of Al_2O_3 and Iron Sand as source of Fe_2O_3 . Proportion of raw materials approximately 80% CaCO_3 , 15% SiO_2 , 3% Al_2O_3 and the remaining 2% for Fe_2O_3 . Due to operational constraints in the mine area, Indarung IV plant is experiencing a shortage of SiO_2 source material that is Silica Stone, to anticipate this condition selected Pozzolan as alternative raw material because SiO_2 content in Pozzolan is above 60%.

This research uses Linier Programing to get formulation model of optimization of raw material composition with Pozzolan as substitute of Silica stone by minimizing cost. Ash composition factors and calories of fuel are not made into consideration.

The results of this study obtained the most optimal raw material composition with minimal cost and meet the standard strength 3 days clinker min. $200 \text{ kg} / \text{cm}^2$, by inputting the oxide composition of each raw material and the minimum and maximum constrain into the model formulation. The use of Pozzolan as a substitute raw material for Silica increases raw material costs around 265,74 rp / ton.

Keywords: Silica Stone, Pozzolan, Klinker, cost.



KATA PENGANTAR

Segala Puji kehadiran Allah SWT atas berkah, rahmat, nikmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Formulasi Model Optimalisasi Komposisi Bahan Baku Untuk Mencapai Standard Kualitas Klinker”. Salawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Besar Muhammad SAW.

Penyusunan tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Program Pascasarjana Magister Teknik Industri Universitas Andalas Padang Sumatera Barat. Kiranya hanya kata yang dapat mewakili rasa terima kasih kepada semua pihak yang membantu, membimbing, dan mengarahkan penulis sehingga tersusunnya tesis ini. Melalui kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ahmad Syafruddin Indrapriyatna, MT selaku dosen pembimbing I dan bapak Dr. Alexie Heryandie, BA selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak membantu penulis dalam memberikan ide, saran dan kritiknya.
2. Bapak Fery Afrinaldi Ph.D, ibu Nilda Tri Putri Ph.D dan ibu Hilma Raimona Zadry Ph.D selaku tim dosen penguji yang telah memberikan kritik, masukan dan saran yang banyak membantu penulis untuk menyelesaikan tesis.
3. Staff dan karyawan Direktorat Produksi PT. Semen Padang yang membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian.
4. Sahabat-Sahabatku Angkatan 2013 dan kawan-kawan S-1 Teknik Industri yang telah memberikan suasana dan dinamika kehidupan kampus selama proses perkuliahan.
5. Dosen, karyawan dan karyawan di lingkungan Magister Teknik Industri Universitas Andalas, yang telah banyak membantu penulis selama proses perkuliahan.

Penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari pembaca dalam upaya perbaikan dan penyempurnaan tesis ini. Namun demikian, besar harapan dari penulis terhadap tesis ini agar dapat memberikan manfaat serta referensi bagi seluruh pembaca.

Padang, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK	
ABSTRACT	
PERSEMBAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Program Linear.....	7
2.2 PT Semen Padang.....	8
2.3 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	18
3.2 Tahapan Penelitian.....	18
BAB IV PENGEMBANGAN MODEL	
4.1 Karakteristik Sistem.....	26

4.2	Notasi Simbol dan Satuan	26
4.3	Identifikasi Kebutuhan Data dan Standarisasi Data	27
4.4	Analisis Hubungan Karakteristik Klinker dengan Kuat Tekan Klinker.....	29
4.5	Analisis Regresi Hubungan Karakteristik Kiln Feed dengan Karakteristik Klinker.....	30
4.6	Formulasi Linier Programming.....	34
4.7	Verifikasi Model	38
4.8	Validasi Model	40

BAB V IMPLEMENTASI DAN ANALISIS MODEL

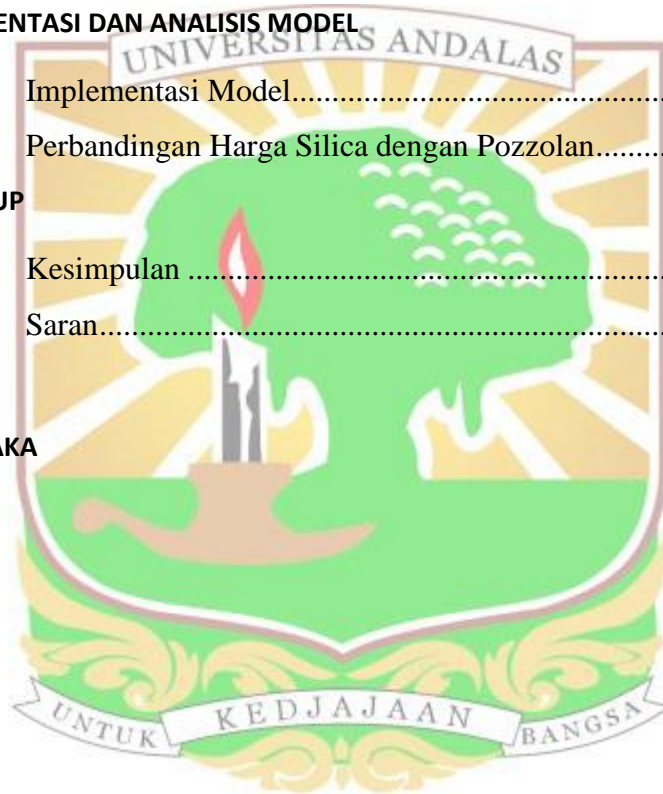
5.1	Implementasi Model.....	42
5.2	Perbandingan Harga Silica dengan Pozzolan.....	45

BAB VI PENUTUP

6.1	Kesimpulan	48
6.2	Saran.....	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Kandungan <i>Silica Stone</i> dan <i>Pozzolan</i> rata rata tahun 2017.....	3
Tabel 2.1	Sifat Fisika <i>Limestone</i>	9
Tabel 2.2	Komposisi Kimia <i>Limestone</i>	10
Tabel 2.3	Sifat Fisika Batu <i>Silica</i>	11
Tabel 2.4	Komposisi Kimia Batu <i>Silica</i>	11
Tabel 2.5	Sifat Fisika Pasir Besi	12
Tabel 2.6	Komposisi Kimia Pasir Besi	12
Tabel 2.7	Sifat Fisika Tanah Liat	13
Tabel 2.8	Komposisi Kimia Tanah Liat	13
Tabel 2.9	Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 3.1	Waktu Pengambilan Sample Bahan Baku	20
Tabel 4.1	Notasi, Simbol, dan Satuan dari Model Komposisi Bahan Baku	26
Tabel 4.2	Data Kandungan Bahan Baku	27
Tabel 4.3	Data Kuat Tekan 3 Hari <i>Klinker</i>	27
Tabel 4.4	Data Penggunaan Bahan Baku di <i>Kiln Feed</i> dan <i>Klinker</i>	28
Tabel 4.5	Hubungan Karakteristik <i>Klinker</i> dengan Kuat Tekan.....	29
Tabel 4.6	Proses Validasi oleh StafLaboratorium.....	40
Tabel 5.1	Data Kandungan Bahan Baku Bulan Juni 2018.....	41
Tabel 5.2	Karakteristik Bahan Baku Hasil <i>Solver Microsoft Excel</i>	41
Tabel 5.3	Hasil Regresi SiO_2 <i>Kiln Feed</i> dengan <i>Klinker</i>	42
Tabel 5.4	Hasil Regresi Al_2O_3 <i>Kiln Feed</i> dengan <i>Klinker</i>	42
Tabel 5.5	Hasil Regresi Fe_2O_3 <i>Kiln Feed</i> dengan <i>Klinker</i>	43
Tabel 5.6	Hasil Regresi CaO <i>Kiln Feed</i> dengan <i>Klinker</i>	43
Tabel 5.7	Hasil Regresi MgO <i>Kiln Feed</i> dengan <i>Klinker</i>	44
Tabel 5.8	Karakteristik SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO dan MgO <i>Klinker</i>	44
Tabel 5.9	Karakteristik <i>Klinker</i> dengan Kuat Tekan.....	45
Tabel 5.10	Kandungan Bahan Baku dengan <i>Silica</i>	45

Tabel 5.11 Nilai Variabel Keputusan Komposisi dan Biaya menggunakan
Silica46

Tabel 5.12 Nilai Variabel Keputusan Komposisi dan Biaya menggunakan
Pozzolan46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Sebaran <i>Silica</i> Alumina Tinggi di Area Tambang	2
Gambar 1.2 Pengiriman dan penarikan <i>Silica</i> di Storage pabrik bulan Februari 2018	3
Gambar 2.1 <i>Limestone</i>	9
Gambar 2.2 Batu <i>Silica</i>	10
Gambar 2.3 <i>Iron Sand</i>	12
Gambar 2.4 <i>Clay</i>	13
Gambar 2.5 <i>Gypsum</i>	14
Gambar 2.6 <i>Pozzolan</i>	14
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	24
Gambar 4.1 Pengiriman dan Penarikan <i>Silica</i> di <i>Storage</i> Pabrik bulan Februari 2018	26
Gambar 4.2 Karakteristik Sistem	27
Gambar 4.3 Kurva Nilai SiO_2 pada <i>Kiln Feed</i> dan <i>Klinker</i>	30
Gambar 4.4 Kurva Nilai Al_2O_3 pada <i>Kiln Feed</i> dan <i>Klinker</i>	31
Gambar 4.5 Kurva Nilai Fe_2O_3 pada <i>Kiln Feed</i> dan <i>Klinker</i>	31
Gambar 4.6 Kurva Nilai CaO pada <i>Kiln Feed</i> dan <i>Klinker</i>	32
Gambar 4.7 Kurva Nilai MgO pada <i>Kiln Feed</i> dan <i>Klinker</i>	33

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah, tujuan dalam melakukan penelitian, batasan penelitian serta sistematika penulisan tesis.

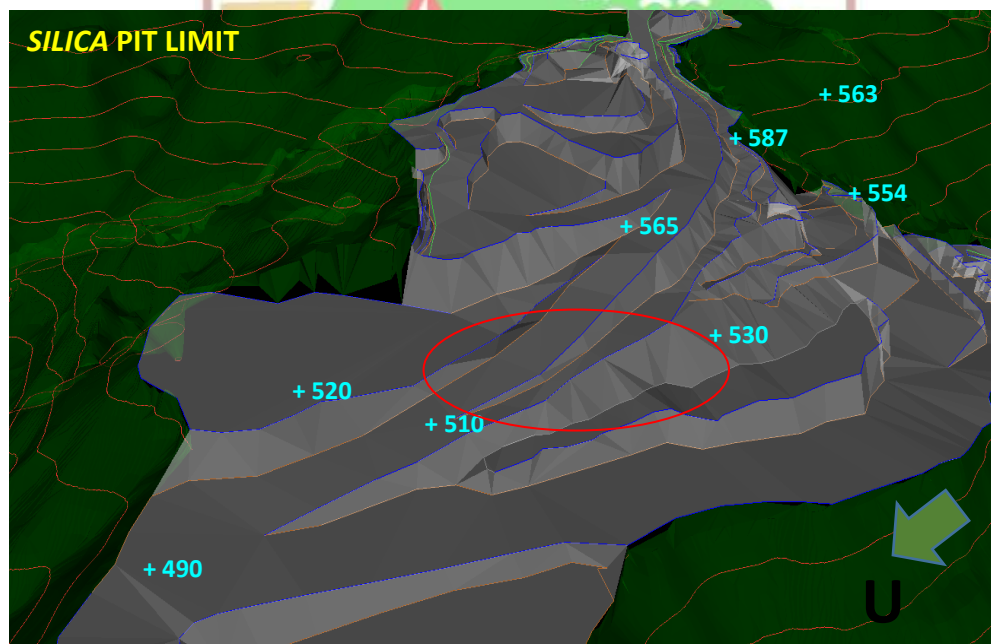
1.1 Latar Belakang

PT Semen Padang atau Semen Padang merupakan pabrik semen tertua di Indonesia yang didirikan pemerintah Belanda pada tanggal 18 Maret 1910 dengan nama *NV Nederlandsch Indische Portland Cement Maatschappij* (NV NIPCM). Pada masa itu, Semen Padang bukan hanya pabrik semen pertama di Indonesia tetapi juga yang pertama di Asia Tenggara. Dalam perjalanannya NV NIPCM dinasionalisasi oleh Pemerintah Indonesia pada 5 Juli 1958. Sejak 2012, Semen Padang menjadi bagian dari PT Semen Indonesia yang merupakan BUMN *holding*, bersama-sama PT Semen Gresik dan PT Semen Tonasa (*Bersama lingkungan, semenpadang.co.id file arsip 2016*). Hingga 2017, Semen Padang mengoperasikan 5 pabrik semen dengan total kapasitas lebih dari 10,4 juta ton yang menghasilkan berbagai jenis semen yang dipakai untuk berbagai keperluan di dalam negeri maupun luar negeri. Pangsa pasar utama PT Semen Padang adalah seluruh Sumatera dan sebagian *Export*.

Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan semen adalah, *Limestone* (batu kapur) sebagai bahan utama $\pm 80\%$, *Silica* $\pm 9\%$, *Clay* $\pm 9\%$, dan *Iron sand* $\pm 1\%$, sedangkan material tambahan lain ditambahkan di *Finish Mill* seperti, *Pozzolan*, *Gypsum* dan *Fly ash*. Dengan komposisi tertentu bahan baku *Limestone*, *Silica*, *Clay* dan *Iron Sand* digiling dalam *Raw Mill* sehingga dihasilkan *raw mix* yang selanjutnya dihomogenisasi di dalam *Silo*. *Raw Mix* diumpankan ke dalam *kiln system* untuk mengalami proses kalsinasi, sintering, klinkerisasi pada suhu $\pm 1.450\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan pendinginan (*quenching*) dalam *Cooler* hingga mencapai suhu $\pm 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. *Klinker* yang terbentuk, selanjutnya digiling

dalam *Cement Mill* bersamamaterial aditif lainnya (*gypsum, limestone, dan pozzolan*) sehingga menghasilkan semen.

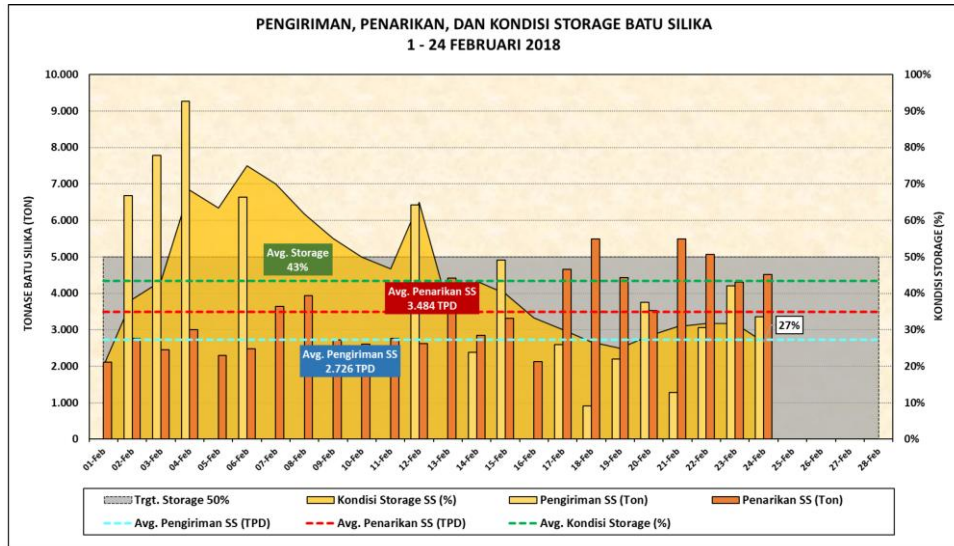
Bahan baku *Limestone* serta *Silica* didapat dari area tambang PT Semen Padang sedangkan material tambahan seperti *Clay, Iron Sand, Pozzolan* dan *Gypsum* didapatkan dari pihak luar. *Limestone* dari Bukit Karang Putih, sedangkan *Silica* didapatkan dari Bukit Ngalau. Akibat terbatasnya ijin penambangan baru di Bukit Ngalau, pada tahun 2014 penambangan *Silica* di pindahkan ke area 412 Karang Putih. Terdapat perbedaan komposisi material kandungan *Silica* yang ditambang di Karang Putih dengan yang ditambang di area Bukit Ngalau. Komposisi *Standard Silica Stone* kandungan SiO_2 Minimal 65 % dan Al_2O_3 dibawah 10 % sedangkan material *Silica* dari bukit Karang putih mengandung Al_2O_3 diatas 10 % (*High Content Alumina*) dan kandungan SiO_2 di bawah 65 %, hal ini berdampak pada peningkatan konsumsi *Silica* di pabrik.



Gambar 1.1 Peta Sebaran *Silica Alumina* Tinggi di Area Tambang

Pada tahun 2014 PT Semen Padang mulai membangun pabrik baru Indarung VI dengan kapasitas desain 2,5 juta ton pertahun. Seiring dengan beroperasinya Pabrik Indarung IV pada tahun 2017 permasalahan keterbatasan atau *Short wight* terutama *Silica* semakin sering terjadi, hal ini disebabkan dari penurunan kadar SiO_2 dalam *Silica* dan keterbatasan alat berat tambang untuk

memenuhi kebutuhan di pabrik. Dari gambar 1.2 di bawah dapat dilihat Gap antara penarikan dan pengiriman *Silica*, kekurangan stock antara penarikan dan pengiriman 750-800 ton, sedangkan kebutuhan *Silica* untuk Pabrik Indarung IV tempat obyek penelitian per hari kebutuhannya 800 ton.



Gambar 1.2 Pengiriman dan penarikan *Silica* di *storage* pabrik bulan Februari 2018

Dikarenakan keterbatasan tersebut diputuskan pasokan *Silica* dari tambang hanya untuk memenuhi kebutuhan Pabrik Indarung V dan VI, sedangkan di Pabrik Indarung IV pada bulan Oktober 2016 diputuskan untuk menggunakan *Pozzolan* sebagai pengganti keterbatasan *Silica* dari tambang. Pemilihan *Pozzolan* sebagai bahan baku alternatif pengganti *Silica* dikarenakan kandungan SiO_2 didalam *Pozzolan* diatas 65 % sebagai syarat minimal sumber SiO_2 bahan baku raw mix, seperti dalam table dibawah ini :

Tabel 1.1 Kandungan *SilicaStone* dan *Pozzolan* rata rata tahun 2017

Komposisi (%)	<i>Silica Stone</i>	<i>Pozzolan</i>
SiO_2	68-70	65-70
Al_2O_3	< 10	15-18
Karakteristik	Batuan	Pasir

(Sumber: Lab. JK PT Semen Padang 2017)

Penggunaan *pozzolan* sebagai pengganti sumber *Silica* membutuhkan komposisi yang tepat untuk mendapatkan kualitas klinker yang sesuai dengan standar. Hal ini yang mendasari peneliti untuk meneliti formulasi model optimalisasi komposisi bahan baku untuk mendapatkan Kuat tekan klinker yang sesuai standard (min. 200 kg/cm²).

Perubahan komposisi bahan baku dalam proses pembuatan klinker di Pabrik Indarung IV berdampak pada perubahan target Raw Mix Desain, dibutuhkan formulasi model untuk merumuskan perubahan target Raw Mix tersebut sehingga di dapat kualitas Klinker yang diinginkan. Penggunaan *Pozzolan* sebagai alternatif sumber Si merupakan hal yang baru pertama kali dilakukan di PT Semen Padang

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini mengkaji *pozzolan* sebagai pengganti *Silica* sebagai sumber SiO₂ alternatif untuk mengantasi keterbatasan supplay *Silica* di Pabrik Indarung IV. Penggunaan *Pozzolan* sebagai sumber *Silica* alternatif belum pernah dilakukan secara *continue*. Perbedaan karakteristik dan kandungan SiO₂ dan Alumina sebagai komponen utama *Silica stone* dan *pozzolan* menuntut perubahan Setting LSF, SIM dan ALM Raw Mix dan pembakaran di kiln diperlukan untuk mendapatkan mutu klinker yang baik.

Berdasarkan latar belakang diatas maka penting untuk dilakukan penelitian dalam upaya mendapatkan komposisi bahan baku yang optimal dengan meminimalkan biaya untuk mendapatkan kualitas klinker yang sesuai standard.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah menentukan *Formulasi Model Optimalisasi Komposisi Bahan Baku* untuk mendapatkan standar kualitas *Klinker* di pabrik Indarung IV.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di Pabrik Indarung IV PT Semen Padang dalam Periode Bulan Oktober 2017 hingga Januari 2018.
2. Penelitian dilakukan tanpa memperhitungkan komposisi Ash dan kalori bahan bakar (baru bara).
3. Feeding Kiln rata rata 310 ton /jam.
4. Kuat tekan klinker target minimal 200 kg/cm².
5. Data bahan baku pada bulan Juni 2018 digunakan sebagai perbandingan biaya bahan baku antara penggunaan *Pozzolan* dibanding *Silica*.
6. Komposisi bahan menggunakan *Dry Basis*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini bagi PT Semen Padang adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan formulasi model optimalisasi komposisi bahan baku dengan menggunakan *pozzolan* pengganti *Silica* untuk pembuatan klinker dengan kuat tekan yang sesuai standar.
2. Alternatif solusi apabila terjadi keterbatasan stock bahan baku terutama *Silica*.

Manfaat penelitian ini bagi perkembangan ilmu pengetahuan adalah sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap optimalisasi proses produksi klinker dengan bahan baku alternative pengganti *Silica Stone* dengan *Pozzolan*
2. Memberikan kontribusi kepada penerapan material alternatif pengganti *Silica Stone*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari laporan tesis ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka yang berkaitan dengan penelitian untuk mendukung dalam penyelesaian masalah penelitian dan sebagai referensi dalam pembuatan laporan tesis. Tinjauan pustaka dilakukan berkaitan dengan proses pembentukan klinker semen, proses produksi PT Semen Padang, Kualitas Raw Mix Kiln Feed, kualitas Klinker, faktor yang mempengaruhi kuat tekan Klinker, serta analisis regresi dalam penentuan model hubungan antara Karakteristik klinker dengan kuat tekan klinker serta analisa regresi analisa karakteristik Raw Mix dan karakteristik klinker dan penentuan model optimasi raw material dengan program linier.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab metodologi penelitian berisi tentang langkah-langkah sistematis dalam melakukan penelitian untuk mencapai tujuan. Langkah-langkah ini dimulai dari studi pendahuluan, studi literatur, studi lapangan, identifikasi permasalahan, perumusan masalah dan penetapan tujuan penelitian kemudian dilakukan penelitian. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data Raw Mix Kiln Feed dan Klinker yang menggunakan *Pozzolan* selama periode bulan Oktober 2017 – Januari 2018, pengolahan data untuk penentuan komposisi optimal yang menghasilkan kuat tekan klinker min. 200 kg/cm². Analisis dan evaluasi juga dilakukan selama tahapan metodologi penelitian hingga diperoleh kesimpulan penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka pada penelitian ini dilakukan untuk menguraikan teori-teori yang mendukung pelaksanaan penelitian.

2.1 Program Linear

Pengertian

Program linear dengan teknik optimasi linear adalah upaya menyelesaikan suatu masalah, dimana semua fungsi matematika yang digunakan dalam program linear merupakan fungsi linear.

Menurut Mokhtar S. Bazaraa, dkk dalam penelitian Haryati (2011) menyatakan bahwa, program linear adalah suatu masalah optimasi yang bertujuan memaksimalkan atau meminimalkan suatu fungsi linear yang memenuhi kendala-kendala berbentuk persamaan atau pertidaksamaan linear. Sedangkan menurut Johannes Supranto (2009) program linear adalah salah satu teknik dalam riset operasi untuk memecahkan persoalan optimasi dengan menggunakan persamaan dan ketidaksamaan linear dalam rangka untuk mencari pemecahan yang optimum dengan memperhatikan pembatasan-pembatasan yang ada.

Menurut Mulyono (2004) Program linear (Linear Programming yang disingkat LP) merupakan salah satu teknik Operating Research yang digunakan paling luas dan diketahui dengan baik. Program Linear merupakan metode matematika dalam mengalokasikan sumber daya yang langka untuk mencapai tujuan. Program Linear (Linear Programming) merupakan sebuah teknik matematika yang didesain untuk membantu paramanager operasi dalam merencanakan dan membuat keputusan yang diperlukan untuk mengalokasikan sumber daya berdasarkan pendapat Heizer dan Render (2006).

Program Linear menyatakan penggunaan teknik matematika tertentu untuk mendapatkan kemungkinan terbaik atas persoalan yang melibatkan sumber yang serba terbatas. Program Linear adalah suatu cara untuk menyelesaikan persoalan pengalokasian sumber-sumber yang terbatas di antara aktivitas yang bersaing dengan cara terbaik yang mungkin dilakukan. Linear programming merupakan suatu teknik yang membantu pengambilan keputusan dalam mengalokasikan sumber daya (mesin, tenaga kerja, uang, waktu, kapasitas gudang, dan bahan baku). Linear programming merupakan penggunaan secara luas dari teknik model matematika yang dirancang untuk membantu manajer dalam merencanakan dan mengambil keputusan dalam mengalokasikan sumber daya.

2.2 PT Semen Padang

1. Sekilas Tentang PT Semen Padang

PT Semen Padang adalah salah satu perusahaan produsen dan distributor semen yang dikenal memiliki reputasi yang baik dengan sistem produksi yang sangat matang. PT Semen Padang merupakan industri semen tertua dan pertama di Indonesia, didirikan pada tanggal 18 Maret 1910 dengan nama *NV Nederlandsch Indische Portland Cement Maatschappij* (NV NIPCM). Sebagai pabrik semen, PT Semen Padang memiliki target produksi semen yang dipengaruhi oleh kinerja peralatan proses. Adapun peralatan proses utama dalam memproduksi semen dapat dibagi menjadi 3 unit, yaitu: unit penggilingan bahan baku (*Raw Mill*), unit pembakaran bahan baku (*Kiln*), serta unit penggilingan semen (*Cement Mill*).

2. Bahan Baku

PT Semen Padang membutuhkan 4 bahan baku utama untuk memproduksi semen, yaitu *limestone*, *clay*, *ironsand* dan pasir *Silica* untuk diambil senyawa oksida-oksidanya sehingga akan membentuk mineral-mineral semen (C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF).

a. Bahan Baku Utama

1. Batu Kapur (*Limestone*)

Limestone digunakan sebagai sumber kalsium oksida (CaO) dan kalsium karbonat (CaCO₃). Limestone ini diambil dari penambangan di Bukit Karang Putih. Jumlah *limestone* yang digunakan sebanyak ± 80 %. Limestone berperan dalam reaksi hidrasi dan pembentuk kekuatan pada semen. Jika berlebihan akan menyebabkan semen tidak lentur dan rapuh.



Gambar 2.1 *Limestone*

Secara umum *limestone* dibedakan dari kandungan CaCO₃, yaitu:

- a. Batu kapur dengan kadar CaCO₃ tinggi (diatas 96%) atau biasa disebut dengan *high grade limestone*.
- b. Batu kapur dengan kadar CaCO₃ antara 90-96% atau biasa disebut *Marlaceous limestone*.
- c. Batu kapur dengan kadar CaCO₃ antara 75-90% atau biasa disebut *Marlastone*.

Tabel 2.1 Sifat Fisika *Limestone*

Parameter	Sifat Fisika
Fase	<i>Solid</i>
Warna	Putih kekuning-kuningan
Kadar Air	3,80%
Ukuran Material	> 60mm = 0%
<i>Silica Modulus</i>	3,21
<i>Alumina Modulus</i>	1,44
<i>Bulk Density</i>	1378 g/l (kasar), 1360 g/l (sedang), 1592 g/l (halus)

(Sumber: Laboratorium Proses Indarung IV, 2018)

Tabel 2.2 Komposisi Kimia *Limestone*

Komponen	Persentase (%)
CaO	50,31
SiO ₂	4,91
Al ₂ O ₃	1,13
Fe ₂ O ₃	0,79
MgO	0,47
H ₂ O	3,80

(Sumber: Laboratorium Proses Indarung IV, 2018)

2. Batu Silica (*Silica Stone*)

Silica adalah senyawa kimia dengan rumus molekul SiO₂ (*Silicadioksida*) yang dapat diperoleh dari **Silica** mineral, nabati dan sintesis kristal. Batu *Silica* merupakan sumber utama *Silica Oksida* (SiO₂), penambangan dilakukan di Bukit Ngalau. Penggunaan batu *Silica* sekitar 10% dari total kebutuhan dasar semen yang diperlukan dalam pembuatan semen dengan kadar SiO₂ minimal 60%, Al₂O₃ maksimal 15%, H₂O maksimal 12%, MgO maksimal 1%, dan mengandung CaO serta Fe₂O₃ dalam jumlah sedikit.



Gambar 2.2 Batu *Silica* (*Silica Stone*)

Pasir *Silica* berguna untuk meningkatkan kekuatan pada semen karena pembentukan *dikalsium silikat* (C₂S) dan *trikalsium silikat* (C₃S). Jika *Silica* berlebih akan meningkatkan kekuatan semen namun pada saat bersamaan akan memperlama setting time-nya. Pada umumnya batu *Silica* terdapat bersama oksida logam lainnya, semakin murni kadar SiO₂ semakin putih warna batu *Silica*-nya, semakin berkurang kadar SiO₂ semakin berwarna merah atau

coklat, disamping itu semakin mudah menggumpal karena kadar airnya yang tinggi. Batu *Silica* yang baik untuk pembuatan semen adalah dengan kadar $\text{SiO}_2 \pm 90\%$.

Tabel 2.3 Sifat Fisika Batu *Silica*

Parameter	Sifat Fisika
Fasa	<i>Solid</i>
Warna	Coklat kemerahan
Kadar Air	12%
Ukuran Material	> 60mm = 0%
Sifat Fisika	<i>Silica</i>
<i>Silica Modulus</i>	3,64
<i>Alumina Modulus</i>	2,073
<i>Bulk Density</i>	1210 g/l (kasar), 1216 g/l (halus)

(Sumber: Laboratorium Proses Indarung IV, 2018)

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Batu *Silica*

Komponen	Persentase (%)
CaO	3,12
SiO ₂	69,02
Al ₂ O ₃	13,38
Fe ₂ O ₃	4,52
MgO	0,83
H ₂ O	19,04

(Sumber: Laboratorium Proses Indarung IV, 2018)

3. Pasir Besi (*Iron Sand*)

Pasir besi sebagai sumber oksida besi (Fe₂O₃) digunakan 2% berfungsi untuk kekerasan dan kekuatan semen, sebagai penyerap panas saat proses pembakaran. Pasir besi didatangkan dari PT Aneka Tambang, Cilacap. Pasir besi yang mengandung mineral-mineral magnetik banyak terdapat di daerah pantai, sungai dan pegunungan vulkanik. Umumnya, pasir besi selalu tercampur dengan SiO₂ dan TiO₂ sebagai impuritiesnya. Kadar yang baik dalam pembuatan semen yaitu $\text{Fe}_2\text{O}_3 \pm 75\% - 80\%$.



Gambar 2.3 Iron Sand

Tabel 2.5 Sifat Fisika Pasir Besi

Parameter	Sifat Fisika
Fasa	Solid
Warna	Hitam
Kadar Air	10%
Sifat Fisika	Pasir Besi
Silica Modulus	-
Alumina Modulus	-
Bulk Density	1.657 g/l

(Sumber: Laboratorium Proses Indarung IV, 2018)

Tabel 2.6 Komposisi Kimia Pasir Besi

Komponen	Persentase (%)
CaO	7,67
SiO ₂	23,53
Al ₂ O ₃	6,62
Fe ₂ O ₃	57,53
MgO	0,59
H ₂ O	9,46

(Sumber: Laboratorium Proses Indarung IV, 2018)

4. Tanah Liat (*Clay*)

Rumus kimia tanah liat yang digunakan pada produksi semen $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Tanah liat digunakan sebanyak $\pm 8\%$. Pada awalnya penambangan tanah liat dilakukan di bukit Ngalau, namun karena depositnya semakin sedikit maka tanah liat dibeli dari pihak ketiga yaitu PT Igaras dan PT Yasiga Andalas di Gunung Sarik dengan kadar Al_2O_3 minimal 25%, SiO_2 maksimal 45%. Tanah liat digunakan untuk memasok alumina dan *Silica* pada saat dipanaskan di Kiln, dan menyeimbangkan kandungan CaCO_3 yang terlalu tinggi pada *limestone*.



Gambar 2.4 Clay

Tabel 2.7 Sifat Fisika Tanah Liat

Parameter	Sifat Fisika
Fasa	<i>Solid</i>
Warna	Coklat kekuningan
Kadar Air	34,8%
Ukuran Material	-
Sifat Fisika	Tanah Liat
<i>Silica Modulus</i>	0,912
<i>Alumina Modulus</i>	3,017
<i>Bulk Density</i>	750 g/l

(Sumber: Laboratorium Proses Indarung IV, 2018)

Tabel 2.8 Komposisi Kimia Tanah Liat

Komponen	Persentase (%)
CaO	0,79
SiO ₂	41,99
Al ₂ O ₃	27,88
Fe ₂ O ₃	13,44
MgO	0,34
H ₂ O	26,39

(Sumber: Laboratorium Proses Indarung IV, 2018)

b. Bahan Baku Aditif

Bahan aditif adalah bahan baku yang ditambahkan ke dalam raw mix untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diinginkan pada semen. Bahan tambahan antara lain:

1. *Gypsum*

Bahan aditif yang digunakan dalam proses pembuatan semen adalah gypsum dengan rumus CaSO₄·nH₂O. Gypsum terdiri 2 macam yaitu *gypsum* alam dan *gypsum* sintetis. *Gypsum* alam

yang diimpor dari Thailand, sedangkan *gypsum* sintesis dari PT Petrokimia, Gresik. Gypsum berfungsi sebagai retarder atau memperlambat terjadinya proses pengerasan pada semen. Apabila kristal air dalam *gypsum* hilang maka sifat retarder pada *gypsum* akan berkurang. Adapun karakteristik dari *gypsum* adalah lembab dan tahan terhadap api.



Gambar 2.5*Gypsum*

2. *Pozzolan*

Pozzolan adalah bahan yang mengandung *Silica* atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen. Namun dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen. Proporsi *pozzolan* digunakan yang digunakan sebesar 1,5%. *Pozzolan* sendiri banyak ditemukan pada daerah sekitar gunung berapi atau gunung yang tidak aktif lagi, pada PT Semen Padang bahan ini diambil dari lubang alung. Pengendalian bahan mentah meliputi dua aspek penting, yaitu sifat kimia yang meliputi komposisi kimia, mineralogy dan sifat fisika yang meliputi ukuran, kekerasan, warna, dan kadar air.



Gambar 2.6*Pozzolan*

3. Fly Ash

Fly ash adalah bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf dan bersifat pozzolan, berarti abu tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat.

Manfaat *fly ash* yaitu:

- a. Tahan terhadap korosi, suhu tinggi, dan sebagai limbah yang bermanfaat
- b. Koefisien pemuaian yang rendah
- c. Memiliki sifat *pozzolan* yang dapat digunakan untuk menghemat penggunaan *clinker* sehingga biaya produksi semen bisa dikurangi.

c. Bahan Korektif

Bahan korektif merupakan bahan mentah yang dipakai apabila terjadi kekurangan salah satu komponen pada pencampuran bahan-bahan mentah utama, misalnya:

Kekurangan CaO : Bisa ditambahkan *lime stone, marble* ($90\% \text{CaCO}_3$)

Kekurangan Al_2O_3 : Bisa ditambahkan *bauxite, laterite, koaline*, dan lain-lain

Kekurangan SiO_2 : Bisa ditambahkan *quart* dan *sand*

Kekurangan Fe_2O_3 : Bisa ditambahkan *pasir besi* dan *pyrite*

Besar kecilnya penambahan tergantung kekurangan sesuai raw mix design yang diinginkan.

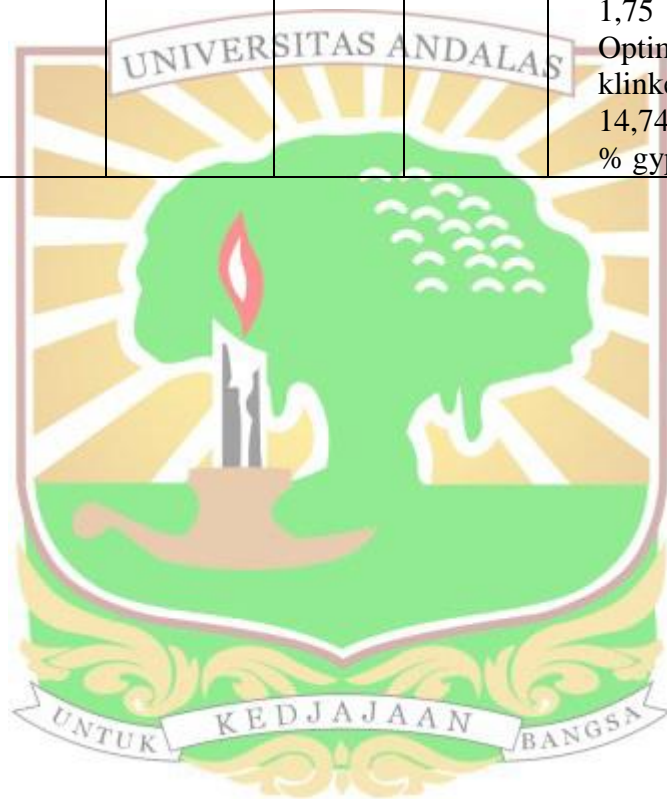
2.3 Penelitian Terdahulu

Berikut penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh peneliti pada penelitian sebelumnya:

Tabel 2.9 Penelitian Terdahulu

Judul	Peneliti	Tahun	Teknik Analisis	Hasil Penelitian
Penentuan Faktor Klinker Optimal Dengan Penambahan Chemical Grinding Aid Pada Produksi Semen (Study Kasus PT Semen Padang)	Titut Eryanto	2015	Analisis regresi, Uji Hipotesis, Uji T, Uji F dan Uji R^2	Adanya hubungan korelasi yang signifikan antara faktor klinker dan kuat tekan 3 hari semen
Perencanaan Jumlah Material Tambahan Dalam Memproduksi Semen Untuk Meminimalkan Biaya Produksi Dengan Pendekatan Taguchi	NELVI IRAWATI	2016	Formula si model statistik seperti Analisis of Variance (ANOVA), S/N ratio	Dari 3 jenis target kuat tekan semen yaitu 3 hari, 7 hari dan 28 hari diperoleh proporsi optimal dan faktor dominan yang berbeda : i. Proporsi 1 (target kuat 3 hari), mempunyai faktor dominan yang mempengaruhi kuat tekan adalah SO ₃ dengan parameter optimal adalah 10 % BTL, 4 % LOI dan 1,75 % SO ₃ . Proporsi Optimal adalah 76,67 % klinker, 11,13 % Pozzolan, 8,66 % batu kapur dan 3,54 % gypsum. ii. Proporsi 2 (target kuat 7 hari), mempunyai faktor dominan yang mempengaruhi kuat tekan adalah SO ₃ dengan parameter optimal adalah 8

				<p>% BTL, 8 % LOI dan 1,25 % SO₃. Proporsi Optimal adalah 69,70 % klinker, 7,60 % Pozzolan, 20,34 % batu kapur dan 2,36 % gypsum.</p> <p>iii. Proporsi 3 (target kuat 28 hari), mempunyai faktor dominan yang mempengaruhi kuat tekan adalah BTL dengan parameter optimal adalah 4 % BTL, 6 % LOI dan 1,75 % SO₃. Proporsi Optimal adalah 78,50 % klinker, 3,23 % Pozzolan, 14,74 % batu kapur dan 3,53 % gypsum</p>
--	--	--	--	--



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang alur penelitian yang memberikan gambaran langkah-langkah dari proses penelitian mulai dari studi pendahuluan hingga kesimpulan dan saran dari hasil penelitian. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang termasuk dalam penelitian eksperimental dimana dalam mengetahui hubungan sebab akibat antara variabel-variabel penelitian dilakukan suatu proses eksperimen untuk mendapatkan hasil yang presisi. Pada bab ini dijelaskan tahap-tahap yang telah dilakukan dalam penelitian ini. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di PT Semen Padang dan penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2017 – Januari 2018.

3.2 Tahapan Penelitian

a. Studi Pendahuluan

Pada studi pendahuluan dilakukan untuk mengetahui lebih detail tentang data-data dan informasi-informasi yang diperlukan dalam penelitian yang berkaitan dengan Industri Semen, karakteristik bahan baku semen, kuat tekan klinker, dan biaya bahan baku utama.

b. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan bahan literatur dari berbagai sumber yang relevan dengan topik penelitian. Studi literatur ini juga dilakukan untuk mencari informasi dalam bentuk dokumen seperti data dari perusahaan terkait, jurnal ilmiah, buku, media lainnya terkait permasalahan yang akan diteliti, hal ini terkait dengan kebutuhan data sebagai bahan teori-teori pendukung dalam penelitian ini.

c. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan di pabrik Indarung IV. Hal ini dilakukan untuk melihat kondisi proses produksi di lapangan. Studi lapangan terkait penggunaan *Pozzolan* sebagai sumber SiO_2 . Selain itu juga diamati kondisi alat transport untuk menjaga ketersediaan *Pozzolan* untuk pencampuran bahan baku dan hal-hal lain yang berkaitan dengan penelitian.

d. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang timbul pada pabrik Indarung IV adalah keterbatasan supply *Silica* untuk bahan baku pembuatan *Raw Mix*. Sehingga dibutuhkan penelitian tentang bagaimana cara untuk mencari optimalisasi penggunaan bahan baku dengan penggunaan *Pozzolan* sebagai pengganti *Silica*. Berdasarkan data dan informasi dari studi pendahuluan, permasalahan dapat diidentifikasi dengan lebih terarah.

e. Perumusan Masalah dan Penetapan Tujuan

Setelah permasalahan diidentifikasi maka langkah berikutnya adalah perumusan masalah sehingga dapat menetapkan tujuan penelitian. Masalah yang timbul dalam penggunaan *Pozzolan* sebagai sumber SiO_2 pengganti *Silica* adalah perbedaan karakteristik dan kandungan komposisi senyawa yang terkandung didalamnya, terutama SiO_2 . Pengecekan kuat tekan klinker merupakan salah satu indikasi untuk melihat pengaruh penggunaan *Pozzolan* dalam bahan baku. Tujuan penelitian ini untuk melihat hubungan antara Kuat Tekan dengan klinker serta bahan baku yang menggunakan *Pozzolan*, sehingga dapat di optimalisasi penggunaan serta biaya bahan baku *Raw Mix*.

f. Pengumpulan Data

Pabrik Indarung IV mulai menggunakan *Pozzolan* sebagai sumber SiO_2 , pada awal bulan Oktober 2017. Sehingga untuk mengetahui pengaruh pergantian *Silica* dengan *pozzolan* terhadap pemakaian bahan baku yang digunakan, maka dilakukan pengambilan data selama 5 bulan, yaitu bulan Juni 2018 (pemakaian

Silica murni), Oktober 2017 (pemakaian *pozzolan*), November 2017 (pemakaian *pozzolan*), Desember 2017 (pemakaian *pozzolan*), dan Januari 2018 (pemakaian *pozzolan*). Data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut:

1. Data Kuat Tekan Klinker Bulan Oktober 2017- Januari 2018, Juni 2018

Data kuat tekan klinker 3 hari selama periode pemakaian *Pozzolan* sebagai sumber SiO_2 . Sampel kuat tekan yang di analisa oleh Laboratorium Jaminan Kualitas ini dilaksanakan dalam periode 1 minggu sekali, sumber sampel klinker diambil oleh Laboratorium Proses per jam produksi klinker Indarung IV. Sampel per jam tersebut di akumulasi menjadi satu sample untuk mewakili produk klinker pada hari tersebut untuk di uji kuat tekan 3 hari. Sehingga dalam per bulan di dapat 4 buah data kuat tekan klinker. Data bulan Juni 2018 diambil untuk perbandingan ketika menggunakan *Silica*.

2. Data Kualitas Klinker Bulan Oktober 2017- Januari 2018, Juni 2018.

Data kualitas klinker indarung IV di analisa per jam oleh Laboratorium Proses untuk memastikan kualitas klinker memenuhi standard *Free Lime*, *C3S* minimal yang dipersyaratkan.

3. Data Kualitas Bahan Baku Periode Bulan Oktober 2017 – Januari 2018, Juni 2018.

Data kualitas bahan baku ini diperlukan untuk melihat komposisi material masing-masing bahan baku, untuk menentukan proposi jumlah material yang akan di umpankan ke *Raw Mill* untuk menghasilkan produk klinker yang sesuai dengan kondisi

operasional Pabrik Indarung IV. Analisa masing masing bahan baku ini dilakukan seperti di dalam table di bawah ini :

Tabel 3.1 Waktu Pengambilan Sampel Bahan Baku

Jenis bahan	Waktu Sampel
<i>Limestone</i>	1 Shift 1 X
<i>Silica</i>	1 Shift 1 X
<i>Pozoolan</i>	1 Shift 1 X
<i>Clay</i>	1 Hari sekali
<i>Iron Sand</i>	1 Hari sekali

g.

Standarisasi Data

Tahap ini meliputi pengolahan data-data yang telah diperoleh dari hasil pengumpulan data untuk mendapatkan tujuan dari penelitian ini. Data yang diolah adalah data yang menghasilkan kuat tekan $> 200 \text{ kg/cm}^2$, dengan menggunakan analisa regresi untuk mencari hubungan :

1. Hubungan karakteristik klinker dengan kuat tekan.
2. Hubungan karakteristik kiln feed dengan karakteristik klinker.

Metode analisis regresi yang digunakan antara lain:

1. Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dengan menggunakan analisis regresi linear sederhana.

$$y = ax + b$$

2. Uji Ketepatan Parameter Penduga (uji t)

Uji t digunakan untuk mengetahui atau menguji pengaruh dari satu variabel independen terhadap variabel dependen secara parsial. Untuk mencari nilai t_{hitung} digunakan dengan bantuan program SPSS, sedangkan untuk menentukan signifikansi nilai tersebut juga dapat dilihat dari nilai hasil perhitungan SPSS,

atau dengan cara membandingkan nilai t_{hitung} dengan t_{tabel} , dengan ketentuan apabila t_{hitung} lebih besar dari t_{tabel} atau $-t_{hitung}$ lebih besar dari $-t_{tabel}$ maka Hipotesis alternatif (H_1) diterima dan hipotesis awal (H_0) ditolak.

3. Uji Ketepatan Model

a) Uji F

Uji F digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara bersama-sama (simultan) terhadap variabel terikat. Signifikan berarti hubungan yang terjadi dapat berlaku untuk populasi.

Untuk mengetahui besarnya nilai F digunakan analisis regresi dengan bantuan SPSS. Adapun untuk mengetahui ada tidaknya hubungan variabel bebas dan variabel terikat dilakukan dengan cara membandingkan nilai F_{hitung} dengan nilai F_{tabel} pada uji 1 sisi, dengan ketentuan apabila F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} maka Hipotesis awal (H_0) ditolak. Hal ini berarti terdapat pengaruh yang signifikan. Sebaliknya, apabila F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} , maka H_0 diterima yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan.

Penggunaan tingkat signifikansi dalam uji F beragam tergantung kebutuhan penelitian, yaitu 0,01 (1%) ; 0,05 (5%) dan 0,10 (10%).

Hasil uji F juga dapat dilihat dalam tabel ANOVA dalam kolom sig. Sebagai contoh, dengan menggunakan taraf signifikansi 5% (0,05), jika nilai probabilitas lebih kecil dari 0,05, maka dapat dikatakan terdapat pengaruh yang signifikan secara bersama-sama antara variabel bebas

terhadap variabel terikat. Namun, jika nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 maka tidak terdapat pengaruh yang signifikan secara bersama-sama antara variabel bebas terhadap variabel terikat.

b) Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui seberapa besar hubungan dari beberapa variabel dalam pengertian yang lebih jelas. Koefisien determinasi akan menjelaskan seberapa besar perubahan atau variasi suatu variabel bisa dijelaskan oleh perubahan atau variasi pada variabel yang lain (Ashari dan Santosa 2005).

Metode analisis Z-Score adalah skor standar berupa jarak skor suatu data dari mean data kelompoknya dalam satuan standard deviasi. Fungsinya untuk melihat sebaran data tersebut terhadap kumpulan data, sehingga dapat di klasifikasikan sesuai dengan nilai Z-Score nya. Metode ini di gunakan untuk meng klasifikasikan data karakteristik klinker dengan karakteristik kuat tekan.

Rumus Z-Score :

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Keterangan, μ = Mean populasi data.
 σ = Standard Deviasi.

h. Formulasi Kebutuhan Bahan Baku

Metode yang biasa sering digunakan untuk perencanaan produksi yaitu *linear programming*. *Linear programming* dapat digunakan sebagai alat perencanaan bahan baku. Model ini pada umumnya meliputi permasalahan berfluktuasinya oksida masing-masing bahan baku *Raw Mix*, *Limestone*, *Pozzolan*, *Silica*, *Iron Sand* dan *Clay* sehingga didapat solusi kombinasi bahan baku yang terbaik (optimal) secara kualitas maupun biaya. Pada penerapannya *linear programming* hanya memiliki sebuah fungsi tujuan linier.

i. Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi model bertujuan untuk memeriksa apakah logika model yang digunakan telah sesuai dengan data yang digunakan dan mengetahui kebenaran dari model yang dibuat. Proses verifikasi model terdiri dari verifikasi komponen-komponen model dan uji dimensi model. Sedangkan validasi model bertujuan untuk mengetahui model apakah sudah mewakili sistem nyata dan menyelesaikan permasalahan pada perusahaan. Validasi model dilakukan dengan menggunakan *face validity* dan membandingkan *output* masing-masing komponen model dengan target yang ingin dicapai.

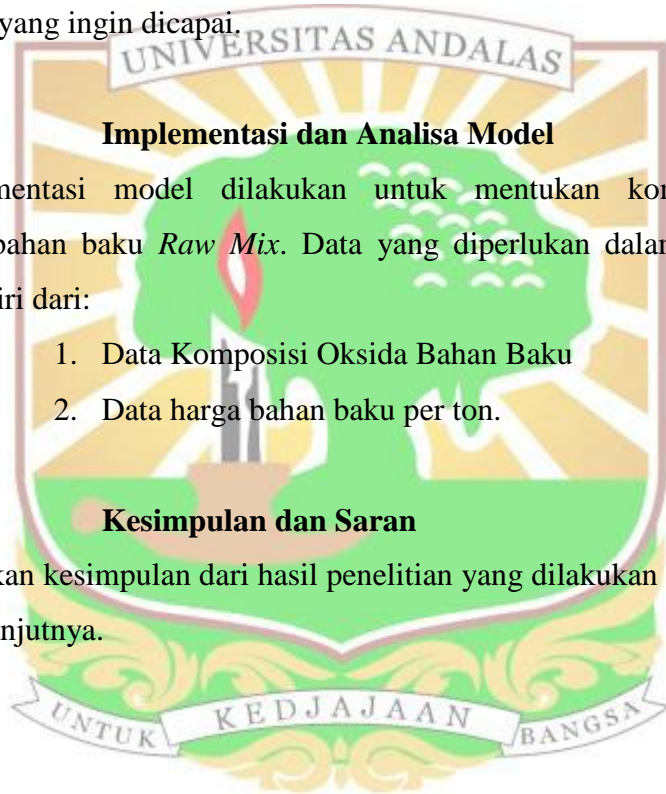
j. Implementasi dan Analisa Model

Implementasi model dilakukan untuk menentukan kombinasi *output* perencanaan bahan baku *Raw Mix*. Data yang diperlukan dalam implementasi model ini terdiri dari:

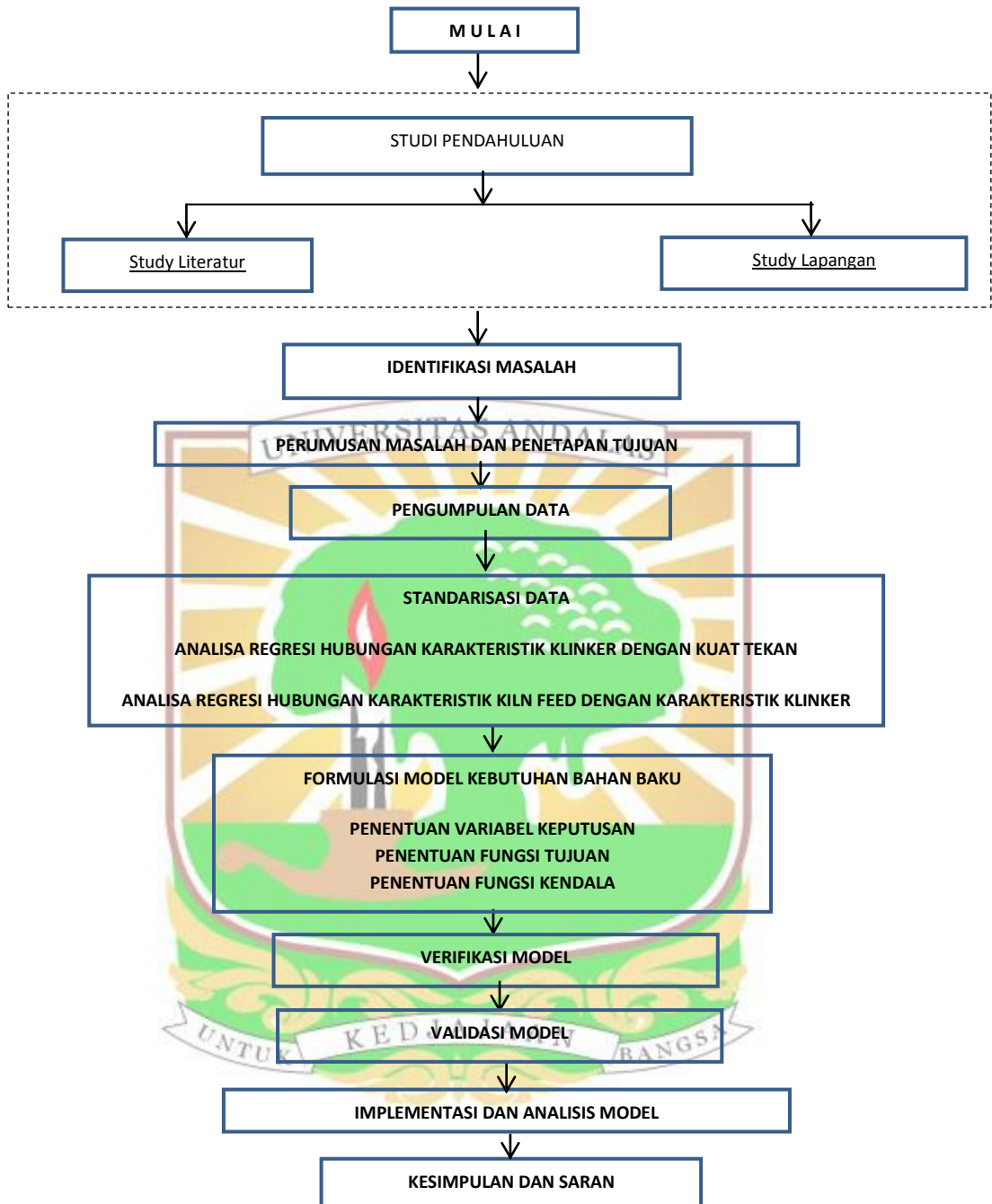
1. Data Komposisi Oksida Bahan Baku
2. Data harga bahan baku per ton.

k. Kesimpulan dan Saran

Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.



Flowchart penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

BAB IV

PENGEMBANGAN MODEL

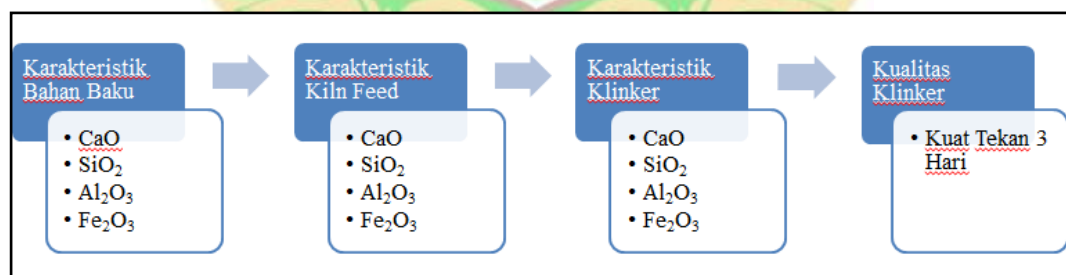
Bab ini menjelaskan mengenai pengembangan model matematis dengan menggunakan hubungan regresi dan *linear programming*.

4.1 Karakteristik Sistem

Permasalahan yang akan dibahas pada tesis ini adalah bagaimana menentukan komposisi bahan baku dalam proses pembuatan *Klinker* di Pabrik Indarung IV, dengan penggunaan *Pozzolan* sebagai alternatif sumber Si. *Pozzolan* sebagai alternatif sumber Si merupakan hal yang baru pertama kali dilakukan di PT Semen Padang, oleh karena itu diperlukan sebuah formulasi model penggunaan *Pozzolan* pengganti *Silica* di *Raw Mix*.

Penggunaan *Pozzolan* sebagai pengganti sumber *Silica* membutuhkan komposisi yang tepat untuk mendapatkan kualitas *Klinker* yang sesuai dengan standar. Hal ini yang mendasari peneliti untuk meneliti komposisi terbaik untuk mendapatkan kuat tekan *Klinker* yang sesuai standard (min. 200 kg/cm²).

Dibawah ini merupakan sistem karakteristik bahan baku, dengan Oksida yang terkandung didalam bahan baku masing-masing :



Gambar 4.1 Karakteristik Sistem

4.2 Notasi, Simbol, dan Satuan

Notasi yang digunakan dalam membuat model komposisi bahan baku dalam proses pembuatan *Klinker* adalah: *i* (jenis bahan baku). Adapun bentuk notasi, simbol, dan satuan dari model dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Notasi, Simbol, dan Satuan dari Model Komposisi Bahan Baku

No	Notasi	Simbol	Satuan
1	Jumlah bahan baku- <i>i</i> yang digunakan	X_i	Ton
2	Biaya beli bahan baku- <i>i</i> per Ton	C_i	Rp/Ton
3	Target nilai SiO_2	T	Ton
4	Kandungan SiO_2 per jenis bahan baku- <i>i</i>	S_i	Ton
5	Target nilai Al_2O_3	U	Ton
6	Kandungan Al_2O_3 per jenis bahan baku- <i>i</i>	A_i	Ton
7	Target nilai Fe_2O_3	V	Ton
8	Kandungan Fe_2O_3 per jenis bahan baku- <i>i</i>	F_i	Ton
9	Target nilai CaO	W	Ton
10	Kandungan CaO per jenis bahan baku- <i>i</i>	G_i	Ton
11	Target nilai MgO	Y	Ton
12	Kandungan MgO per jenis bahan baku- <i>i</i>	M_i	Ton

4.3 Identifikasi Kebutuhan Data dan Standarisasi Data

Data yang dibutuhkan dalam pembuatan model komposisi bahan baku, yaitu terdiri dari data kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, dan MgO pada masing-masing bahan baku, serta data kandungan pada SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, dan MgO *Klinker* dan *Kiln Feed*.

Untuk perhitungan, semua data *di-Coding* dengan menstandarkan (data asal dikurangi dengan rata-rata dan selanjutnya dibagi dengan standar deviasi)

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Contoh: kandungan SiO_2 di klinker = 21.95

Rata- rata = 21.9457

Standard deviasi = 0.3428

$$Z = \frac{x-\mu}{\sigma} = \frac{21.95-21.9457}{0.3428} = 0,0125$$

a. Data Kandungan Bahan Baku

Data kandungan bahan baku dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Data Kandungan Bahan Baku

Bahan Baku	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
<i>Limestone</i>	0,1014	0,0166	0,0107	0,4697	0,0048
<i>Pozzolan</i>	0,7440	0,1552	0,0140	0,0102	0,0063
<i>Iron Sand</i>	0,2587	0,0722	0,4878	0,0331	0,0082
<i>Clay</i>	0,4202	0,2940	0,1168	0,0093	0,0033
Komposisi yang di harapkan					
Minimum	11,03	2,89	1,98	40,90	0,23
Maksimum	17,24	4,25	2,62	45,66	0,84

b. Data Karakteristik *Kiln Feed, Klinker*, dan Kuat Tekan

Tabel 4.3 Data Kuat Tekan 3 hari di Klinker

Tanggal	ZSiO ₂	ZAl ₂ O ₃	ZFe ₂ O ₃	ZCaO	ZMgO	Z KT 3 hari
10/8/2017	-0,80	0,04	-1,03	1,71	-2,92	-0,29
10/15/2017	-2,01	1,28	-0,76	1,39	-0,26	0,09
10/22/2017	0,09	0,39	-1,27	0,72	-0,92	-0,99
10/29/2017	-0,69	1,42	-0,88	0,59	0,66	-0,23
11/5/2017	-2,06	0,85	-1,04	1,55	1,04	-0,55
11/12/2017	-0,67	0,22	0,09	0,13	1,14	0,72
11/19/2017	0,17	1,22	1,41	-2,04	1,10	-0,17
11/26/2017	-0,75	-0,33	0,97	-0,09	-0,06	1,49
12/3/2017	0,64	-1,01	0,45	-0,28	-0,25	-0,99
12/10/2017	0,22	0,92	-0,75	-0,69	-0,93	0,66
12/31/2017	-0,58	-0,18	-0,71	-0,67	0,16	0,53
1/7/2018	0,64	-0,19	0,99	-0,28	-0,47	-1,31
1/14/2018	0,81	-1,04	0,86	-0,52	0,42	2,57
1/21/2018	0,26	-1,02	1,88	0,41	0,01	0,72
1/28/2018	1,71	-0,84	0,75	0,22	0,77	0,34

Tabel 4.4 Data Penggunaan Bahan Baku di Kiln Feed dan di Klinker

No	Z KILN FEED					Z KLINKER				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
1	0,942	0,934	0,447	-0,377	2,994	0,013	0,156	-0,427	0,694	-2,546
2	1,141	1,059	0,346	-0,788	2,994	-0,483	-0,323	-1,104	0,510	-2,403
3	0,997	1,121	0,346	-0,706	2,800	0,071	-0,536	-1,288	0,896	-2,118
4	0,237	0,186	-0,159	0,389	2,897	-0,804	-0,483	-1,042	0,602	-1,975
5	1,612	0,934	0,447	-1,554	2,702	-0,775	0,582	0,249	0,565	-2,546
6	0,291	0,436	-0,058	0,197	2,800	-0,425	-0,483	-0,796	0,841	-2,403
7	-0,106	1,121	-0,058	0,525	2,800	-0,396	-0,483	-0,735	0,804	-2,403
8	1,196	0,685	0,547	-0,651	2,897	-0,192	-0,483	-0,919	1,521	-2,261
9	0,617	0,685	0,547	-0,049	2,897	-1,096	0,209	-0,059	0,731	-2,688
10	0,436	0,997	-0,058	0,142	2,800	-0,017	-0,643	-1,104	1,613	-2,403
11	0,599	1,059	0,043	-0,104	3,091	-0,571	-0,430	-1,042	1,392	-2,546
12	1,286	0,436	0,648	-0,514	2,897	-0,425	-0,589	-1,165	1,319	-2,403
13	1,214	0,560	0,547	-0,460	2,897	-0,571	-0,643	-1,042	1,337	-2,261
14	1,196	0,747	0,749	-1,937	2,605	0,100	-0,270	-0,182	1,319	-2,546
15	1,214	1,184	0,850	-0,678	2,508	0,771	-1,069	-1,165	1,594	-2,403

Data untuk lebih lengkapnya dapat dilihat di **Lampiran A**.

4.4 Analisis Hubungan Karakteristik *Klinker* dengan Kuat Tekan *Klinker*

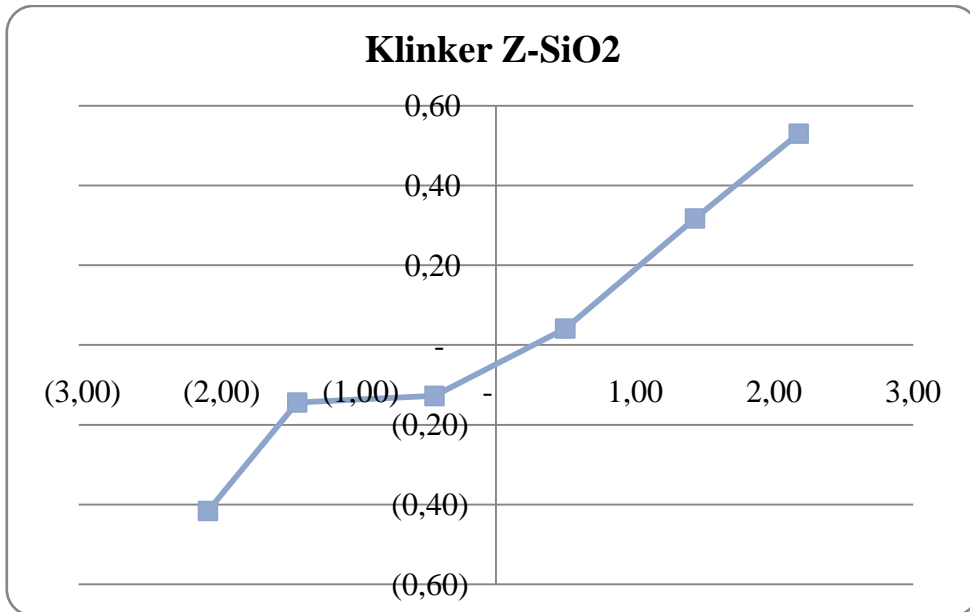
Analisis ini digunakan untuk mengetahui bagaimana karakteristik *Klinker* yang akan memberikan kuat tekan yang memenuhi standar. Evaluasi hubungan antara masing-masing komponen dalam Kiln Feed dengan masing-masing komponen dalam Klinker, maka komponen tersebut dikelompokkan dalam kelas-kelas berdasarkan nilai Z nya sebagai berikut

Tabel 4.5 Hubungan Karakteristik Klinker dengan Kuat Tekan

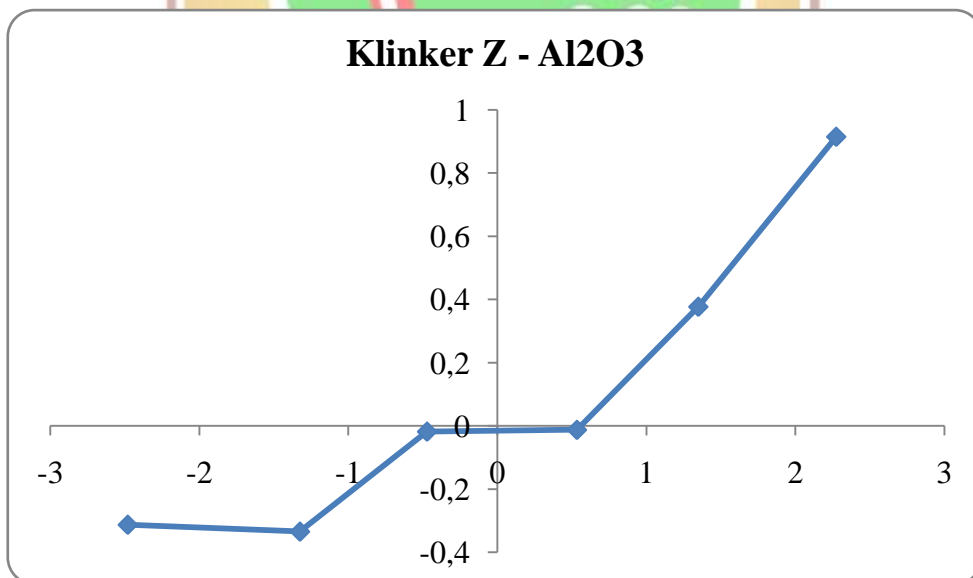
Kelas- KL.SiO ₂	Kelas- KL.Al ₂ O ₃	Kelas- KL.Fe ₂ O ₃	Kelas- KL.CaO	Kelas- KL.MgO	Z-Kuat Tekan
1	1	-1	1	-3	-0,460
-2	3	1	-1	-1	-0,084
-2	2	-1	-1	-2	-1,149
-1	1	-2	1	1	-0,397
2	3	1	-1	-1	-0,710
1	-1	-1	2	2	0,543
-1	2	1	-2	2	-0,334
1	1	-1	-2	-1	1,295
1	-2	1	-1	-1	-1,149
-1	2	-1	-1	-1	0,481
-1	-1	-4	-1	1	0,355
2	2	3	-2	-1	-1,463
2	-3	1	1	1	2,361
-3	-1	-1	2	1	0,543
1	-2	-1	-1	2	0,167

4.5 Analisis Regresi Hubungan Karakteristik *Kiln Feed* dengan Karakteristik *Klinker*

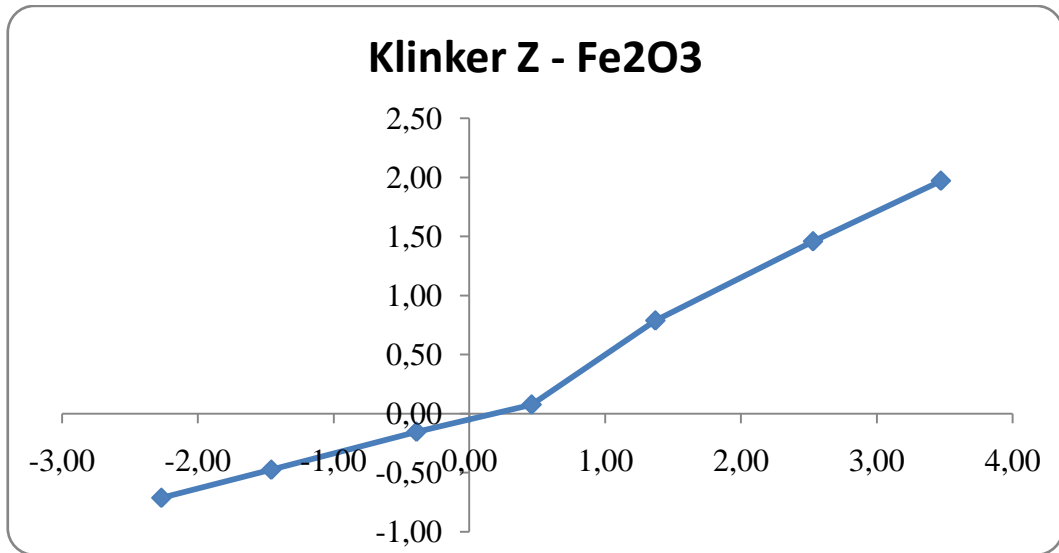
Analisis regresi digunakan untuk melihat hubungan karakteristik *Kiln Feed* dengan karakteristik *Klinker*, sehingga diketahui bagaimana karakteristik *Kiln Feed* yang akan menghasilkan karakteristik *Klinker* yang diharapkan. Pengelompokan nilai masing-masing oksida pada *Kiln Feed* dan *Klinker* dapat dilihat pada **lampiran B**. Begitu juga dengan kurva nilai masing-masing oksida pada *Kiln Feed* dan *Klinker* dapat dilihat pada **Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6**.



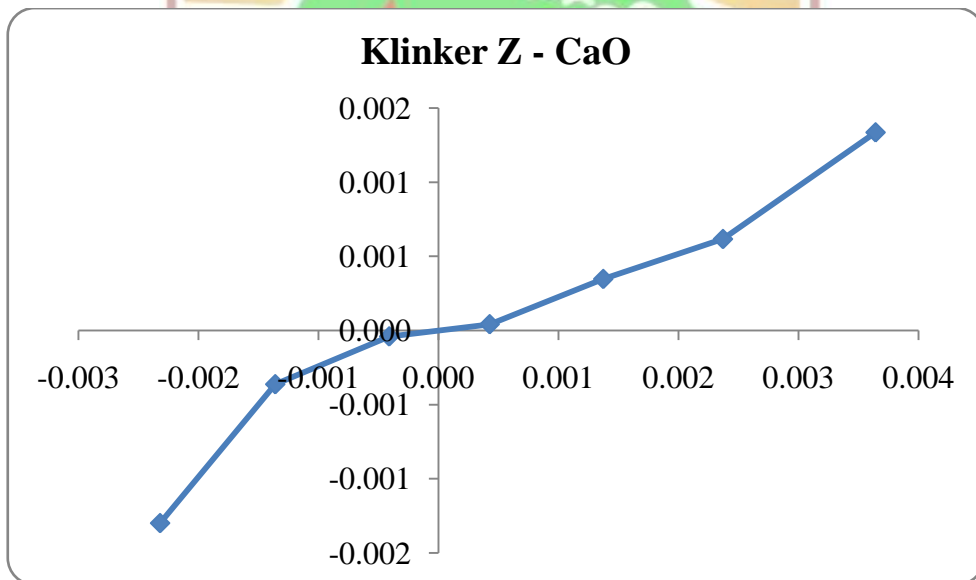
Gambar 4.2 Kurva Nilai SiO₂ pada *Kiln Feed* dan *Klinker*



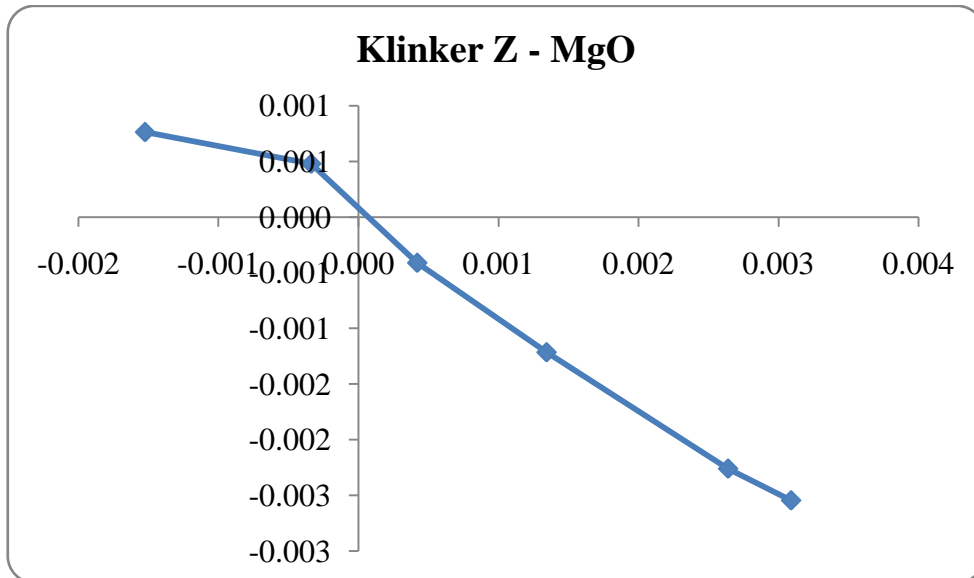
Gambar 4.3 Kurva Nilai Al₂O₃ pada *Kiln Feed* dan *Klinker*



Gambar 4.4 Kurva Nilai Fe₂O₃ pada *Kiln Feed* dan *Klinker*



Gambar 4.5 Kurva Nilai CaO pada *Kiln Feed* dan *Klinker*



Gambar 4.6 Kurva Nilai MgO pada *Kiln Feed* dan *Klinker*

4.6 Formulasi *Linear Programming*

Perumusan *linear programming* terdiri dari penentuan variabel keputusan, fungsi kendala, dan fungsi tujuan.

1. Penentuan Variabel Keputusan

Variabel keputusan dalam model komposisi bahan baku ini adalah semua variabel yang ingin dicari solusi optimalnya untuk dasar penyusunan model, yaitu:

X_i = Jumlah bahan baku- i yang digunakan

Keterangan:

i = Jenis bahan baku (1,2,3,4,5)

2. Penentuan Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan yang ingin dicapai perusahaanyaitu meminimumkan biaya beli bahan baku. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Minimasi } Z = \sum_{i=1}^5 C_i X_i$$

Keterangan:

X_i = Jenis Bahan Baku (1,2,3,4,5)

C_i = Biaya bahan baku- i yang digunakan per Ton

3. Penentuan Fungsi Kendala

a. Target SiO_2

Perusahaan berusaha mendapatkan suatu perencanaan yang dapat meningkatkan kuat tekan *Klinker*. Target SiO_2 terdiri dari target maksimum sebesar 0,172 dan target minimum sebesar 0,11. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^5 S_i X_i \geq T_{min}$$

$$\sum_{i=1}^5 S_i X_i \leq T_{max}$$

Keterangan:

X_i = Jenis bahan baku (1,2,3,4,5)

S_i = Kandungan SiO_2 per jenis bahan baku- i

T_{min} = Target minimum nilai SiO_2

T_{max} = Target maksimum nilai SiO_2

b. Target Al_2O_3

Perusahaan berusaha mendapatkan suatu perencanaan yang dapat meningkatkan kuat tekan *Klinker*. Target Al_2O_3 terdiri dari target maksimum sebesar 0,043 dan target minimum sebesar 0,029. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^5 A_i X_i \geq U_{min}$$

$$\sum_{i=1}^5 A_i X_i \leq U_{min}$$

Keterangan:

X_i = Jenis bahan baku (1,2,3,4,5)

A_i = Kandungan Al_2O_3 per jenis bahan baku- i

U_{min} = Target minimum nilai Al_2O_3

U_{max} = Target maksimum nilai Al_2O_3

c. Target Fe_2O_3

Perusahaan berusaha mendapatkan suatu perencanaan yang dapat meningkatkan kuat tekan *Klinker*. Target Fe_2O_3 terdiri dari target maksimum sebesar 0,026 dan target minimum sebesar 0,02. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^5 F_i X_i \geq V_{min}$$

$$\sum_{i=1}^5 F_i X_i \leq V_{max}$$

Keterangan:

X_i = Jenis bahan baku (1,2,3,4,5)

F_i = Kandungan Fe_2O_3 per jenis bahan baku- i

V_{min} = Target minimum nilai Fe_2O_3

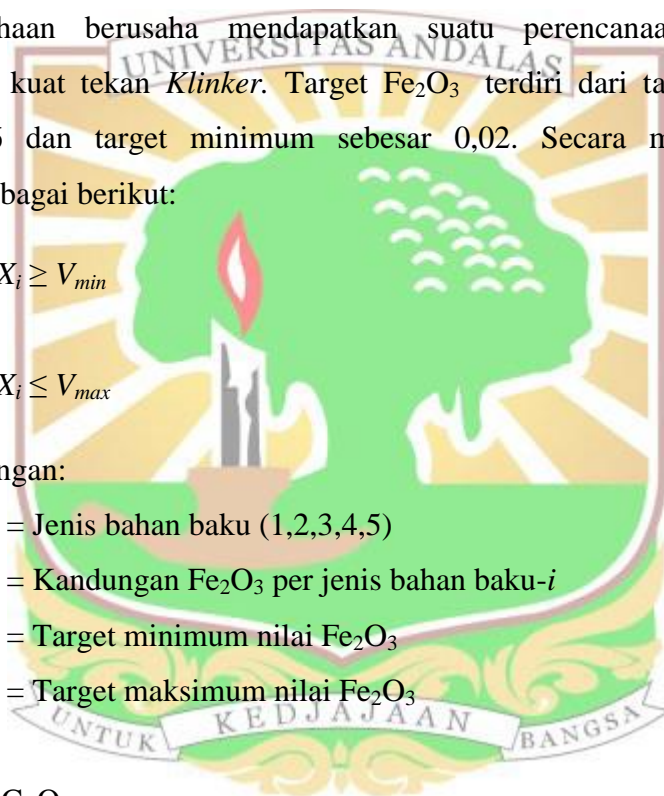
V_{max} = Target maksimum nilai Fe_2O_3

d. Target CaO

Perusahaan berusaha mendapatkan suatu perencanaan yang dapat meningkatkan kuat tekan *Klinker*. Target CaO terdiri dari target maksimum sebesar 0,457 dan target minimum sebesar 0,4. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^5 O_i X_i \geq W_{min}$$

$$\sum_{i=1}^5 O_i X_i \leq W_{max}$$



Keterangan:

X_i = Jenis bahan baku (1,2,3,4,5)

O_i = Kandungan CaO per jenis bahan baku- i

W_{min} = Target minimum nilai CaO

W_{max} = Target maksimum nilai CaO

e. Target MgO

Perusahaan berusaha mendapatkan suatu perencanaan yang dapat meningkatkan kuat tekan *Klinker*. Target MgO terdiri dari target maksimum sebesar 0,008 dan target minimum sebesar 0,002. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^5 M_i X_i \geq Y_{min}$$

$$\sum_{i=1}^5 M_i X_i \leq Y_{max}$$

Keterangan:

X_i = Jenis bahan baku (1,2,3,4,5)

M_i = Kandungan MgO per jenis bahan baku- i

Y_{min} = Target minimum nilai MgO

Y_{max} = Target maksimum nilai MgO

f. Total Persentase Bahan Baku

Total persentase bahan baku diharapkan sama dengan 1. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^5 X_i = 1$$

Keterangan:

X_i = Jenis bahan baku (1,2,3,4,5)

g. Kendala Non Negatif

$X_i \geq 0, I = \text{Jenis bahan baku (1,2,3,4,5)}$

Berdasarkan formulasi diatas didapatkan model optimalisasi komposisi bahan baku adalah sebagai berikut :

✓ **Fungsi Tujuan**

$$\text{Minimasi } Z = \sum_{i=1}^5 C_i X_i \quad \dots(4.1)$$

✓ **Fungsi Pembatas**

$$T_{min} \leq \sum_{i=1}^5 S_i X_i \leq T_{max} \quad \dots(4.2)$$

$$U_{min} \leq \sum_{i=1}^5 A_i X_i \leq U_{max} \quad \dots(4.3)$$

$$V_{min} \leq \sum_{i=1}^5 F_i X_i \leq V_{max} \quad \dots(4.4)$$

$$W_{min} \leq \sum_{i=1}^5 O_i X_i \leq W_{max} \quad \dots(4.5)$$

$$Y_{min} \leq \sum_{i=1}^5 M_i X_i \leq Y_{max} \quad \dots(4.6)$$

$$\sum_{i=1}^5 X_i = 1 \quad \dots(4.7)$$

$$X_i \geq 0, i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad \dots(4.8)$$

4.7 Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk mengecek ketidaksesuaian model matematis dengan model konseptual. Verifikasi model yang akan dilakukan terdiri dari:

1. Uji dimensi

Verifikasi model ini dilakukan dengan melakukan uji dimensional dengan memperhatikan kesamaan dimensi (satuan) antara ruas kanan dengan ruas kiri dalam model matematis yang telah dirumuskan.

$$\text{Minimasi } Z = \sum_{i=1}^5 C_i X_i \quad \dots(4.1)$$

$$Rp = \left(\frac{Rp}{Ton} \times Toh \right)$$

$$Rp = Rp$$

Berdasarkan persamaan (4.1) terlihat bahwa dimensi model antara ruas kanan dan kiri telah sama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model matematis yang dirancang telah terverifikasi dan dapat digunakan.

2. Uji pemenuhan konstrain

Uji pemenuhan konstrain dilakukan dengan hitungan manual untuk *outputSolver*. Berikut merupakan hasil perhitungan manual:

$$T_{min} \leq (S_1X_1 + S_2X_2 + S_3X_3 + S_4X_4 + S_5X_5) \quad \dots(4.9)$$

$$0,11 \leq ((0,1014 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,7440 \times 0,016) + (0,2587 \times 0) + (0,4202 \times 0,085))$$

$$0,11 \leq 0,139 \text{ (Sesuai)}$$

$$T_{max} \geq (S_1X_1 + S_2X_2 + S_3X_3 + S_4X_4 + S_5X_5) \quad \dots(4.10)$$

$$0,172 \geq ((0,1014 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,7440 \times 0,016) + (0,2587 \times 0) + (0,4202 \times 0,085))$$

$$0,172 \geq 0,139 \text{ (Sesuai)}$$

$$U_{min} \leq (A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4 + A_5X_5) \quad \dots(4.11)$$

$$0,029 \leq ((0,0166 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,1552 \times 0,016) + (0,0722 \times 0) + (0,294 \times 0,085))$$

$$0,029 \leq 0,043 \text{ (Sesuai)}$$

$$U_{max} \geq (A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4 + A_5X_5) \quad \dots(4.12)$$

$$0,043 \geq ((0,0166 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,1552 \times 0,016) + (0,0722 \times 0) + (0,294 \times 0,085))$$

$$0,043 \geq 0,043 \text{ (Sesuai)}$$

$$V_{min} \leq (F_1X_1 + F_2X_2 + F_3X_3 + F_4X_4 + F_5X_5) \quad \dots(4.13)$$

$$0,02 \leq ((0,0107 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,014 \times 0,016) + (0,4878 \times 0) + (0,1168 \times 0,085))$$

$$0,02 \leq 0,02 \text{ (Sesuai)}$$

$$V_{max} \geq (F_1X_1 + F_2X_2 + F_3X_3 + F_4X_4 + F_5X_5) \quad \dots(4.14)$$

$$0,026 \geq ((0,0107 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,014 \times 0,016) + (0,4878 \times 0) + (0,1168 \times 0,085))$$

$$0,026 \geq 0,02 \text{ (Sesuai)}$$

$$W_{min} \leq (O_1X_1 + O_2X_2 + O_3X_3 + O_4X_4 + O_5X_5) \quad \dots(4.15)$$

$$0,04 \leq ((0,4697 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,0102 \times 0,016) + (0,0331 \times 0) + (0,0093 \times 0,085))$$

$$0,04 \leq 0,423 \text{ (Sesuai)}$$

$$W_{max} \geq (O_1X_1 + O_2X_2 + O_3X_3 + O_4X_4 + O_5X_5) \quad \dots(4.16)$$

$$0,0457 \geq ((0,4697 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,0102 \times 0,016) + (0,0331 \times 0) + (0,0093 \times 0,085))$$

$$0,0457 \geq 0,423 \text{ (Sesuai)}$$

$$Y_{min} \leq (M_1X_1 + M_2X_2 + M_3X_3 + M_4X_4 + M_5X_5) \quad \dots(4.17)$$

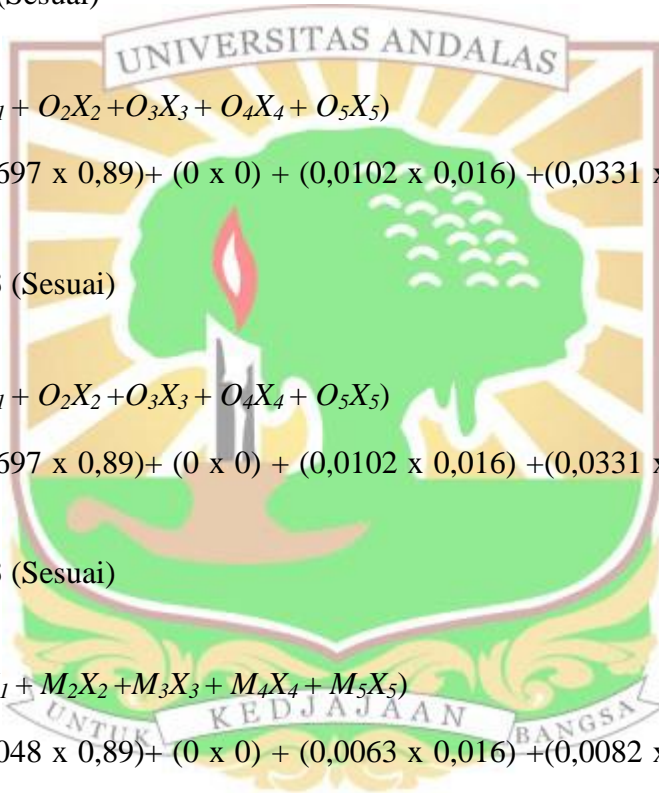
$$0,002 \leq ((0,0048 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,0063 \times 0,016) + (0,0082 \times 0) + (0,0033 \times 0,085))$$

$$0,002 \leq 0,005 \text{ (Sesuai)}$$

$$Y_{min} \geq (M_1X_1 + M_2X_2 + M_3X_3 + M_4X_4 + M_5X_5) \quad \dots(4.18)$$

$$0,008 \geq ((0,0048 \times 0,89) + (0 \times 0) + (0,0063 \times 0,016) + (0,0082 \times 0) + (0,0033 \times 0,085))$$

$$0,008 \geq 0,005 \text{ (Sesuai)}$$



Berdasarkan persamaan (4.9),(4.10),(4.11),(4.12),(4.13),(4.14),(4.15),(4.16),(4.17),(4.18), terlihat bahwa uji pemenuhan *constraint* telah memenuhi target maksimum dan target minimum. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model matematis yang dirancang telah terverifikasi dan dapat digunakan.

4.8 Validasi Model

Tahapan validasi dilakukan dengan teknik *face validity* terhadap hasil *output* model dengan staf Laboratorium. Tahapan validasi dengan teknik *face validity* dapat dilihat pada **Tabel 4.6**

Tabel 4.6 Proses Validasi oleh Staf Laboratorium

No	Tahapan	Uraian	Valid /Tidak
1	Penentuan karakteristik sistem	Karakteristik sistem pada penelitian ini berhubungan dengan proses perumusan model mengenai optimasi pemakaian bahan baku untuk pemenuhan standar kuat tekan dengan biaya yang minimum. Didalam tahap ini mencakup biaya pembelian bahan baku, kandungan masing-masing oksida pada masing-masing jenis bahan baku. Masing-masing kandungan tersebut saling berkaitan satu sama lain. Karakteristik bahan baku akan mempengaruhi karakteristik <i>Kiln Feed</i> . Karakteristik <i>Kiln Feed</i> akan mempengaruhi karakteristik <i>Klinker</i> , hingga akhirnya akan mempengaruhi kuat tekan. Penentuan karakteristik sistem ini dapat dilihat pada 4.1 Karakteristik Sistem	<i>Valid</i>
2	Bentuk formulasi model	Bentuk formulasi model dari karakteristik sistem pada optimasi pemakaian bahan baku dapat dilihat pada 4.6 Formulasi Model Matematis	<i>Valid</i>
3	<i>Output</i> model	Hasil model yang telah didapatkan dengan menggunakan <i>Solver Microsof Excel</i> dapat dilihat pada Bab 5	<i>Valid</i>

Berdasarkan **Tabel 4.6** diperoleh bahwa hasil perancangan model telah sesuai dengan sistem pengolahan bahan baku di Laboratorium Semen Padang. Hal ini dibuktikan dari hasil pemeriksaan dari setiap tahapan yang dinyatakan *valid* oleh Staf Laboratorium Semen Padang.

BAB V

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS MODEL

Bab ini menjelaskan mengenai pengembangan model matematis dengan menggunakan hubungan regresi dan *linear programming*.

4.9 Implementasi Model

Data kandungan bahan baku dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Data Kandungan Bahan Baku

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
<i>Limestone</i>	0,0440	0,0100	0,0078	0,5090	0,0047
<i>Silica</i>	0,6690	0,1243	0,0571	0,0311	0,0051
<i>Pozzolan</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<i>Iron Sand</i>	0,1900	0,0400	0,5800	0,0800	0,0040
<i>Clay</i>	0,4359	0,2800	0,1100	0,0090	0,0034
Jumlah					
Komposisi yang di harapkan					
Minimum	0,110	0,029	0,020	0,409	0,002
Maksimum	0,157	0,043	0,028	0,440	0,010

Dengan menggunakan *Solver Microsoft Excel* diperoleh hasil pada **Tabel 5.2**.

Tabel 5.2 Karakteristik *Raw Mix* Hasil *Solver Microsoft Excel*

Oksida	<i>Limestone</i> (X1)	<i>Silica</i> (X2)	<i>Pozzolan</i> (X3)	<i>Iron Sand</i> (X4)	<i>Clay</i> (X5)	Pemakaian
SiO ₂	0,0440	0,6690	0,0000	0,1900	0,4359	0,1100
Al ₂ O ₃	0,0100	0,1243	0,0000	0,0400	0,2800	0,0428
Fe ₂ O ₃	0,0078	0,0571	0,0000	0,5800	0,1100	0,0204
CaO	0,5090	0,0311	0,0000	0,0800	0,0090	0,4376
MgO	0,0047	0,0051	0,0000	0,0040	0,0034	0,0046



Dengan menggunakan regresi hubungan karakteristik *Kiln Feed* dengan karakteristik *Klinker* maka dapat diperkirakan karakteristik SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, dan MgO pada *Klinker*.

Tabel 5.3 Hasil Regresi SiO₂ *Kiln Feed* dengan *Klinker*

Regression Statistics	
Multiple R	0,974016702
R Square	0,948708536
Adjusted R Square	0,93588567
Standard Error	0,086816323
Observations	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0,557635583	0,557636	73,98568623	0,001003927
Residual	4	0,030148295	0,007537		
Total	5	0,587783878			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0,027715705	0,035448695	0,781854	0,477991226	-0,07070565	0,126137059	-0,07070565	0,126137059
X Variable 1	0,202881752	0,023586806	8,601493	0,001003927	0,13739428	0,268369224	0,13739428	0,268369224

Diperoleh hasil karakteristik SiO₂ pada *Klinker*, yaitu:

$$Y = 0,0277 + (0,2028 \times 0,11)$$

$$= 0,05$$

Tabel 5.4 Hasil Regresi Al₂O₃ *Kiln Feed* dengan *Klinker*

Regression Statistics	
Multiple R	0,917509636
R Square	0,841823933
Adjusted R Square	0,802279916
Standard Error	0,210981761
Observations	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0,947611481	0,947611	21,28828	0,009926331
Residual	4	0,178053215	0,044513		
Total	5	1,125664696			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0,107311973	0,086139706	1,24579	0,280828	-0,131850194	0,346474139	-0,131850194	0,346474139
KF. Z - Al2O3	0,248033593	0,053757648	4,613922	0,009926	0,098778434	0,397288753	0,098778434	0,397288753

Diperoleh hasil karakteristik Al₂O₃ pada *Klinker*, yaitu:

$$Y = 0,1073 + (0,248 \times 0,0428)$$

$$= 0,1179$$

Tabel 5.5 Hasil Regresi Fe_2O_3 Kiln Feed dengan Klinker

Regression Statistics	
Multiple R	0,984671394
R Square	0,969577755
Adjusted R Square	0,963493306
Standard Error	0,193367174
Observations	7

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	5,958362052	5,958362	159,3534	5,54159E-05
Residual	5	0,186954319	0,037391		
Total	6	6,145316372			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0,167504593	0,075808223	2,209583	0,078145	-0,027366647	0,362375834	-0,027366647	0,362375834
KF. Z - Fe_2O_3	0,478546233	0,037909077	12,62353	5,54E-05	0,381097849	0,575994617	0,381097849	0,575994617

Diperoleh hasil karakteristik Fe_2O_3 pada Klinker, yaitu:

$$Y = 0,1670 + (0,4785 \times 0,0204)$$

$$= 0,1772$$

Tabel 5.6 Hasil Regresi CaO pada Kiln Feed dengan Klinker

Regression Statistics	
Multiple R	0,968149954
R Square	0,937314334
Adjusted R Square	0,924777201
Standard Error	0,225467986
Observations	7

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	3,800640463	3,80064	74,76305	0,000341805
Residual	5	0,254179063	0,050836		
Total	6	4,054819525			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-0,110422115	0,088364571	-1,24962	0,266744	-0,337570478	0,116726247	-0,337570478	0,116726247
X Variable 1	0,379494509	0,043889637	8,646563	0,000342	0,266672606	0,492316411	0,266672606	0,492316411

Diperoleh hasil karakteristik CaO pada Klinker, yaitu:

$$Y = -0,1104 + (0,3794 \times 0,4376)$$

$$= 0,055$$

Tabel 5.7 Hasil Regresi MgOKiln Feed dengan Klinker

Regression Statistics	
Multiple R	0,988713714
R Square	0,977554809
Adjusted R Square	0,971943511
Standard Error	0,231573889
Observations	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	9,342368212	9,342368	174,2119	0,000190352
Residual	4	0,214505863	0,053626		
Total	5	9,556874075			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-0,139467843	0,109363604	-1,27527	0,271247	-0,443109887	0,164174201	-0,443109887	0,164174201
X Variable 1	-0,772622384	0,05853672	-13,1989	0,00019	-0,935146374	-0,610098394	-0,935146374	-0,610098394

Diperoleh hasil karakteristik MgO pada Klinker, yaitu:

$$Y = -0,1394 + (-0,7726 \times 0,0046)$$

$$= -0,143$$

Dengan menggunakan regresi hubungan karakteristik Kiln Feed dengan karakteristik Klinker maka dapat diperkirakan karakteristik SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, dan MgO pada Klinker, hal ini dapat dilihat pada **Tabel 5.8**.

Tabel 5.8 Karakteristik SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, dan MgO pada Klinker

Oksida	Karakteristik Z Klinker	
SiO ₂	0,050	1
Al ₂ O ₃	0,118	1
Fe ₂ O ₃	0,177	1
CaO	0,056	1
MgO	-0,143	-1

Tabel 5.9 Karakteristik *Klinker* dengan Kuat Tekan

Kuat Tekan	Nilai Z
232	-1
238	-1
221	-2
233	-1
228	-1
248	1
234	-1
260	2
221	-2
247	1
245	1
216	-2
277	3
248	1
242	1

Berdasarkan hasil **Tabel 5.8** dan **Tabel 5.9** dapat diprediksi bahwa dengan karakteristik dari Z- SiO_2 , Z- Al_2O_3 , Z- Fe_2O_3 , Z- CaO yang bernilai 1, akan menghasilkan nilai *range* Z-Kuat Tekan antara 242-248, dan Z- MgO yang bernilai -1 akan menghasilkan nilai *range* Z-Kuat Tekan antara 228-238.

4.10 Perbandingan Harga *Silica* dengan *Pozzolan*.

Nilai kandungan bahan baku menggunakan *Silica* sebagai sumber SiO_2 dapat dilihat pada **Tabel 5.10**

Tabel 5.10 Kandungan Bahan Baku menggunakan *Silica*

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
<i>Limestone</i>	0,0440	0,0100	0,0078	0,5090	0,0047
<i>Silica</i>	0,6690	0,1243	0,0571	0,0311	0,0051
<i>Pozzolan</i>					
<i>Iron Sand</i>	0,1900	0,0400	0,5800	0,0800	0,0040
<i>Clay</i>	0,4359	0,2800	0,1100	0,0090	0,0034
Jumlah					
Komposisi yang di harapkan					
Minimum	11,03	2,89	1,98	40,90	0,23
Maksimum	15,71	4,28	2,80	44,01	0,99

Dengan menggunakan data kandungan bahan baku pada **Tabel 5.10**, diperoleh nilai variabel keputusan komposisi optimal bahan baku dan biaya menggunakan *silica* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.11**.

Tabel 5.11 Nilai Variabel Keputusan dan Biaya Pembelian Bahan Baku

Keterangan	<i>Limestone (X1)</i>	<i>Silica (X2)</i>	<i>Pozzolan (X3)</i>	<i>Iron Sand (X4)</i>	<i>Clay (X5)</i>
Variabel Keputusan	0,855	0,040	0,000	0,000	0,105
Total Biaya	Rp42.249,81				

Nilai kandungan bahan baku menggunakan *Pozzolan* sebagai sumber SiO_2 dapat dilihat pada **Tabel 5.12**.

Tabel 5.12 Kandungan Bahan Baku menggunakan *Pozzolan*

Bahan Baku	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
<i>Limestone</i>	0,1014	0,0166	0,0107	0,4697	0,0048
<i>Silica</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<i>Pozzolan</i>	0,7440	0,1552	0,0140	0,0102	0,0063
<i>Iron Sand</i>	0,2587	0,0722	0,4878	0,0331	0,0082
<i>Clay</i>	0,4202	0,2940	0,1168	0,0093	0,0033
Jumlah					
Komposisi yang di harapkan					
Minimum	11,03	2,89	1,98	40,90	0,23
Maksimum	17,24	4,25	2,62	45,66	0,84

Dengan menggunakan data kandungan bahan baku pada **Tabel 5.12**, diperoleh nilai variabel keputusan komposisi optimal bahan baku dan biaya yang dapat dilihat pada **Tabel 5.13**.

Tabel 5.13 Nilai Variabel Keputusan dan Biaya Pembelian Bahan Baku

Keterangan	<i>Limestone (X1)</i>	<i>Silica (X2)</i>	<i>Pozzolan (X3)</i>	<i>Iron Sand (X4)</i>	<i>Clay (X5)</i>
Variabel Keputusan	0,899	0,000	0,016	0,000	0,085
Total Biaya	Rp 42.515,55				

Dari kedua biaya yang diperoleh tersebut terdapat selisih harga sebesar **Rp. 265,74/Ton**, untuk biaya pembelian bahan baku dengan *Silica* yang lebih murah daripada dengan menggunakan *Pozzolan*.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan yang dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini, yaitu:

- 1) Dari hasil pengolahan data penelitian didapatkan model regresi yang dapat digunakan untuk memprediksi Karakteristik Klinker yang berdasarkan Karakteristik *Raw Material*.
- 2) Formulasi model optimasi komposisi bahan baku yang akan memberikan biaya terendah berdasarkan kandungan masing-masing bahan baku yang di analisa.
- 3) Hasil optimasi bahan baku memberikan informasi bahwa penggunaan pozzolan sebagai pengganti *Silica* meningkatkan biaya bahan baku sekitar 265,74 rp /ton *Raw Material*.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

- 1) Formulasi model komposisi bahan baku ini membutuhkan analisis tambahan seperti spesifikasi alat proses dan bahan bakar, jika akan digunakan untuk pabrik semen lainnya.
- 2) Penelitian selanjutnya diperlukan parameter - parameter tambahan seperti kadar *Ash Fine Coal*, Komposisi *Ash Fine Coal*, dan kalori batubara serta jumlah *Fine Coal* yang di umpankan untuk mempertajam hasil analisis penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashari, Purbayu Budi Santoso. (2005) *Analisis statistic dengan Microsoft excell danSPSS*, Yogyakarta
- Christian. Sugiarto, (2013), *Penerapan Linear Programming Untuk Mengoptimalkan Jumlah Produksi Dalam Memperoleh Keuntungan Maksimal Pada Cv Cipta Unggul Pratama*. Journal The WINNERS, Vol. 14 No. 1.
- Duda, Walter H, (1976), *Cement Data Book, International Process Engineering in the Cement Industry*, 2nd edition, London, Mcdonald & Evans
- Erawati Nelvi, (2016), *Perencanaan Jumlah Material Tambahan Dalam Memproduksi Semen Untuk Meminimalkan Biaya Produksi Dengan Pendekatan Taguchi*- Tesis Jurusan Teknik Industri fakultas teknik Universitas Andalas, Padang Sumatera barat.
- Eryanto Titut, (2015), *Penentuan Faktor Klinker Optimal Dengan Penambahan Chemical Grinding Aid Pada Produksi Semen (Study Kasus PT Semen Padang)* – Tesis. Jurusan Teknik Industri fakultas teknik Universitas Andalas, Padang Sumatera barat.
- FLSmidth, (2003), *Process Cement Hand Book*, International Cement Production Seminar.
- Haryati, Ekaningsih, (2011), *Proses Untuk Menyelesaikan Masalah Fullyfuzzy Linear Programming- Skripsi*. Program Studi Matematika Jurusan Pendidikan Matematika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hillier & Lieberman, (2001), *Introduction to Operation Research*, Seven Edition, Mc Graw Hill Book.
- Laboratorium Proses Indarung IV, (2018), *Spesifikasi Standar Internal*. PT Semen Padang.



Labahn Otto, (1983), *Cement Engineers' Handbook*, Fourth Edition by B. Kohlhaas, Weisbaden and Guido Zeidler, Wiesbaden.

Luenberger David G. L & Yinyu Ye, (2008), *Linear and Nonlinear Programming* Fourth Edition, Stanford University Stanford, CA, USA

M, A. Alwi, (2008), *Efektifitas Pembelajaran Matematika Berbasis Teknologi, Berorientasi Strategi Stad Berbantuan Cd Interaktif Pada Materi Program Linier Kelas XIIPAMAN Babakan Tegal - Tesis*. Program Pascasarjana Program Studi Pendidikan Matematika.

Ningsih, Ariefiani Rachmalina. (2012). *Penerapan Pemrograman Linear Pada Aplikasi Penentuan Nilai Optimal Dengan Variabel Dan Konstrain Yang Dinamis - Skripsi*. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknologi Industri Universitas Pembangunan Nasional "Veteran",

Schrijver Alexander, (1999), *Theory of Linier and Integer Programing*, by John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 IUD, England.

Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Buku Ajar, Jurusan Tenik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada



LAMPIRAN A

Tabel A.1 Data Komposisi Oksida di *Kiln Feed* dan *Klinker*



No	KILN FEED					KLINKER				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
1	0,942	0,934	0,447	-0,377	2,994	0,013	0,156	-0,427	0,694	-2,546
2	1,141	1,059	0,346	-0,788	2,994	-0,483	-0,323	-1,104	0,510	-2,403
3	0,997	1,121	0,346	-0,706	2,800	0,071	-0,536	-1,288	0,896	-2,118
4	0,237	0,186	-0,159	0,389	2,897	-0,804	-0,483	-1,042	0,602	-1,975
5	1,612	0,934	0,447	-1,554	2,702	-0,775	0,582	0,249	0,565	-2,546
6	0,291	0,436	-0,058	0,197	2,800	-0,425	-0,483	-0,796	0,841	-2,403
7	-0,106	1,121	-0,058	0,525	2,800	-0,396	-0,483	-0,735	0,804	-2,403
8	1,196	0,685	0,547	-0,651	2,897	-0,192	-0,483	-0,919	1,521	-2,261
9	0,617	0,685	0,547	-0,049	2,897	-1,096	0,209	-0,059	0,731	-2,688
10	0,436	0,997	-0,058	0,142	2,800	-0,017	-0,643	-1,104	1,613	-2,403
11	0,599	1,059	0,043	-0,104	3,091	-0,571	-0,430	-1,042	1,392	-2,546
12	1,286	0,436	0,648	-0,514	2,897	-0,425	-0,589	-1,165	1,319	-2,403
13	1,214	0,560	0,547	-0,460	2,897	-0,571	-0,643	-1,042	1,337	-2,261
14	1,196	0,747	0,749	-1,937	2,605	0,100	-0,270	-0,182	1,319	-2,546
15	1,214	1,184	0,850	-0,678	2,508	0,771	-1,069	-1,165	1,594	-2,403
16	1,105	1,246	1,153	-0,788	1,926	-0,104	0,262	-0,120	0,363	-2,403
17	0,798	1,682	0,951	-0,542	2,314	-0,250	0,262	-0,059	0,786	-2,261
18	1,051	1,557	0,850	-0,624	2,508	-0,512	0,422	-0,182	0,933	-1,975
19	0,906	1,557	0,951	-0,405	2,217	-0,571	0,422	-0,120	0,841	-1,975
20	0,979	1,931	1,153	-0,897	2,314	-0,629	-0,164	-0,981	0,804	-1,975
21	0,490	1,495	0,850	-0,049	2,217	-1,475	0,795	-0,059	1,025	-2,403
22	0,617	1,931	0,447	-0,049	2,411	-0,746	0,901	-0,366	1,006	-2,118
23	0,997	1,931	0,648	-0,788	2,314	-0,652	0,688	-0,550	0,712	-1,975
24	0,472	1,994	0,447	-0,159	2,314	0,217	0,316	-1,042	0,455	-1,690
25	1,141	1,370	0,547	-1,171	0,568	-1,008	2,445	0,679	-0,041	-0,835
26	0,635	0,934	-0,663	-0,268	0,762	-1,183	2,179	0,679	-0,096	-1,120
27	1,593	2,181	0,749	-1,663	1,053	-0,921	1,487	-0,550	0,253	-0,692
28	1,232	1,807	0,346	-1,362	0,665	-0,979	1,647	-0,120	0,106	-0,550
29	0,653	1,682	0,144	-0,624	0,568	-1,767	1,540	-0,366	0,878	-0,550
30	0,545	0,311	-0,462	0,443	0,374	-2,262	1,540	-0,059	0,455	-0,550
31	0,888	1,121	0,043	-0,432	0,471	-2,117	0,742	-0,427	1,576	-0,407
32	1,069	0,560	-0,361	0,170	-0,403	-2,496	0,795	-0,305	1,006	-0,122
33	0,111	0,062	-0,764	1,209	-0,014	-1,883	1,327	-0,427	0,528	0,020
34	0,346	0,311	-0,361	0,224	0,180	-2,117	0,901	-0,182	0,657	-0,122
35	0,942	0,186	-0,462	0,252	-0,209	-2,233	0,742	-0,673	1,484	-0,122
36	0,635	0,249	-0,663	0,826	-0,403	-2,350	0,742	-0,489	1,374	0,020
37	0,436	0,498	-0,361	0,772	-0,403	-1,096	-0,110	-1,288	1,355	0,305
38	0,738	0,560	-0,260	0,443	-0,209	-0,979	-0,164	-1,411	1,337	0,163
39	0,725	0,685	-0,361	0,525	-0,500	-1,154	-0,057	-1,104	1,300	0,163
40	0,906	0,747	-0,159	0,060	-0,111	-0,017	-0,110	-1,534	1,300	0,305
41	0,960	0,810	-0,058	0,060	-0,209	-0,892	0,262	-0,858	1,098	0,163
42	1,051	0,623	0,043	-0,077	-0,306	-0,687	0,209	-1,227	0,731	0,163
43	1,575	0,810	-0,058	-0,432	-0,111	-0,804	1,167	0,310	0,455	-0,122
44	0,798	0,747	-0,159	0,279	-0,209	-0,717	0,475	-0,735	0,859	0,020
45	1,105	1,246	0,245	-0,186	-0,014	-0,804	1,274	0,064	0,253	0,020
46	1,630	1,184	0,245	-0,706	-0,014	0,362	0,209	-1,288	0,933	0,163
47	1,738	1,370	0,346	-1,061	0,180	-0,133	1,434	0,187	0,437	0,020
48	2,154	2,492	1,254	-2,101	0,859	-0,337	0,848	0,064	-0,390	0,163
49	0,762	0,000	-0,058	0,170	0,859	-1,533	1,061	-0,120	-0,023	-1,263
50	0,852	0,311	0,346	-0,295	0,956	-0,717	1,434	0,249	-0,703	-1,405



No	KILN FEED					KLINKER				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
51	1,087	0,498	0,547	-0,596	0,956	0,421	1,593	0,372	-0,813	-1,405
52	1,539	-0,063	0,043	-0,979	0,665	0,625	1,593	0,433	-0,739	-1,263
53	1,449	0,000	0,043	-0,952	0,568	0,858	0,901	-0,489	-0,795	-0,978
54	0,364	-0,125	-0,058	0,389	0,665	0,946	1,593	-0,120	-0,519	-0,978
55	-1,011	-1,745	-0,966	2,440	0,277	0,479	-0,164	-1,350	0,694	-0,550
56	-1,951	-2,618	-1,269	3,644	0,083	-1,562	-0,430	-1,411	1,337	-0,407
57	0,038	0,062	0,144	0,553	0,471	-0,921	-1,015	-2,087	2,568	-0,407
58	0,038	-0,935	-0,260	1,018	0,471	0,187	-0,164	-0,427	1,576	-0,550
59	-0,251	-0,686	-0,462	1,264	0,277	0,187	-0,110	-0,673	1,043	-0,407
60	0,599	-0,437	0,547	0,060	0,471	0,479	-0,962	-1,534	1,484	-0,122
61	0,689	-0,437	0,648	-0,268	0,374	0,362	-0,643	-1,411	0,767	-0,407
62	0,707	-0,250	0,144	-0,104	0,471	0,187	-0,483	-1,165	0,271	-0,407
63	-0,287	-0,437	0,043	0,607	0,471	0,100	-0,323	-1,042	0,198	-0,407
64	0,237	0,373	0,245	-0,487	0,859	-0,162	0,316	-0,366	0,069	-0,407
65	0,183	-0,038	0,043	0,224	0,277	0,325	0,209	-0,427	0,648	-0,407
66	0,960	-0,125	0,346	-0,624	0,568	0,800	-0,536	-1,534	0,528	-0,407
67	-0,378	-0,935	-0,361	0,635	0,277	0,887	-0,536	-1,964	0,198	-0,265
68	0,526	-0,063	0,749	-1,143	0,568	0,421	-0,856	-1,657	0,381	-0,407
69	0,617	-0,312	0,547	-0,350	0,762	0,829	-0,004	-1,350	0,326	-0,550
70	0,707	-0,125	0,547	-0,733	1,053	1,412	-0,589	-1,841	0,418	-0,550
71	-0,396	-0,499	0,346	-0,241	0,762	-0,046	1,540	0,433	-0,703	-1,120
72	0,328	-0,374	-0,058	-0,159	0,762	-0,046	1,487	0,372	-0,592	-1,120
73	-0,486	-0,187	0,749	0,279	-0,985	-0,483	0,848	-1,780	0,639	0,591
74	-0,486	-0,624	0,951	0,525	-1,082	-0,600	0,848	-1,780	0,271	0,591
75	-0,432	-0,624	0,648	0,306	-1,179	-0,833	0,635	-0,182	-0,188	0,733
76	0,074	-0,873	0,951	-0,022	-0,888	-0,687	0,955	0,618	0,584	0,305
77	-0,233	-1,184	0,547	0,553	-0,985	-0,454	1,061	0,741	0,363	0,448
78	-0,541	-1,060	1,052	0,525	-0,985	-0,337	0,422	0,802	0,437	0,448
79	-0,468	-0,935	0,749	0,389	-0,985	-0,046	0,369	-0,059	0,565	0,591
80	-0,324	-1,060	0,648	0,224	-1,179	-1,154	0,795	0,802	-0,390	0,305
81	-1,698	-1,309	0,245	1,510	-1,179	-0,833	0,901	0,433	-0,170	0,448
82	-1,390	-1,122	-1,269	1,291	-1,276	-0,279	1,167	-0,427	-0,354	0,591
83	-0,794	-0,997	-0,865	-0,049	-1,082	0,654	0,156	-1,841	0,767	0,876
84	0,400	-0,312	-0,764	0,115	-0,888	0,275	0,209	-1,841	0,455	0,591
85	-0,414	-0,250	-0,260	-0,268	-1,179	-0,454	0,848	-2,026	0,510	0,591
86	-0,541	-0,437	-0,462	0,197	-1,179	-0,512	1,221	-1,657	0,124	0,448
87	-1,119	-0,250	-0,159	0,416	-1,179	0,654	1,434	-0,305	-0,060	0,448
88	-0,541	-0,187	0,144	-1,253	-1,373	0,917	1,327	-0,489	0,106	0,733
89	-0,360	-0,063	-0,260	0,088	-1,276	0,333	1,114	-0,796	-0,280	0,733
90	-0,342	-0,063	0,547	-0,952	-1,276	0,246	1,700	-0,427	-0,335	0,733
91	-2,023	-1,621	-1,370	2,659	-1,373	-0,133	1,700	-0,305	-0,262	0,591
92	-1,535	-0,997	-0,462	1,592	-1,470	-0,162	1,913	-0,182	-0,354	0,591
93	-0,975	-0,935	-0,260	0,881	-1,373	-0,950	1,327	-0,243	0,951	0,733
94	-1,246	-1,247	-0,159	1,455	-1,373	-0,658	0,795	-0,796	1,043	0,876
95	-1,535	-1,247	-0,562	2,139	-1,373	-0,862	1,380	-0,243	0,933	0,448
96	-1,192	-1,184	-1,168	1,565	-1,373	-1,387	0,901	-0,919	0,381	0,733
97	0,798	-0,811	0,547	-0,159	-1,664	1,500	2,339	0,372	-0,831	-0,692
98	-0,305	-0,811	-0,159	0,334	-1,858	-0,629	0,795	-0,489	0,437	1,303
99	0,689	-1,995	1,960	-0,268	-1,373	-0,921	0,049	-1,165	0,455	1,446
100	-0,504	-0,935	-0,764	0,416	-1,858	-1,125	0,955	-0,612	1,263	1,303

No	KILN FEED					KLINKER				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
101	0,020	-0,748	-0,361	0,662	-1,761	-1,679	0,635	-0,919	1,190	1,446
102	-1,011	-1,745	-0,663	1,483	-1,761	-1,358	0,369	-1,165	1,851	1,303
103	-0,902	-1,745	-0,663	1,291	-1,761	-0,862	-0,004	-1,165	2,494	1,446
104	-0,215	-1,122	0,245	0,908	-1,567	-0,833	-0,110	-1,350	2,219	1,303
105	-0,649	-1,247	-0,159	1,264	-1,761	-1,154	0,156	-0,981	2,311	1,303
106	-0,595	-0,748	1,254	0,334	-1,664	-2,029	-0,589	-0,919	0,510	1,303
107	-0,450	-1,060	1,052	0,881	-1,664	-1,708	-0,323	-0,858	0,565	1,303
108	-0,522	-0,873	-0,058	0,990	-1,664	-1,679	0,582	0,126	1,135	1,303
109	-0,522	-0,811	-0,058	0,854	-1,761	-2,117	0,049	0,064	0,345	-6,537
110	-0,396	-1,184	-0,361	0,662	-1,761	-2,321	1,061	-0,427	1,337	1,161
111	-0,595	-1,247	-0,462	0,662	-1,761	-2,467	0,848	-0,612	1,006	1,303
112	-0,739	-1,247	-0,159	0,361	-1,858	-1,562	1,008	-0,550	0,492	1,588
113	-1,246	-1,496	-0,562	0,990	-1,955	-1,242	0,848	-0,735	0,988	1,588
114	-0,016	-0,873	0,245	-1,226	-1,955	-1,008	0,582	-0,919	-0,133	1,588
115	-0,233	-0,997	0,144	-0,569	-1,955	-0,950	0,848	-0,673	-0,023	1,588
116	-0,739	-0,935	-0,058	-0,350	-1,761	-0,425	1,221	0,064	-0,684	1,446
117	-0,088	-0,250	-0,462	1,018	-0,791	0,100	-0,536	-0,427	1,006	1,161
118	-0,468	0,685	0,245	1,018	-0,500	-0,308	-0,323	-0,243	0,804	1,161
119	-0,468	0,436	0,144	1,018	-0,597	0,246	-0,589	-0,489	0,767	1,161
120	-1,390	0,062	-0,058	1,784	-0,597	0,158	-0,430	-0,059	0,620	1,161
121	-0,468	0,436	-0,361	1,045	-0,597	-0,512	-0,004	2,277	-0,666	0,733
122	0,725	1,121	-0,058	-0,651	-0,597	-0,104	-0,217	0,433	0,473	1,018
123	-0,052	0,872	-0,260	0,033	-0,694	-0,133	0,156	0,556	-0,335	0,876
124	-1,372	0,623	-1,975	1,045	-0,694	-0,279	0,848	0,126	-0,648	0,876
125	-0,324	0,685	-0,562	0,170	-0,694	-0,512	0,156	-0,735	-0,004	1,303
126	-0,920	0,623	-0,966	0,717	-0,694	-0,600	-0,004	0,618	-0,372	1,018
127	0,689	1,059	0,447	-0,678	-0,597	-0,600	0,475	1,048	-0,923	0,876
128	-0,287	0,436	-0,562	0,224	-0,694	0,013	0,156	0,249	-0,427	1,018
129	-0,360	0,560	-0,462	0,252	-0,694	0,392	0,848	0,618	-1,511	0,876
130	-1,680	-0,125	-1,672	1,784	-0,597	0,683	0,635	0,187	-1,401	0,876
131	-2,114	-0,063	-1,874	1,647	-0,597	-1,737	-0,536	-0,981	0,822	1,018
132	-0,034	1,184	-0,663	-0,104	-0,597	-0,104	-0,004	-1,165	-0,023	1,161
133	1,395	1,557	0,447	-0,788	-0,111	-0,396	0,209	-0,981	-0,574	1,161
134	-0,667	0,436	-0,058	1,538	-0,209	0,771	0,475	-0,673	-0,721	0,876
135	-0,070	0,623	0,346	1,127	-0,209	-0,658	1,221	-0,120	-0,372	1,018
136	-1,409	0,000	-1,370	2,003	-0,306	-0,367	0,262	1,232	0,179	0,591
137	-0,269	-0,063	-0,462	0,279	-0,209	-0,512	0,369	1,355	-0,096	0,733
138	-1,680	-0,063	-1,370	2,030	-0,403	-0,862	-0,483	-0,182	0,712	0,876
139	0,020	0,436	0,144	0,197	-0,403	-0,775	-0,430	-0,243	0,896	0,876
140	-0,920	0,186	-0,159	1,237	-0,403	-1,300	-0,430	0,003	0,492	0,876
141	-1,409	-0,561	-0,260	0,826	-0,791	-0,250	1,061	0,741	-1,088	1,018
142	-0,396	-0,125	0,144	0,060	-0,985	-0,483	1,167	0,864	-1,217	1,161
143	-0,721	-0,374	0,346	0,279	-0,888	-0,542	1,167	0,864	-1,235	1,161
144	-1,825	-0,748	-0,260	0,635	-0,888	0,013	0,103	0,556	-0,537	1,161
145	-1,553	-0,873	-0,562	0,799	-0,500	-0,512	0,688	0,925	-0,703	1,161
146	0,526	-0,374	0,447	-0,323	-0,597	1,208	1,487	0,618	-2,007	1,018
147	0,020	-0,374	0,648	-0,159	-0,597	0,567	1,380	1,171	-1,511	0,876
148	1,259	0,373	1,456	-0,952	-0,403	0,858	0,422	0,802	-1,732	0,876
149	1,431	0,498	2,061	-1,335	-0,597	0,625	0,742	1,724	-2,044	0,733
150	-0,143	-0,250	1,052	-0,569	-0,597	0,829	0,848	1,540	-2,007	0,876

No	KILN FEED					KLINKER				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
151	-0,324	-0,063	0,749	0,006	-0,500	0,800	0,955	2,708	-2,448	0,876
152	0,020	0,062	0,547	0,334	-0,597	0,654	1,380	1,847	-2,026	0,591
153	1,847	0,498	1,657	-1,362	-0,500	0,100	0,103	0,310	-0,831	0,876
154	-0,342	-0,125	0,447	0,033	-0,694	-0,658	0,848	0,556	-1,346	0,876
155	2,009	0,747	0,648	-1,007	-0,500	0,450	0,422	-0,735	-0,703	0,876
156	0,020	-0,374	-0,764	-0,131	-0,014	0,392	0,582	-0,243	-1,474	-0,265
157	-0,486	-0,624	-1,269	0,553	0,083	0,567	0,422	0,741	-1,438	-0,265
158	-0,342	-0,312	-1,874	0,471	0,277	0,771	0,103	-0,427	-1,511	-0,122
159	-2,005	-1,060	-2,076	0,799	0,083	0,187	-0,430	-0,981	-0,519	0,020
160	-0,251	-0,374	-1,067	0,389	0,180	0,158	-0,004	-0,182	-0,519	-0,265
161	-0,631	-0,499	-0,966	0,006	0,083	0,829	0,262	0,433	-0,795	-0,122
162	-0,088	-0,374	-0,966	0,279	0,083	0,013	-0,696	-0,182	-0,537	-0,122
163	-0,884	-0,561	-1,168	0,744	0,083	-0,454	-0,856	-0,858	-0,004	-0,122
164	-0,106	-0,250	0,144	-0,268	0,083	0,246	-0,749	-0,489	-0,335	0,020
165	-0,342	-0,312	0,245	-0,952	-0,014	0,013	-0,057	0,556	-0,813	-0,122
166	-1,083	0,810	0,346	0,170	0,180	0,100	0,049	0,249	-0,574	0,020
167	-0,559	0,934	0,547	-0,159	0,083	0,100	0,795	1,048	-1,309	0,020
168	-1,318	0,249	0,245	0,854	0,277	-1,592	0,316	0,556	-0,243	0,020
169	-0,577	0,186	-0,159	0,443	0,277	-2,175	-0,483	-0,735	1,080	-0,122
170	-0,631	0,560	0,144	0,033	0,471	-1,037	-0,270	-0,059	0,584	-0,265
171	-0,287	0,186	-0,462	-0,049	0,277	-0,483	-0,696	-0,489	0,455	-0,122
172	0,273	0,685	-1,168	-1,007	0,083	-0,571	-0,483	-0,673	0,492	0,163
173	0,291	0,685	-1,672	-0,925	0,083	-0,221	0,103	-0,612	-0,023	-0,122
174	1,593	1,121	-0,361	-2,128	0,083	0,596	1,008	-0,858	-2,062	-0,122
175	-0,215	0,560	-0,865	-1,253	0,180	0,683	1,061	-0,612	-1,787	-0,122
176	0,382	0,436	0,749	-0,323	0,471	0,829	1,167	-0,243	-1,548	-0,122
177	-0,251	0,373	0,648	0,389	0,471	0,187	0,103	0,802	-0,776	-0,265
178	0,111	0,124	0,245	0,006	0,471	0,450	-0,110	0,433	-0,574	-0,265
179	-0,324	-0,125	-0,058	-0,159	0,374	-0,162	-0,270	1,109	0,069	-0,550
180	-0,776	-1,309	-0,562	1,756	-0,111	0,887	-1,388	0,187	-0,409	-0,265
181	-0,758	-0,935	-2,379	1,647	-0,111	1,004	-1,282	0,126	-0,207	0,020
182	-0,613	-0,997	-2,278	1,291	-0,209	0,596	-1,069	0,126	-0,666	-0,122
183	-0,342	-0,997	-2,177	1,291	-0,209	1,150	-0,909	0,064	-0,409	0,020
184	0,309	-0,125	-1,370	-0,104	-0,209	1,004	-0,164	-0,550	-0,850	-0,122
185	0,129	-0,437	-0,865	0,389	-0,111	0,800	0,262	0,249	-1,235	-0,265
186	-0,631	-0,686	-0,966	0,936	-0,111	0,100	0,688	1,355	-1,107	-0,407
187	-0,106	-0,187	0,144	0,471	-0,014	-0,250	0,369	0,925	-0,886	-0,407
188	0,038	-0,250	1,657	0,416	-0,014	1,325	1,114	1,294	-2,393	-0,265
189	0,617	-0,063	1,859	0,224	0,083	-0,221	-0,057	1,417	-0,666	-0,265
190	0,237	-0,125	1,557	0,389	-0,014	0,567	-0,430	1,847	-0,648	-0,407
191	0,328	-0,561	0,346	0,772	0,180	-0,046	0,369	2,646	-1,033	-0,407
192	-0,215	-0,873	-1,370	1,510	0,180	0,100	-0,589	1,540	-0,298	-0,265
193	-0,034	-0,873	-1,168	1,319	0,180	1,354	-1,548	-0,550	0,749	-0,122
194	0,002	-1,122	0,547	1,319	0,083	0,596	-1,441	-0,673	0,234	-0,122
195	-0,125	-1,184	0,245	1,373	0,083	-0,133	-0,962	0,064	0,032	-0,265
196	-0,360	-1,184	0,447	0,717	-0,014	0,450	-1,761	0,003	0,951	-0,122
197	-0,577	-0,873	0,043	1,237	-0,014	0,946	-2,080	-0,489	1,135	0,020
198	-1,806	-1,184	-0,462	1,729	-0,111	0,304	-1,920	0,310	-0,023	0,020
199	0,056	-0,437	0,043	0,881	0,083	1,296	-2,346	-0,796	0,620	0,163
200	-0,504	-0,811	-0,058	1,182	-0,014	0,362	-1,548	-0,059	-0,133	0,163

No	KILN FEED					KLINKER				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
201	-0,667	-1,247	-2,480	1,948	-0,111	0,217	-1,920	-0,366	-0,409	0,163
202	-0,920	-1,184	-1,975	1,948	-0,111	0,275	-1,495	-0,981	0,455	0,020
203	-0,631	0,810	-2,076	-0,651	0,665	-0,425	1,540	-0,366	-0,923	-0,550
204	-0,541	0,997	-1,672	-0,487	0,665	0,508	0,848	-1,288	0,014	-0,550
205	0,020	1,184	-1,471	-0,760	0,762	0,596	1,061	-1,165	-0,096	-0,692
206	-0,016	1,121	-1,975	-0,651	0,568	0,917	0,316	-1,780	-0,776	-0,978
207	0,038	1,121	-1,672	-0,596	0,568	0,508	0,848	-1,411	-0,776	-0,550
208	-0,233	0,810	-1,672	-0,460	0,665	1,062	0,901	-1,288	-0,942	-0,835
209	-0,758	0,623	-1,773	-0,104	0,665	0,333	0,901	-1,227	-0,960	-0,692
210	-0,486	0,747	-1,773	-0,131	0,762	-0,162	0,795	-1,104	-1,309	-1,120
211	0,834	1,246	-0,663	-1,663	0,859	0,217	0,955	-0,919	-0,721	-0,835
212	0,617	1,308	-0,562	-1,444	0,956	1,033	1,114	-0,366	-0,960	-0,978
213	-0,667	0,747	-0,764	-1,089	0,762	0,917	1,061	-0,796	-0,795	-0,835
214	0,237	1,121	-0,361	-0,460	0,762	0,421	1,114	0,556	-1,309	-0,978
215	1,593	2,056	0,749	-1,800	0,859	0,537	1,061	0,249	-1,235	-0,978
216	1,648	2,056	0,749	-1,663	0,859	0,887	0,955	0,126	-1,144	-0,692
217	1,449	2,056	0,547	-1,636	0,859	0,479	1,167	0,372	-1,438	-1,120
218	-0,541	0,747	-0,764	0,471	0,568	0,596	1,114	0,372	-1,713	-0,835
219	0,418	0,997	-0,260	0,197	0,665	0,479	0,955	0,433	-1,842	-0,835
220	-0,197	0,623	-0,562	0,553	0,471	-1,300	-0,430	0,187	0,639	-0,407
221	-1,463	0,186	-1,370	1,045	0,374	-1,417	-0,057	0,556	1,006	-0,692
222	-0,812	0,000	-1,370	1,155	0,277	0,304	-0,643	-0,858	0,639	-0,122
223	-0,794	0,062	-1,168	1,045	0,277	-0,454	-0,962	-1,165	1,447	-0,122
224	1,738	2,056	0,346	-1,691	0,277	-0,454	-0,376	0,003	0,326	-0,407
225	1,593	1,869	0,346	-1,390	0,471	-0,367	-0,323	0,003	0,363	-0,407
226	0,309	1,557	-2,076	-0,268	0,180	1,412	0,901	0,064	-1,199	-0,265
227	-0,106	-2,181	-2,278	-0,788	-0,209	-0,308	-0,749	-3,009	-0,648	0,591
228	0,309	-2,244	-2,278	-0,268	-0,500	-1,037	-0,217	-1,780	-0,831	0,591
229	-2,078	-2,742	-2,480	-0,049	-0,403	-1,767	0,156	-1,350	-1,493	0,591
230	-0,269	-2,618	-2,379	-0,377	-0,111	-0,862	-0,323	-0,366	-1,309	0,733
231	-0,269	-1,247	-1,168	-1,554	-0,500	-0,717	-1,122	-1,903	-1,015	0,876
232	-0,432	-1,621	-1,672	-1,253	-0,306	-2,204	0,635	-0,919	-1,566	0,591
233	-1,571	-0,125	-1,471	1,209	-0,306	-0,308	0,049	0,126	-0,170	0,591
234	0,870	0,124	0,245	0,525	0,471	-1,708	0,369	-0,243	0,271	0,448
235	0,291	0,124	-0,159	0,416	-2,537	0,246	-0,802	0,986	0,124	0,020
236	0,997	0,872	0,043	0,607	0,956	1,792	0,049	1,909	-0,868	-0,550
237	1,774	0,560	0,547	-0,077	0,956	1,646	-0,643	0,310	-0,280	-0,692
238	0,979	0,373	0,346	0,060	0,762	1,150	0,156	0,925	-0,096	-0,978
239	-3,579	-0,374	1,153	0,908	0,277	1,937	1,221	2,032	-1,033	-0,835
240	-1,390	1,184	0,346	-0,186	0,568	0,596	-0,856	0,187	-0,243	-0,407
241	-2,259	-0,624	-1,168	1,729	-0,014	-0,133	0,262	1,663	-0,537	-0,835
242	-1,011	0,186	-0,361	-0,268	0,083	-0,629	-1,335	-0,612	1,466	0,020
243	0,183	0,124	0,043	-0,651	-0,111	-0,221	-0,536	0,310	0,308	0,020
244	-1,336	-0,250	-0,361	0,006	-0,111	0,712	-0,376	0,618	-0,041	0,163
245	-0,360	-0,063	-0,058	-0,706	-0,111	0,654	-0,270	0,433	-0,335	0,305
246	-0,179	0,062	0,144	-1,280	-0,111	0,975	-0,536	-0,120	-0,648	0,163
247	-0,432	0,186	0,346	-1,171	-0,014	0,683	-0,110	0,495	-0,978	0,020
248	-0,866	0,062	-0,058	-0,432	0,083	1,442	-0,430	0,679	-0,648	-0,122
249	-0,956	-0,873	-0,058	-0,432	-0,209	0,946	-0,270	1,232	-0,115	0,020
250	-0,197	-0,748	-0,663	-0,268	-0,209	0,683	-0,802	0,556	-0,004	-0,122

No	KILN FEED					KLINKER				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
251	-0,541	-1,122	0,043	-0,049	-0,306	1,325	-1,814	1,232	0,675	0,591
252	-0,305	-1,184	-0,260	0,197	-0,306	1,179	-2,400	0,064	0,308	0,591
253	-0,125	-1,371	-0,361	0,142	-0,306	0,742	-1,282	0,433	-0,556	0,305
254	0,508	-1,122	-0,159	-0,159	-0,306	1,062	-1,441	0,064	-0,225	0,733
255	-0,070	-1,247	-0,361	-0,049	-0,209	1,296	-1,654	-0,243	-0,078	0,733
256	-0,866	-1,683	-0,159	0,334	-0,306	1,529	-1,548	-0,243	0,014	0,591
257	0,074	-1,434	0,144	-0,159	-0,306	0,479	-0,643	1,171	-0,519	0,448
258	-1,445	-1,745	0,144	0,772	-0,306	1,587	-1,335	0,372	-0,390	0,733
259	-2,005	-1,496	0,749	0,772	-0,111	0,596	-0,589	1,540	-0,445	0,448
260	-1,282	-1,309	0,951	0,443	-0,209	1,004	-1,175	0,741	0,161	0,591
261	-1,101	-0,811	0,144	0,334	-0,209	0,071	-0,696	2,155	-0,262	0,448
262	-1,282	-0,997	-0,462	0,607	-0,306	0,246	-0,909	1,724	-0,115	0,591
263	-0,920	-0,873	-0,361	0,170	-0,403	-1,125	-0,643	0,126	-0,041	0,591
264	-1,264	-0,935	-0,966	0,471	-0,111	1,183	-0,696	0,120	0,381	0,591
265	-1,752	-1,184	-0,865	0,279	-0,209	-0,337	-0,536	0,864	-0,868	0,591
266	-2,005	-1,184	-1,168	0,389	-0,209	0,071	-0,802	0,495	-0,648	0,591
267	0,237	-0,561	-0,159	-1,362	-0,209	0,625	-1,069	0,187	-0,445	0,591
268	0,237	-0,561	-0,159	-1,362	-0,209	1,646	-1,761	-0,981	0,510	0,591
269	-1,535	-1,184	-0,562	-0,077	-0,111	1,908	-0,057	0,372	-1,585	0,448
270	0,129	-0,686	0,043	-1,034	-0,209	1,617	-0,270	0,372	-1,621	0,591
271	-0,631	-0,997	-0,260	-0,241	-0,306	0,567	0,582	2,032	-2,430	-3,116
272	-1,589	-1,496	-0,663	0,607	-0,306	1,150	0,795	1,970	-1,970	0,305
273	-1,626	-1,496	-0,562	-0,049	-0,403	0,567	-0,589	0,372	-0,703	0,448
274	-1,680	-1,621	-1,067	0,416	-0,403	-0,746	-1,069	-0,120	-0,262	0,448
275	-0,938	-0,250	0,447	-0,295	-0,014	-0,250	-0,696	0,495	0,804	0,020
276	0,707	0,186	0,749	-1,061	0,277	-2,058	-0,802	-0,059	1,135	0,020
277	0,888	0,311	0,850	-1,061	0,180	0,829	-0,962	0,741	-0,041	0,163
278	0,147	-0,187	1,153	-0,022	0,180	1,296	-1,122	0,372	0,234	0,163
279	-0,034	-0,125	0,951	-0,295	0,277	0,887	-0,749	1,294	-0,611	-0,122
280	0,309	-0,624	-0,159	0,361	0,083	1,383	-2,613	-0,243	1,594	0,163
281	-0,269	-0,748	-0,159	0,635	0,180	0,013	-1,920	0,741	1,098	0,020
282	1,774	0,062	2,868	-0,897	0,374	1,062	-1,495	1,478	-0,096	-0,122
283	1,738	-0,187	3,070	-0,706	0,374	0,362	-1,441	2,155	-0,096	-0,122
284	0,888	-0,748	1,758	-0,159	0,180	0,654	-2,080	2,155	0,988	-0,122
285	-0,179	-0,997	1,254	1,264	0,277	0,829	-1,867	2,646	0,639	-0,265
286	-1,770	-1,371	0,144	2,960	0,471	0,450	-2,772	1,540	1,447	-0,265
287	-0,830	-0,437	0,749	1,428	0,180	-3,021	-2,879	1,109	3,174	-0,265
288	-0,450	-0,063	-0,159	0,498	-0,014	-2,233	-2,027	0,556	2,862	-0,122
289	-1,029	-0,374	-0,260	-0,131	-0,111	-1,417	-2,346	-0,305	2,568	0,305
290	1,756	3,053	4,180	-3,852	0,083	-1,387	-1,388	0,372	1,300	-0,692
291	1,069	2,741	3,676	-3,113	-0,014	0,392	-0,376	0,187	0,363	0,305
292	0,400	2,554	3,676	-2,894	0,180	1,033	2,552	3,568	-2,467	-0,122
293	-1,825	-1,122	0,245	1,455	-0,403	1,121	1,806	2,831	-2,356	0,020
294	-1,409	-0,374	1,052	0,170	-0,209	-0,862	-0,004	0,986	-1,989	0,591
295	-0,269	0,000	1,960	-0,159	-0,111	-0,746	-0,643	1,970	0,547	0,448
296	-1,155	-0,063	1,456	-0,213	-0,111	1,237	0,688	1,663	-2,264	0,448
297	-0,251	-0,499	1,456	-0,104	-0,111	1,004	-0,536	2,277	0,051	0,163
298	1,810	0,311	2,666	-1,691	0,083	0,742	-0,749	1,171	-0,096	0,448
299	0,545	0,498	0,850	-0,870	-0,403	1,004	-1,707	0,003	1,190	0,733
300	0,816	0,373	0,447	-0,295	-0,403	0,304	-1,920	-0,243	-0,188	1,018

No	KILN FEED					KLINKER				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
301	0,743	0,623	1,153	-0,925	-0,306	1,092	-1,335	0,249	0,749	0,733
302	1,069	0,560	0,850	-0,542	-0,209	0,246	-1,388	0,372	1,337	0,733
303	1,087	0,997	0,346	-1,417	-0,209	0,771	-1,707	-0,182	1,135	0,876
304	1,069	0,810	0,951	-1,116	-0,306	1,237	-1,441	0,372	0,914	0,448
305	1,521	1,059	1,153	-1,444	-0,209	1,471	-1,069	0,372	0,198	0,591
306	0,526	0,623	0,547	-0,460	-0,209	1,733	-1,122	0,495	0,510	0,733
307	0,545	0,747	0,547	-0,514	-0,306	1,558	-0,909	0,618	0,473	0,733
308	0,707	0,436	0,547	-0,432	-0,306	0,946	-0,589	1,294	0,234	0,591
309	0,599	0,560	0,547	-0,432	-0,306	0,975	-1,122	0,372	0,731	0,733
310	1,449	0,685	0,850	-1,061	-0,209	0,450	-0,909	1,048	-0,151	0,733
311	0,689	0,498	0,850	-1,226	-0,306	1,092	-1,175	0,495	-0,280	0,733
312	1,539	0,934	0,749	-1,362	-0,306	0,742	-0,483	1,232	-0,317	0,591
313	2,516	1,121	1,657	-2,156	-0,403	1,354	-0,270	0,741	-0,280	0,591
314	1,792	0,997	0,749	-1,390	-0,306	2,025	-0,643	-0,120	0,143	0,591
315	2,027	1,059	1,254	-1,745	-0,306	0,654	-0,856	-0,305	-0,354	0,448
316	1,756	0,997	0,447	-1,390	-0,306	1,646	0,529	0,925	-0,537	0,733
317	1,340	0,810	0,447	-1,226	-0,306	1,937	0,049	1,786	-0,905	0,591
318	1,774	0,997	0,648	-1,554	-0,306	1,733	-0,057	0,372	-1,125	0,733
319	0,997	0,747	1,052	-1,061	-0,306	1,471	0,635	1,294	-1,548	0,591
320	1,883	1,246	0,951	-1,745	-0,306	1,529	0,688	1,355	-1,125	0,591
321	1,413	1,059	0,850	-1,280	-0,306	1,937	-0,376	0,372	-0,482	0,591
322	1,159	0,747	0,749	-0,788	-0,306	2,229	-0,696	-0,120	-0,298	0,733



LAMPIRAN B

Tabel B.1 Pengelompokan Nilai SiO₂ pada *Kiln Feed* dan *Klinker*

Kelas KF- SiO ₂	Rata-rata	
	KF. Z - SiO ₂	K. Z - SiO ₂
-3	-2,07	-0,42
-2	-1,43	-0,14
-1	-0,44	-0,13
1	0,50	0,04
2	1,43	0,32
3	2,18	0,53

Tabel B.2 Pengelompokan Nilai Al₂O₃ pada *Kiln Feed* dan *Klinker*

Kelas KF. Al ₂ O ₃	Rata-rata	
	KF. Z - Al ₂ O ₃	K. Z - Al ₂ O ₃
-3	-2,481	-0,313
-2	-1,325	-0,334
-1	-0,472	-0,018
1	0,534	-0,013
2	1,349	0,377
3	2,274	0,915

Tabel B.3 Pengelompokan Nilai Fe₂O₃ pada *Kiln Feed* dan *Klinker*

Kelas KF. Z - Fe ₂ O ₃	Rata-rata	
	KF. Z - Fe ₂ O ₃	Z - Fe ₂ O ₃
-3	-2,269	-0,712
-2	-1,459	-0,475
-1	-0,389	-0,154
1	0,459	0,077
2	1,370	0,788
3	2,532	1,458
4	3,474	1,970

Tabel B.4 Pengelompokan Nilai CaO pada *Kiln Feed* dan *Klinker*

Kelas KF. Z - CaO	Rata-rata	
	KF. Z - CaO	K. Z - CaO
-3	-2,320	-1,300
-2	-1,360	-0,363
-1	-0,411	-0,040
1	0,427	0,042
2	1,374	0,348
3	2,372	0,617
4	3,644	1,337

Tabel B.5 Pengelompokan Nilai MgO pada *Kiln Feed* dan *Klinker*

Kelas KF. Z - MgO	Rata-rata	
	KF. Z - MgO	K. Z - MgO
-2	-1,524	0,763
-1	-0,337	0,479
1	0,420	-0,411
2	1,344	-1,215
3	2,641	-2,261
4	3,091	-2,546

