

**SKRIPSI**

**ANALISIS VARIASI PUTARAN REDUCTION KILN #1 DENGAN  
BAHAN BAKAR *High Sulphur Fuel Oil* (HSFO) DI PT. VALE INDONESIA  
Tbk.**

Disusun oleh:

**SITTI LAINUN HUMAIRAH AZZAHRAH**

**D021 18 1506**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

**SKRIPSI**

**ANALISIS VARIASI PUTARAN REDUCTION KILN #1 DENGAN  
BAHAN BAKAR *High Sulphur Fuel Oil* (HSFO) DI PT. VALE INDONESIA  
Tbk.**

**DISUSUN OLEH**

**SITTI LAINUN HUMAIRAH AZZAHRAH**

**D021 18 1506**

**Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas  
Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS VARIASI PUTARAN REDUCTION KILN #1 DENGAN  
BAHAN BAKAR *High Sulphur Fuel Oil* (HSFO) DI PT. VALE INDONESIA  
Tbk.

Disusun dan diajukan oleh  
**SITTI LAINUN HUMAIRAH AZZAHRAH**  
D021 18 1506

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas  
Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal 13 September 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT  
NIP. 197911122 008122 002

Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT  
NIP. 1971122119982 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., MT.  
NIP. 19720825 200003 1 001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : SITTI LAINUN HUMAIRAH AZZAHRAH

NIM : D021 18 1506

JUDUL SKRIPSI : ANALISIS VARIASI PUTARAN REDUCTION KILN #1  
DENGAN BAHAN BAKAR *High Sulphur Fuel Oil*  
(HSFO) DI PT. VALE INDONESIA Tbk.

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 26 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



SITTI LAINUN HUMAIRAH AZZAHRAH



**ANALISIS VARIASI PUTARAN REDUCTION KILN #1 DENGAN  
BAHAN BAKAR *High Sulphur Fuel Oil* (HSFO) DI PT. VALE INDONESIA  
Tbk.**

**Nama** : SITTI LAINUN HUMAIRAH AZZAHRAH  
**Nim** : D021 18 1506  
**Pembimbing I** : Dr.Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT  
**Pembimbing II** : Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra ST., MT

**ABSTRAK**

*Reduction Kiln* / Tanur Pereduksi merupakan salah satu alat yang digunakan dalam proses produksi *nickel matte*, alat ini berfungsi untuk proses *post drying*, *reduction*, dan *calcination* hingga menghasilkan material yang disebut sebagai *Calcine*. Untuk menghasilkan *Calcine*, terdapat beberapa bahan baku yang akan dimasukkan dan diproses dalam *Reduction Kiln*: Ore kering, batu bara (*Coal*), belerang cair (*melted sulfur*), *High Sulphur Fuel Oil* (HSFO), uap air (untuk pembakaran), dan udara. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pembakaran yang optimal pada *reduction kiln*, kesetimbangan massa dan energi, serta bagaimana sisa pembakaran pada emisi gas buang yang dihasilkan pada *Kiln* 1. Dari hasil analisis, putaran optimal terjadi pada putaran 0,9092 rpm, hasil perhitungan neraca massa dan neraca energi pada *Reduction Kiln*, komponen terbesar dari *output kiln* adalah *calcine* yang mencapai 74,152%. Sedangkan pada neraca energi, selisih perbedaan antara energi *input* dan *output* yaitu 93,2907 GJ/h, dan Pada putaran 0.80 rpm menghasilkan emisi gas buang yaitu *Particulate emission* 4.56% dengan ambang batas regulasi yaitu 150%, *NO<sub>x</sub> emission* 92% dengan ambang batas regulasi yaitu 800%, dan *CO emission* 2,493% dengan ambang batas yang masih belum tersedia.

**Kata Kunci:** Nikel, Tanur Pereduksi, kesetimbangan massa dan energi, emisi gas buang.

**ANALYSIS OF VARIATIONS OF REDUCTION KILN #1 WITH High  
Sulphur Fuel Oil (HSFO) AT PT. VALE INDONESIA Tbk.**

**Nama** : SITTI LAINUN HUMAIRAH AZZAHRAH  
**NIM** : D021 18 1506  
**Pembimbing I** : Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT  
**Pembimbing II** : Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra ST., MT

**ABSTRACT**

Reduction Kiln / Reducing Furnace is one of the tools used in the nickel matte, this tool is used for post drying, reduction, and calcination processes to produce a material known as Calcine. To produce Calcine, There are several raw materials that will be included and processed in the Reduction Kiln: ore , coal, liquid sulfur (melted sulfur), High Sulfur Fuel Oil (HSFO), water vapor (for combustion), and air. The purpose of this study is to determine the optimal combustion in the reduction kiln, mass and energy balance, and how the residual combustion in exhaust gas emissions produced in Kiln 1. From the analysis results, the optimal rotation occurs at 0.9092 rpm rotation, the results of the mass balance calculation and energy balance in the Reduction Kiln, the largest component of output kiln is calcine which reaches 74.152%. While on the energy balance, the difference between input and output is 93.2907 GJ/h, and at 0.80 rpm rotation produces exhaust emissions, namely Particulate emission 4.56% with a regulatory threshold of 150%, NO<sub>x</sub> emission of 92% with a regulatory threshold of 800%, and CO emission of 2.493% with a threshold that is not yet available.

**Keywords:** Nickel, reduction kiln, mass and energy balance, exhaust emissions.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang mengambil judul : “*ANALISIS VARIASI PUTARAN REDUCTION KILN #1 DENGAN BAHAN BAKAR High Sulphur Fuel Oil (HSFO) DI PT. VALE INDONESIA Tbk.*”

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa program S-1 di program studi Jurusan Mesin Prodi Teknik Mesin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Pihak PT. Vale Indonesia yang telah memberikan saya kesempatan untuk melakukan penelitian.
2. Ibu Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT selaku dosen pembimbing pertama skripsi saya yang telah memberikan kritik dan saran bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra ST., MT selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan serta masukan selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen dan serta staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu kami dalam mengurus dan memudahkan perjalanan berkas kami menuju Rektorat.
5. Kepada saudara(i) seperjuangan REACTOR'18 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada saudara Rizki Habibie, Gary Anderson, Erina

Dwi Ramadhani, Nurkhafidzah, Nadya Indriani Sazqia, dan Dea Asrini Mas'ud, serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.

6. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Aztuty Amier dan saudaraku yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moral, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Buat sahabat – sahabat saya. Terima kasih atas dukungan dan doanya.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Gowa, 26 Agustus 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABELY</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>NOMENKLATUR</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Profil Perusahaan.....	3
2.2 Proses Pengolahan Nikel di Process Plant.....	4
2.2.1 Tahap Penambangan .....	5
2.2.2 Tahap Ekstraksi.....	6
2.3 Emisi Gas Buang .....	10
2.3.1 Efek emisi gas buang bagi lingkungan .....	11
2.4 Bahan Bakar .....	11
2.5 <i>Reduction Kiln</i> .....	13
2.6 Sulfidasi.....	17
2.6.1 Fiksasi Sulfur .....	17
2.6.2 Faktor-Faktor Sulfidasi .....	18
2.6.3 Proses Tanur Pengering dan Pereduksi ( <i>Reduction Kiln</i> )	20
2.6.4 Bagian-Bagian <i>Reduction Kiln</i> & Sistem Pendukungnya	22



<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	35
3.2 Alat dan Bahan .....	35
3.3 Flowchart Alur Penelitian.....	39
3.4 Rencana dan Jadwal Penelitian .....	40
3.5 Prosedur Penelitian.....	40
3.5.1 Studi Literatur .....	40
3.5.2 Persiapan Alat dan Bahan .....	40
3.5.3 Pengumpulan dan Pengambilan Data .....	41
3.5.4 Penyusunan Model Neraca Massa dan Energi.....	42
3.5.5 Perhitungan Neraca Massa.....	42
3.5.6 Perhitungan Neraca Energi .....	43
3.6 Jenis Penelitian .....	43
3.7 Rumus Yang Digunakan.....	43
<b>BAB IV HASIL &amp; PEMBAHASAN .....</b>	<b>45</b>
4.1 Grafik dan Pembahasan.....	45
4.1.1 Hubungan antara Putaran <i>Kiln</i> Vs Ore <i>Feedrate</i> .....	45
4.1.2 Hubungan antara variasi Putaran Vs <i>Burner Lance Oil</i> <i>Flow</i> .....	46
4.1.3 Hubungan antara variasi Putaran Vs <i>Burner Fuel Oil</i> <i>Flow</i> .....	47
4.1.4 Hubungan antara variasi Putaran Vs Temperatur di dalam <i>Kiln</i> .....	48
4.1.5 Hubungan antara variasi Putaran Vs Temperatur <i>Off Gas</i> .....	49
4.2 Neraca Massa dan Neraca Energi.....	50
4.2.1 Neraca Massa <i>Reduction Kiln</i> .....	50
4.2.2 Perhitungan Aliran Energi dan Neraca Energi <i>Reduction</i> <i>Kiln</i> .....	53
4.3 Emisi Gas Buang .....	60

<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>62</b>
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran.....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>65</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan jenis <i>ore East Block Ore</i> dan <i>West Block Ore</i> .....	4
Tabel 2.2	Kadar Ni, Fe, S/M, S dari setiap proses .....	6
Tabel 2.3	<i>Product nickel matte specifications</i> .....	10
Tabel 2.4	Spesifikasi HSFO ( <i>High Sulfur Fuel Oil</i> ) / MFO yang digunakan di PT. Vale Indonesia Tbk.....	13
Tabel 2.5	<i>Spesifikasi Marine Fuel Oil (MFO180)</i> atau <i>High Sulphur Fuel Oil (HSFO180)</i> .....	13
Tabel 2.6	Perbandingan Dimensi <i>Rotary Kiln</i> di PT. Vale Indonesia Tbk ...	20
Tabel 3.1	Spesifikasi <i>Kiln 1</i> .....	36
Tabel 3.2	Rencana dan Jadwal Penelitian .....	40
Tabel 4.1	Neraca Massa <i>Reduction Kiln</i> .....	52
Tabel 4.2	Neraca Energi <i>Reduction Kiln</i> .....	58
Tabel 4.3	Data Emisi Gas Buang PT. Vale Indonesia Tbk.....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pengolahan Nikkel.....	6
Gambar 2.2	<i>Schematic Diagram Of The Pre-Reduction Rotary Kiln</i> .....	14
Gambar 2.3	<i>Reduction Kiln Process Flow</i> .....	14
Gambar 2.4	<i>Reduction Kiln</i> .....	15
Gambar 2.5	Skema alur proses di <i>Reduction Kiln</i> .....	22
Gambar 2.6	Skema <i>reduction kiln</i> tampak samping yang disederhanakan .	22
Gambar 2.7	Potongan <i>rotary kiln</i> pada <i>tyre</i> (kiri) dan <i>bull gear</i> (kanan) ....	23
Gambar 2.8	<i>Main Burner</i> .....	24
Gambar 2.9	<i>Kiln Shell</i> .....	25
Gambar 2.10	<i>Tyre dan Trunnion</i> .....	26
Gambar 2.11	<i>Thrust Roller</i> .....	27
Gambar 2.12	<i>Main Drive System</i> .....	28
Gambar 2.13	<i>Air Pipe</i> pada <i>Kiln</i> .....	30
Gambar 2.14	<i>Multiclone</i> .....	32
Gambar 2.15	<i>Electro Static Precipitator (ESP)</i> .....	34
Gambar 3.1	<i>Technical drawing Reduction Kiln 1</i> .....	36
Gambar 3.2	<i>Main Drive</i> .....	36
Gambar 3.3	<i>Multiclone</i> .....	37
Gambar 3.4	<i>Gas Analyzer</i> .....	37
Gambar 3.5	<i>Variable Speed Drive Power Flex 755</i> .....	38
Gambar 3.6	Flowchart Alur Penelitian .....	39
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Putaran (Rpm Vs <i>Burner Lance Oil</i> )	45
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Putaran (Rpm Vs <i>Burner Lance Oil</i> )	46
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara Putaran (Rpm Vs <i>Burner Lance Oil Flow</i> ) .....	47
Gambar 4.4	Grafik Hubungan antara Putaran (Rpm Vs Temperatur).....	48
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Putaran (Rpm Vs Temperatur <i>Off Gas</i> ).....	49
Gambar 4.6	Ilustrasi massa dan panas masuk pada <i>Kiln</i> .....	50

Gambar 4.7	<i>Schematic of mass in and mass out material in the rotary kiln</i>	51
Gambar 4.8	Diagram Sankey untuk aliran massa <i>reduction kiln</i>	179
	ton/hour .....	52
Gambar 4.9	<i>Schematic of material and energy flows in the rotary kiln</i> .....	57
Gambar 4.10	Diagram Sankey untuk aliran massa energi <i>reduction kiln</i>	179
	ton/hour .....	59



## NOMENKLATUR

- $M_{K,in}$  : Jumlah laju aliran massa masuk ke *rotary kiln*
- $M_{K,out}$  : Jumlah laju aliran massa keluar dari *rotary kiln*
- $M_{K,ho}$  : *Flowrate* massa HSFO *rotary kiln*
- $M_{K,ca}$  : *Flowrate* massa *combustion air rotary kiln*
- $M_{K,ap}$  : *Flowrate* massa udara yang masuk melalui *air pipe rotary kiln*
- $M_{K,rkf}$  : *Flowrate* massa *ore rotary kiln feed*
- $M_{K,c}$  : *Flowrate* massa *calcine*
- $M_{K,dog}$  : *Flowrate* massa *dust in off gas*
- $E_{K,in}$  : Jumlah *flowrate* energi masuk ke *rotary kiln*
- $E_{K,out}$  : Jumlah *flowrate* energi keluar dari *rotary kiln*
- $E_{K,ho}$  : *Flowrate* energi HSFO *rotary kiln*
- $E_{K,ca}$  : *Flowrate* energi *combustion air rotary kiln*
- $E_{K,ap}$  : *Flowrate* energi udara yang masuk melalui *air pipe rotary kiln*
- $E_{K,ogk}$  : *Flowrate* energi *off gas kiln*
- $E_{K,c}$  : *Flowrate* energi *calcine*
- $E_{K,rr}$  : *Flowrate* energi reaksi reduksi
- $E_{K,ev}$  : *Flowrate* energi penguapan
- $H_{st}$  : Entalphi *steam*
- $H_{ca}$  : Enthalpy *combustion air* atau udara pembakaran
- $H_{ap}$  : Enthalpy *air pipe* atau udara peniup samping
- $H_{rkf}$  : Enthalpy *rotary kiln feed* atau pasokan bijih laterit *kiln*
- $H_{ogk}$  : Enthalpy *off-gas kiln*
- $H_c$  : Enthalpy *calcine* atau produk *kiln*
- $LHV_{fo}$  : *Low heating value high sulfur fuel oil*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah dan sangat luar biasa, baik sumber daya alam hayati, maupun sumber daya alam non hayati. Salah satu sektor yang punya potensi besar yang dapat mewujudkan hal tersebut adalah sektor mineral dan nikel merupakan salah satu mineral unggulan yang ada di Indonesia. PT. Vale Indonesia merupakan perusahaan tambang dan pengolahan nikel terintegrasi yang beroperasi di Blok Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. PT. Vale menambang nikel laterit untuk menghasilkan produk akhir berupa nikel dalam bentuk granulat. Volume produksi nikel PT Vale rata-rata mencapai 75.000 metrik ton per tahunnya. Dalam memproduksi nikelnya di Blok Sorowako, PT Vale menggunakan teknologi *phyrometalurgy* atau teknik *smelting* (meleburkan bijih nikel laterit).

Dalam proses produksi nikel *matte*, bahan bakar yang digunakan meliputi *High Sulphur Fuel Oil* (HSFO) dan *High Speed Diesel* (HSD), digunakan untuk operasional alat berat dan kendaraan pengangkut. Selain itu, juga ada batubara untuk tanur pengering dan HSFO untuk tanur pereduksi. *Reduction Kiln / Tanur Pereduksi* merupakan salah satu alat yang digunakan dalam proses produksi *nickel matte*, alat ini berfungsi untuk proses *post drying*, *reduction*, dan *calcination*. *Reduction Kiln* memanfaatkan gerak berputar di dalam prinsip kerjanya. Panas pembakaran yang dibutuhkan dalam proses pengeringan *ore* berasal dari pembakaran HSFO (untuk *Kiln* 1, 4, 5) sementara di (*Kiln* 2 dan 3) sudah menggunakan pembakaran HSFO dan batubara.

Untuk mengetahui pembakaran yang optimal pada *reduction kiln*, kesetimbangan massa dan energi, serta bagaimana sisa pembakaran pada emisi gas buang yang dihasilkan pada *Kiln* 1, maka dilakukan analisis variasi putaran untuk memperoleh putaran yang optimal dan emisi gas buang yang lebih sedikit, serta aman ketika dilepaskan ke atmosfer. Dengan landasan ini, maka dilakukan

## **“ANALISIS VARIASI PUTARAN REDUCTION KILN #1 DENGAN BAHAN BAKAR (*High Sulphur Fuel Oil*) DI PT. VALE INDONESIA Tbk.”**

sebagai upaya dalam peningkatan efektifitas dan efisiensi pemakaian pada *Kiln 1*.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dibuat rumusan masalahnya yaitu:

1. Bagaimana variasi putaran optimal pada *Kiln 1*?
2. Bagaimana kesetimbangan massa dan energi pada *Kiln 1*?
3. Bagaimana hasil emisi gas buang yang dihasilkan pada *Kiln 1*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk menganalisa putaran optimal yang dihasilkan pada *Kiln 1*.
2. Untuk menganalisa kesetimbangan massa dan energi pada *Kiln 1*.
3. Untuk menganalisa hasil emisi gas buang pada *Kiln 1*.

### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang diambil dari penelitian ini adalah:

1. Data diambil di PT. Vale Indonesia Tbk, departemen *Engineerring, Maintenance & Process Plant (Kiln 1)*.
2. Daerah pengamatan yaitu di *Reduction Kiln 1*.
3. Data pengamatan pada bulan Januari 2022.
4. Data pengamatan emisi gas buang diambil pada bulan Juli 2022.
5. Data yang digunakan yaitu selama 24 jam.
6. Data yang diambil hanya pada proses di *Kiln*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada PT. Vale Indonesia Tbk mengevaluasi kinerja *rotary kiln* dalam proses pembakaran.
2. Optimalisasi dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas penggunaan *reduction kiln* di masa yang akan datang.
3. Dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Profil Perusahaan

PT. Vale Indonesia Tbk adalah perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan dan pengolahan serta ekstraksi nikel yang beroperasi di Sorowako, Sulawesi Selatan. Bijih yang didapat dari hasil pertambangan berupa *East Block Ore* (EB) dan *West Block Ore* (WB). Perbedaan dari kedua jenis bijih ini terletak pada komposisi kimianya. WB memiliki kandungan nikel yang lebih tinggi dibandingkan EB namun memiliki kekerasan yang lebih tinggi juga karena mineral dominannya adalah olivine sedangkan EB adalah serpentine. Kedua bijih ini nanti akan di *blending* untuk menyeimbangkan komposisi kimianya.

Pengolahan dan ekstraksi nikel di PT. Vale Indonesia Tbk menggunakan prinsip pirometalurgi. Proses pengolahan terdiri dari proses *drying*, *reduction*, *smelting* dan *converting*. Proses *drying* dilakukan di *drying kiln* dan tujuan utamanya adalah untuk mengurangi kandungan *moisture* dan air pada bijih dari 30-33% hingga menjadi sekitar 17-21%. *Drying Kiln Product* (DKP) kemudian akan dibawa ke *Dry Ore Storage* (DOS) yang berbeda (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

DKP dari DOS kemudian akan dibawa oleh *conveyor* menuju feed bin untuk selanjutnya masuk ke tahap reduksi di *reduction kiln*. DKP akan di campur dengan *coal* pada *up-stream kiln*, *coal* bertindak sebagai reduktor Ni dan Fe. Proses pada *reduction kiln* memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah untuk menghilangkan kadar air dan *kristalin water*, mencampur antara EB dan WB, meningkatkan temperatur *calcine* (RKP), mereduksi parsial Ni dan Fe dan sulfidasi. Sulfidasi dilakukan pada *reduction kiln* dengan cara menambahkan *liquid sulfur* pada *discharge end kiln*. Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya reoksidasi dan untuk menurunkan titik lebur dari *calcine*. Sulfided *calcine* kemudian akan masuk ke proses *smelting* (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

*Smelting* dilakukan di *electric furnace*. RKP sebagai *feed* mengandung 1.3% C, 2% Ni, 0.08% Co, 20% Fe, 1% S, 40% SiO<sub>2</sub>, and 20% MgO. Sulfur berbentuk

sebagai pelapis logam sulfida pada *calcine*. *Sulfided calcine* diumpungkan dalam keadaan panas (sekitar 700°C) ke *electric furnace* dimana akan bereaksi membentuk *matte*, *slag* dan *off-gas*. Kandungan sulfur pada *slag* dan *off-gas* yang dihasilkan di pengaruhi oleh kadar sulfur pada kalsin (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

## 2.2 Proses Pengolahan Nikel di *Process Plant*

Pengolahan nikel di PT. Vale Indonesia Tbk. memiliki sistem yang cukup kompleks karena melibatkan penggunaan peralatan yang sangat banyak, sehingga tahapan-tahapan proses di dalamnya pun menjadi cukup banyak. Dalam mengolah bijih nikel, PT. Vale Indonesia Tbk menggunakan proses *pyrometallurgy*. Proses ini dinilai ramah terhadap lingkungan karena menghasilkan 98% emisi gas buang yang bersih.

Pemrosesan bijih nikel di PT. Vale Indonesia Tbk diawali dengan kegiatan penambangan dengan cara *open pit mining* atau *surface mining* kemudian dilakukan proses pengolahan dan ekstraksi hingga dihasilkan produk akhir berupa nikel *matte* dengan kandungan 78%. Terdapat dua jenis *ore* yang digunakan sebagai *feed* yaitu *East Block Ore* (EB) dan *West Block Ore* (WB). Perbedaan dari keduanya disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 2.1 Perbedaan jenis *ore* *East Block Ore* dan *West Block Ore***

<b>Pembanding</b>	<b><i>East Block Ore</i> (EBO)</b>	<b><i>West Block Ore</i> (WBO)</b>
Jenis Mineral Dominan	Serpentine	Olivine
Sifat Batuan	Lunak	Keras
%Ni	1.85	2.15
%Fe	21.2	19.6
%Co	0,1	0,07
%MgO	31	35
%SiO <sub>2</sub>	20	14
%Moisture	35-38	28-32

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk



### 2.2.1 Tahap Penambangan

1. *Land clearing*

Membersihkan lokasi tambang dari tumbuhan dengan menggunakan buldozer, gergaji mesin dan alat potong lainnya (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

2. *Stripping*

Proses pengelupasan lapisan tanah yang menutupi. Lapisan tanah yang sudah di keruk kemudian dibawa ke penampungan dan digunakan untuk menimbun lahan purnatambang (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

3. *Ore mining*

Setelah proses stripping dilakukan, akan terlihat lapisan yang mengandung bijih nikel dengan kadar rendah hingga tinggi tergantung kedalaman lapisannya. Bijih yang diambil adalah pada lapisan saprolite yang memiliki kandungan nikel kadar tinggi. Bijih ini kemudian dibawa ke tahap selanjutnya. Lapisan saprolite berada dibawah lapisan limonite. Lapisan saprolite memiliki kandungan nikel yang tinggi dan kandungan besi yang rendah serta kandungan MgO yang tinggi (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

4. *Screening station*

Tujuan dilakukannya *Screening* adalah untuk *grading* yaitu memisahkan partikel kecil, kaya akan nikel dengan partikel yang lebih besar, keras, *gangue mineral* dengan menggunakan *screens* dan *hydrocyclone* sehingga didapatkan ukuran bijih nikel yang sesuai dengan ukuran yang diminta pabrik pengolahan (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

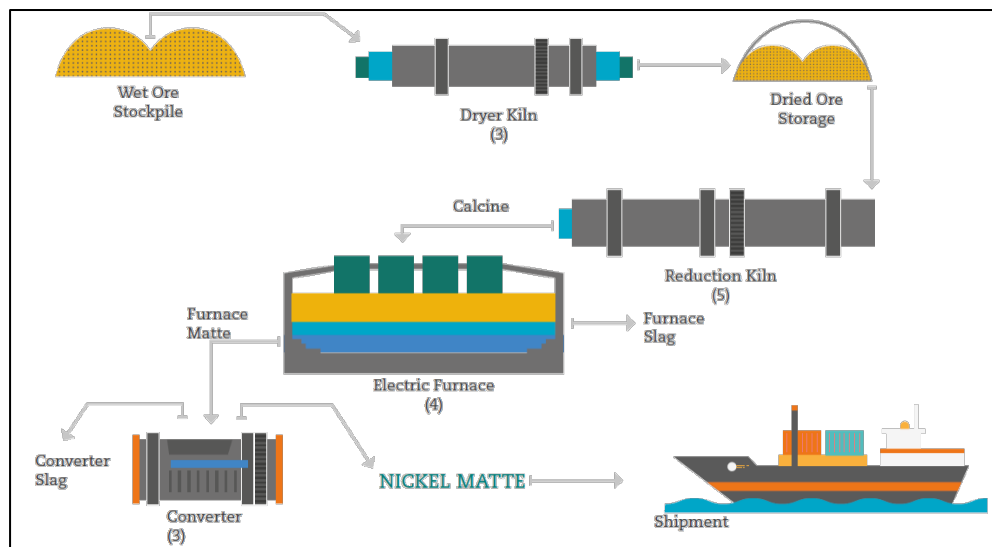
5. *Stockpile*

Bijih yang sudah dilakukan proses *screening* akan dibawa ke tempat penampungan sementara (*stockpile*). *Stockpile* bijih memiliki kemiringan dan ketinggian tertentu. Tahap ini bijih nikel ditampung selama kurang lebih tiga hari hingga satu minggu agar kadar air tinggi yang tersimpan di

dalam bijih nikel berkurang hingga tersisa kadar air pada bijih nikel sebesar 35% sebelum diproses pada tahap berikutnya (Hardiyanto Dwi Wahyu, 2018).

### 2.2.2 Tahap Ekstraksi

Setelah dilakukan *ore preparation* dan *grading* tahap selanjutnya adalah pengolahan dari bijih tersebut hingga jadi produk nikel *matte*. Bijih dari lapisan saprolite di ekstraksi dengan menggunakan prinsip *pyrometallurgy*. *Pyrometallurgy* digunakan karena kandungan bijih lapisan saprolite mengandung kadar besi yang rendah (sekitar 15%) karena kandungan MgO nya yang tinggi (sekitar 20%) sehingga akan membutuhkan banyak asam sulfat apabila di *leaching* (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).



Gambar 2.1 Proses Pengolahan Nikkel

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

Tabel 2.2 Kadar Ni, Fe, S/M, S dari setiap proses

	WBO	EBO	DKP	Calcine	EFM	EFS	CS	Matte
%Ni	~2.0	~1.8	~2.0	~2.1	25-30	<0.18	<0.45	76-80
%Fe	19.5-23.5	13.5-16.5	18.5-22.5	18.5-22.5	60-65	~20.5	~50	0.74
S/M	2.4-2.7	1.5-1.65	2.0-2.2			2.0-2.2		
S					8-10			18-22

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

*Ore* yang didapat dari proses penambangan kemudian akan di angkut ke *hopper* kemudian di *feeding* pada *apron feeder*. *Feeding* bertujuan untuk proses penyaringan dan pengaturan beban sebelum diangkut ke *Dryer*. *Feeding* dibutuhkan ketika kita ingin mentransport material kering maupun basah dari fraksi batuan atau mineral. *Wet ore* dari *apron feeder* kemudian diangkut ke *feed chute* dengan *belt conveyor* untuk diumpun kedalam *rotary dryer*. *Feeding* dilakukan dengan *Apron Feeder* yang memiliki maksimum ukuran umpan 2 m, memiliki toleransi untuk material yang *sticky* dan berkapasitas diatas 50 t/h (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

#### 1. *Drying* (Pengeringan)

PT. Vale Indonesia Tbk memiliki 3 unit *rotary dryer* dengan diameter 5/5,5/6 m dan panjang 50/50/65 m dengan *feed rate* 350/350/700 WMT/H dan 1 unit *coal mill* berkapasitas 46,5 DMT. Terdapat dua *burner* pada *rotary dryer*, yaitu *side burner* dan *main burner*. Bahan bakar yang digunakan ada tiga jenis yaitu (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021):

- a. *Coal*
- b. HSFO (*High Sulphur Fuel Oil*)
- c. HSFD (*High Sulphur Fuel Diesel*)

Bahan bakar HSFO digunakan untuk memantik nyala api, ketika api sudah stabil bahan bakar kemudian diganti dengan *coal* dengan mempertimbangkan *economic factor (cost)*.

*Drying* dilakukan untuk menghilangkan kandungan *moisture* pada *ore* yang awalnya 30-33% menjadi sekitar 17-21%. Bijih dengan kandungan *moisture* yang tinggi akan cenderung basah dan rentan menempel pada alat seperti conveyor atau menyumbat dan menghambat proses selanjutnya sedangkan apabila terlalu kering maka akan cenderung berdebu dan meningkatkan material *loss* dari nikel (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

*East Block Ore* (EB) dan *West Block Ore* (WB) memiliki kandungan kimia yang berbeda sehingga kedua bijih tersebut akan masuk ke *drying kiln* yang berbeda. Hasil dari proses *drying* berupa *Dry Kiln*

*Product* (DKP) akan keluar dari *rotary dryer* secara perlahan dengan durasi sekitar 30 menit karena adanya putaran dan kemiringan sekitar 3° (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

DKP berukuran -25 mm material EB dan WB yang kemudian akan menuju ke *Dry Ore Storage* (DOS). PT Vale Indonesia memiliki 2 unit DOS dengan kapasitas 100.000 DMT. *Dry ore* dari *dryer* 1 dan 2 akan masuk ke DOS 1 sedangkan *dry ore* dari *dryer* 3 akan masuk ke DOS 2. Material berukuran +25 mm (+1 inch) yang merupakan WB akan dibuang sedangkan +25 mm (+1 inch) yang merupakan EB akan di *crushing* lagi hingga -25 mm di *symons cone crusher* kemudian akan dicampur kembali dengan -25 mm material lainnya di DOS (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

Selain menghasilkan *dry ore* yang memiliki *moisture* sekitar 17-21%, hasil sampingan lainnya adalah *off-gas* yang nantinya akan diproses dan di *recycle* menggunakan unit *multiclone* dan ESP (*Electrostatic Precipitator*). Debu yang halus dan tidak dapat disaring oleh *multiclone* akan ditahan oleh ESP dan dicampur dengan *shurry* pada *pugmill* yang nantinya akan digunakan kembali pada proses *drying*. Fungsi debu ini salah satunya adalah untuk mengatur kadar *moisture* dari *ore* (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

## 2. *Reduction* dan Sulfidasi

Proses kalsinasi dilakukan didalam *reduction kiln*. PT Vale Indonesia memiliki 5 buah *reduction kiln* dengan spesifikasi sebagai berikut diameter 5,5 / 5,5 / 5,5 / 6 / 6 m dan panjang 100 / 100 / 100 / 115 / 135 m dengan *feed rate* 145 / 145 / 145 / 190 / 215 WMT. Biji diumpankan ke *reduction kiln*. Pada saat yang sama, udara panas dan gas hasil pembakaran dari pembakar minyak, gas atau *coal* dihembuskan ke *kiln*. Temperatur gas sekitar 800°C. Proses ini bertujuan untuk (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021):

- a. Menghilangkan kandungan *moisture* hingga 0%.
- b. Menghilangkan air kristal agar menghindari ledakan pada *electric smelting*.
- c. Mereduksi sebagian (*partial reduction*) oksida logam menjadi logam yaitu nikel dan besi.
- d. Sulfidasi

Memasukkan sulfur cair ke dalam kiln sehingga terbentuk NiS dan FeS. Sulfidasi dilakukan mencegah terjadi reoksidasi dan titik lebur *calcine* akan lebih rendah ketika berikatan dengan sulfur sehingga energi yang digunakan pada saat *smelting* akan lebih rendah.

- e. Menambahkan *coal* pada *kiln* sehingga sebagian tetap berada dibijih yang akan berguna nanti saat *electric smelting* untuk reduksi nikel dan besi.

Hasil dari proses ini adalah kalsin yang tereduksi parsial serta mengandung *coal* pada suhu sekitar 800-900°C.

### 3. *Smelting* (Peleburan)

Setelah proses reduksi dan sulfidasi akan dilanjutkan dengan proses peleburan. Proses peleburan ini dilakukan dalam *electric furnace*. Dalam proses ini terjadi pemisahan antara bagian yang kaya akan kandungan nikel berdasarkan perbedaan berat jenis. PT Vale Indonesia Tbk sendiri mengoperasikan *electric furnace* sejumlah 4 unit dengan diameter 18 m dan tinggi 6 m. Proses yang terjadi di dalam *electric furnace* adalah sebagai berikut, yaitu (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021):

- a. Penghilangan air kristal yang masih tertinggal dalam *calcine*.
- b. Reaksi reduksi lanjutan dengan menggunakan karbon dalam batu bara yang sebelumnya sudah dicampurkan dengan *calcine*.
- c. Peleburan *calcine* menjadi *matte* dan *slag*.

*Matte* dengan densitas yang lebih berat akan mengendap di bagian bawah *furnace* dan *slag* akan membentuk lapisan di atas *matte*. Kandungan *matte* yang merupakan produk *electric furnace* diatur berdasarkan tingkat reduksi dalam *reduction kiln* dan kandungan karbon

dalam *calcine*. Produk *matte* yang dihasilkan diharapkan mempunyai komposisi sebagai berikut : Ni (23 - 30%), Fe (35 - 69%), S(6 - 10%), Co (0.6 - 0.7%). Berikut tabel *product specifications (Nickel Matte Specifications)* setelah melalui semua proses di *Plan Site* (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

**Tabel 2.3 Product nickel matte specifications**

Nickel	76 – 80 %
Cobalt Max	1.54 %
Sulfur	18 – 22 %
Iron	0.74 %

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

### 2.3 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah pembakaran sisa bahan bakar di ruang bakar dan dikeluarkan melalui sistem pembuangan suatu mesin. Jika pembakaran yang terjadi di ruang bakar tidak sempurna (pencampuran oksigen dan udara tidak memadai), akan terjadi emisi gas buang yang bereaksi dengan oksigen selama pembakaran membentuk karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), menghasilkan gas yang tidak beracun. seperti  $\text{N}_2$  (nitrogen) dan  $\text{H}_2\text{O}$  (uap air), dan gas beracun seperti  $\text{CO}_2$  (gas karbon),  $\text{CO}$ , dan  $\text{NO}_x$  (oksida karbon dan gas nitrogen), (Hafiz & Ali, 2018).

1. Karbon Monoksida ( $\text{CO}$ ): Merupakan hasil pembakaran yang tidak sempurna, dan berbahaya bagi kesehatan. Diukur dalam persentase (%). Hasil yang ideal adalah 0,5 – 3%.
2. Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ): Menunjukkan tingkat termal pembakaran, dan tidak berbahaya bagi kesehatan tetapi menjadi gas rumah kaca. Diukur dalam persentase (%), semakin tinggi kinerja, semakin baik (maks. 16%).
3. Oksigen ( $\text{O}_2$ ): Menunjukkan kualitas pembakaran, karena  $\text{O}_2$  merupakan salah satu unsur proses pembakaran (jumlah oksigen yang tidak terbakar).
4. Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ): Gas yang dihasilkan oleh nitrogen dan oksigen dalam proses pembakaran, diukur dalam %, dan berbahaya bagi kesehatan.

5. Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ): Sulfur dioksida adalah gas berbau sangat kuat, tapi gas ini tidak terlihat. Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) merupakan polusi yang menyebar di udara, dan air hujan juga membentuk asam sulfur karena hujan asam bereaksi terhadap hujan. Aktivitas manusia dan aktivitas industri merupakan sumber penting dari timbulnya gas  $\text{SO}_2$  (Cahyadi, dkk. 2015).
6. Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ): Polusi udara nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) penting untuk memprediksi hal ini, karena udara yang mengandung  $\text{NO}_2$  berlebihan akan membahayakan kesehatan manusia dan menyebabkan berbagai penyakit kronis, seperti emfisema dan bronkitis kronis.
7. Nitrogen Oksida ( $\text{NO}$ ): Konsentrasi Nitric Oxide ( $\text{NO}$ ) jumlahnya bervariasi tergantung pada sinar matahari, fenomena meteorologi dan aktivitas kendaraan.
8. Gas Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ): adalah gas tidak berwarna yang berbau seperti telur busuk dan sangat berbahaya dan mematikan karena sifatnya yang beracun dan menyesakkan (Misbachul, dkk. 2010).

### **2.3.1 Efek emisi gas buang bagi lingkungan**

Secara umum, dampak emisi gas buang terhadap lingkungan dapat dibagi menjadi 5 kategori, yaitu:

1. Efek pada kesehatan dan keselamatan manusia
2. Efek pada hewan dan tumbuhan
3. Efek pada material dan bangunan
4. Efek terhadap gangguan bau dan nilai estetika
5. Efek pada ekosistem (udara, tanah dan air)

## **2.4 Bahan Bakar**

Bahan bakar adalah segala sesuatu yang dapat dibakar, misalnya kertas, kain, arang, minyak tanah, bensin. Untuk melakukan pembakaran diperlukan 3 (tiga) unsur, yaitu:

1. Bahan Bakar,
2. Udara,

### 3. Suhu, dimana pembakaran dimulai.

Kriteria utama yang harus dipenuhi agar bahan bakar yang akan digunakan pada mesin pembakaran adalah: (1) Proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder harus dilakukan secepat mungkin dan panas yang dihasilkan harus tinggi. (2) Bahan bakar yang digunakan tidak boleh meninggalkan lumpur atau endapan setelah pembakaran karena akan merusak dinding silinder (3) Gas hasil pembakaran harus tidak berbahaya jika dilepaskan ke atmosfer (M Bagus, Nely, Kosjoko. 2020). Pada *reduction kiln*, semakin bagus kualitas HSFO/*fuel* maka kualitas pembakaran akan semakin bagus juga. Semakin bagus kualitas pembakaran pada material laju reaksi kimia akan semakin cepat dan baik. Semakin bagus reaksi kimia maka waktu tinggal material di dalam kiln akan semakin singkat, sehingga putaran kiln dapat dipercepat.

Adapun bahan bakar yang digunakan pada *Kiln 1* yaitu HSFO (*High Sulfur Fuel Oil*). Berikut spesifikasi HSFO.

#### 1. HSFO (*High Sulfur Fuel Oil*)

Bahan bakar utama untuk *kiln* ini adalah bahan bakar HSFO (*High Sulphur Fuel Oil*) dengan nilai kalor sekitar 9000 kkal/kg. Biasanya, HSFO termasuk bahan bakar minyak berat dan membutuhkan suhu minimum 40°C untuk pemompaan yang tepat. Bahkan pada suhu 15-20°C, sifat fisik HSFO mirip dengan bitumen yang sulit dipompa. Untuk memudahkan proses pembakaran, HSFO perlu dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu 100-120°C dan diatomisasi dengan uap. *Preheater* HSFO adalah penukar panas tipe *shell and tube* dengan fluida panas uap di sisi tabung. Atomisasi uap di *burner* diperlukan untuk memecah ukuran partikel HSFO menjadi partikel yang lebih kecil, sehingga lebih mudah terbakar dan mengurangi potensi pembentukan jelaga (*soot*) akibat partikel HSFO yang terlalu besar (Pamungkas, 2019).

Saat ini, beberapa *Kiln* mulai menggunakan *coal* halus untuk mengurangi sebagian konsumsi HSFO. Meski nilai kalorinya lebih rendah, sekitar 6000 kkal, harga batubara jauh lebih murah dibandingkan



HSFO, sehingga secara keseluruhan biaya penggunaan batubara sebagai bahan bakar lebih ekonomis (Pamungkas, 2019).

**Tabel 2.4 Spesifikasi HSFO (*High Sulfur Fuel Oil*) / MFO yang digunakan di PT. Vale Indonesia Tbk**

Shipment MFO	B/L Date	Ash (Max0.07)	Specific Gravity (Max0.991)	Viscosity (Max180)	Sulphur (Max4%)	Water (Max0.5%)
30	29-May-21	0.03	0.98	130.20	2.88	0.10
31	17-Jun-21	0.02	0.99	164.00	2.93	0.10
32	17-Jul-21	0.02	0.98	124.70	3.14	0.10

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

**Tabel 2.5 Spesifikasi Marine Fuel Oil (MFO180) atau High Sulphur Fuel Oil (HSFO180)**

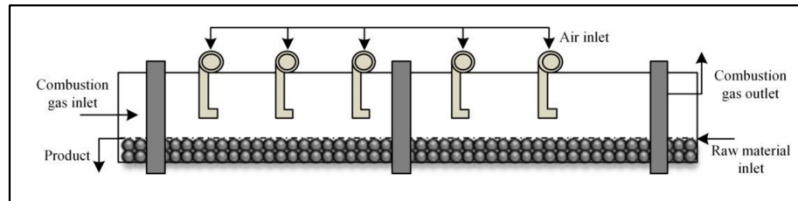
No	Karakteristik	Satuan	Batasan Min	Batasan Max	Metode Uji
1	Berat Jenis pada 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	-	991	ASTM D1298
2	Viskositas Kinematic pada 50 °C	mm <sup>2</sup> /dt	-	180	ASTMD445
3	Kandungan Belerang	% m/m	-	4.5	ASTM D1552 / ASTM D2622
4	Titik Tuang	°C	-	30	ASTM D97
5	Titik Nyala	°C	60	-	ASTM D93
6	Residu Karbon	% m/m	-	16	ASTM D189
7	Kandungan Abu	% m/m	-	0.10	ASTM D482
8	Sedimen Total	% m/m	-	0.10	ASTM D473
9	Kandungan Air	% v/v	-	1.0	ASTM D95
10	Vanadium	mg/kg	-	200	AAS
11	Aluminium + Silikon	mg/kg	-	80	ASTM D5184 / AAS
<b>ACUAN:</b>					
SK Dirjen Migas No. 14496K/14/DJM/2008 tanggal 21 Agustus 2008 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar yang Dipasarkan di Dalam Negeri.					

Sumber: PT. Pertamina (Persero)

## 2.5 Reduction Kiln

Untuk mendapatkan profil suhu yang sesuai, suplai udara dilakukan, dan lima *blower* ditempatkan di sekitar *kiln* dengan jarak yang sama untuk menginjeksikan udara. Bahan baku diisi dari *kiln tail* dalam rasio yang telah ditentukan dan dipanaskan oleh gas buang panas yang mengalir ke arah sebaliknya. Oksida besi secara bertahap direduksi menjadi besi metalik, dan kemudian produk *kiln* diisi

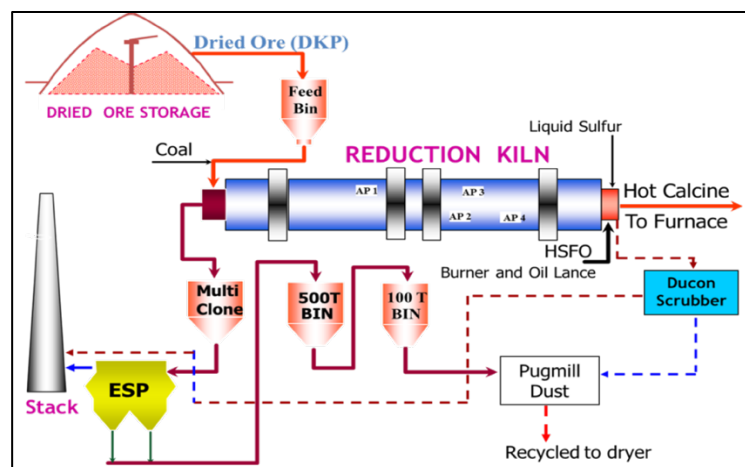
panas ke dalam tungku reduksi peleburan. Proses reduksi di *rotary kiln* rumit, termasuk perpindahan massa, perpindahan panas, berbagai reaksi kimia dan sebagainya (C liu, X Liu, dkk. 2021).



**Gambar 2.2 Schematic Diagram Of The Pre-Reduction Rotary Kiln**

Sumber: Liu, C., Ding, X., Liu, H., Yan, X., Dong, C., & Wang, J. (2021). *Numerical Analysis on Characteristics of Reduction Process within a Pre-Reduction Rotary Kiln. Metals, 11(8), 1180*

Proses kalsinasi dari *Drying Kiln Product* (DKP) dilakukan di dalam *reduction kiln*. *Reduction kiln* memiliki bentuk silinder panjang, punya kemiringan rendah pada arah horizontal, dan berputar mengikuti sumbunya. DKP yang ditambah dengan *coal* pada *ratio* yang terkontrol diumpungkan masuk ke dalam *kiln* dari bagian atas (*upstream kiln*). *Coal* berfungsi sebagai pereduksi Ni dan Fe. Material ini kemudian akan mengalir perlahan ke bawah kiln yang berputar dan keluar dari ujung pembuangan panas dari *kiln* (*feed end*). Posisi *burner* berada di *feed end* dari *rotary kiln* sehingga proses ini disebut dengan *Counter Current Process* karena antara *solid* dan gas nya berjalan berlawanan arah. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan *temperature* material sejalan dengan Bergeraknya material tersebut (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).



**Gambar 2.3 Reduction Kiln Process Flow**

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk



**Gambar 2.4 Reduction Kiln**

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

Kiln dapat dibagi menjadi 3 zona fungsional diantaranya (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021):

1. Zona 1: Zona *Drying* Lanjutan

Zona ini memiliki panjang sekitar 50% dari panjang kiln, kurang-lebih 50 m. Pada zona ini terjadi pengeringan lanjutan untuk menghilangkan *free moisture* yang masih ada dan terkandung di dalam *Dry Kiln Product*. Temperatur bijih diharapkan dapat mencapai sekitar 650-700 °C (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

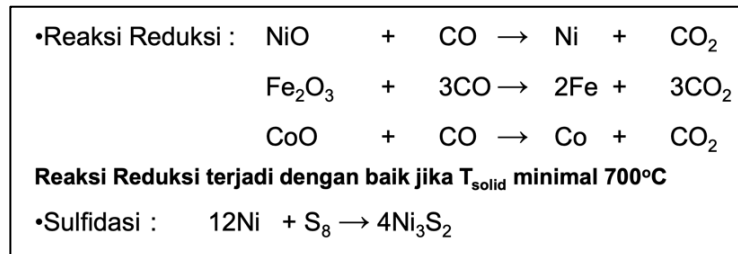
2. Zona 2: Zona Kalsinasi

Pada zona ini prinsip nya bertujuan untuk memanaskan ore hingga mendekati atau diatas *calcine temperature* (750-800°C) dan juga penghilangan air kristal ( $xH_2O$ ) yang masih terdapat pada bijih sehingga didapat kadar air kristal kurang dari 1% (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

3. Zona 3: Zona Reduksi dan Sulfidasi

Pada tahap ini terjadinya proses reduksi dari logam-logam oksida Fe, Ni dan Co serta untuk mengikat dan fiksasi sulfur di *calcine* dengan menambahkan sulfur cair (sulfidasi). Reduksi terjadi karena reaksi dengan CO dan H<sub>2</sub>, yang berasal dari pembakaran tidak sempurna dan

*coal* yang juga masuk sebagai *feed* untuk proses reduksi (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).



Reaksi kimia yang terjadi di dalam *rotary kiln* adalah reaksi pembakaran dan reaksi reduksi oksida logam yang terdapat didalam bijih laterit berdasarkan persamaan berikut (Pamungkas, 2019):

a. Reaksi reduksi:



b. Reaksi pembakaran



c. Sulfidasi

Hasil dari proses kalsinasi berupa *sulfided calcine* kemudian akan di proses lagi di *smelter*. *Sulfided calcine* idealnya mengandung 1.3% C, 2% Ni, 0.08% Co, 20% Fe, 1% S, 40% SiO<sub>2</sub>, and 20% MgO (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

Sumber bahan bakar dari *kiln* diperoleh dari *main burner* dan *oil lance*. HSFO digunakan sebagai bahan bakar dari *kiln*. *Main burner* berfungsi untuk menghasilkan panas pada area reduksi, sedangkan *oil lance* berfungsi untuk dapat memberikan panas secara langsung terhadap material. Terdapat juga sumber udara pada *kiln*.

Sumber tersebut yaitu *primary air*, *secondary air*, dan *air pipe*. *Primary air* merupakan udara yang telah bercampur dengan bahan bakar di dalam *burner*. *Secondary air* adalah udara yang letaknya disekitar *burner* dan juga ikut langsung kontak langsung dengan material. *Air Pipe* adalah udara yang telah di pasang sepanjang *kiln* bertujuan untuk membakar bahan bakar yang tidak terbakar secara sempurna dan untuk menjaga stabilitas temperatur operasi *kiln* (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

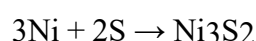
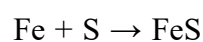
Terdapat pipa (*liquid sulfur lance*) untuk menginjeksikan sulfur pada tahap sulfidasi yang bertujuan agar nikel yang telah tereduksi tidak lagi teroksidasi kembali. Sulfidasi terjadi pada zona 3 (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

## 2.6 Sulfidasi

Kalsin yang dihasilkan dalam *reduction kiln* memiliki temperatur setidaknya 700 °C dan mengandung Ni kurang lebih 2%. Sebelum kalsin memasuki *surge bin* yang akan dituang ke dalam *furnace*, kalsin ditambahkan dengan sulfur cair terlebih dahulu yang dialirkan dari *sulfur lance*. Sulfur cair ini berfungsi untuk mengikat logam - logam yang sebelumnya sudah tereduksi agar tidak terjadi reoksidasi, karena Ni dan Fe bersifat tidak stabil. Selain itu, sulfur cair juga berguna untuk menurunkan titik lebur, sehingga energi yang dibutuhkan dalam *electric furnace* tidak terlalu besar. Penambahan sulfur diatur sebaik mungkin sehingga perbandingan nikel dan sulfur dalam EFM (*Electric Furnace Matte*) sekitar 1:3 (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

### 2.6.1 Fiksasi Sulfur

Fiksasi sulfur pada *calcine* umumnya terjadi pada saat sulfur bergabung dengan Fe dan Ni untuk membentuk sulfida dengan reaksi sebagai berikut:



Sulfur memiliki kecenderungan yang sangat kecil untuk bergabung dengan oksida nikel dan besi. Oleh karena itu konten sulfur dalam *calcine* proporsional dengan reduksi Ni dalam *calcine*. Selain itu, sulfur juga beroksidasi menjadi  $\text{SO}_2$

dengan adanya oksigen bebas. Oleh karena itu, atmosfer pereduksi menjadi syarat terjadinya fiksasi sulfur yang baik. Pencampuran yang baik antara sulfur dengan *calcine* juga menguntungkan bagi fiksasi sulfur. Kondisi ini terjadi pada *discharge end* dari *kiln*, dimana sulfur ditambahkan ke *discharge end kiln* dalam bentuk *liquid* (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

## 2.6.2 Faktor-Faktor Sulfidasi

### 1. Posisi *Lance*

Waktu pencampuran mewakili kemampuan pegadukan. Semakin lama waktu pencampuran, semakin sedikit kemampuan mengaduk. Waktu pencampuran lima jenis tombak oksigen berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Fuhai LIU ditemukan, bahwa *lance* oksigen 43° memiliki waktu pencampuran terpendek di semua tingkat hembusan atas dan ketinggian tombak, yang membuktikan bahwa efek pengadukan dari rendaman cair adalah yang terbaik. Sementara itu, diameter tumbukan mewakili ukuran area tumbukan, yang merupakan indikator penting dari kontak dan derajat pencampuran oksigen dan rendaman cair. Diketahui bahwa dengan bertambahnya tinggi *lance* dan laju aliran, maka diameter tumbukan meningkat (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

Jika laju aliran meningkat, kedalaman penetrasi juga meningkat. Terlebih lagi, saat tinggi *lance* naik, kedalaman tumbukan berkurang, yang berlawanan dengan diameter impact. Semakin rendah ketinggian *lance*, semakin pendek jarak dari ujung nosel ke permukaan bak cair dan semakin sedikit atenuasi jet supersoniknya. Jika jet masih memiliki kecepatan lebih tinggi saat mencapai permukaan rendaman cair, energi yang berdampak pada rendaman cair akan lebih besar, sehingga kedalaman tumbukan lebih dalam. Pada ketinggian tombak yang sama, dengan bertambahnya aliran gas, energi kinetik jet meningkat, sehingga kemampuan tumbukan lebih besar dan kedalaman tumbukan lebih besar. Oleh karena itu, sudut kemiringan yang lebih kecil akan mengintensifkan atenuasi kecepatan jet, yang bertentangan dengan peningkatan kemampuan impact (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

## 2. Atmosfer

Sulfur cenderung sulit untuk bergabung dengan oksida nikel dan besi. Ketika terpapar lingkungan oksigen maka sulfur yang harusnya bereaksi dengan nikel dan besi oksida akan beroksidasi menjadi  $\text{SO}_2$ . Hal ini yang harus dihindari karena akan meningkatkan jumlah emisi  $\text{SO}_2$ . Semakin tinggi kadar oksigen di atmosfer maka semakin tinggi pula sulfur yang berikatan dengan oksigen dan membentuk  $\text{SO}_2$ . Oleh karena itu, dibutuhkan atmosfer pereduksi dengan kadar oksigen yang rendah agar fiksasi sulfur antara nikel dan besi oksida berjalan dengan optimal (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

Atmosfer dari *kiln* juga dapat dipengaruhi oleh bahan bakar yang digunakan dalam hal ini *coal*. Kadar sulfur pada *coal* akan mempengaruhi kadar sulfur pada *calcine* sehingga biasanya di dalam *rotary kiln* dikontrol kadar pereduksi  $\text{CO} / \text{CO}_2$  dengan mengatur jumlah bahan bakar dan udara (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

Suhu yang digunakan juga berpengaruh terhadap proses sulfidasi. Percobaan yang dilakukan oleh (Sarbishei dkk, 2020) didapat bahwa pada suhu  $600^\circ\text{C}$  menjadi  $800^\circ\text{C}$  menghasilkan Sulfur yang lebih tinggi dalam kalsin, namun meningkatkan suhu hingga  $900^\circ\text{C}$ , mengakibatkan penurunan Sulfur dalam kalsin. Terjadi rekrsitalisasi dari senyawa silika sehingga mengakibatkan penurunan yang signifikan pada luas permukaan *solid*. Area permukaan yang lebih kecil dari solid menyebabkan kinetika reaksi yang lebih lambat antara gas dan solid, yang pada gilirannya menghalangi transfer sulfur dari gas ke kalsin (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

## 3. Bahan Bakar *Kiln*

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sarbishei dkk, selama pembakaran *coal*, sulfur di oksidasi menjadi gas  $\text{SO}_2$ . Diduga,  $\text{SO}_2$  yang dihasilkan dari pembakaran batubara di *rotary kiln* dapat bereaksi dengan bijih dan menghasilkan transfer sulfur ke produk tahap kalsinasi, yaitu kalsin (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

Pengaruh  $PSO_2$  yang setara dengan kandungan sulfur yang lebih tinggi pada *coal*. Sebagai hasil dari peningkatan kandungan sulfur dari pembakaran *coal* dari 2% ( $PSO_2 = 6,4 \times 10^{-3}$  atm) menjadi 15% ( $PSO_2 = 4,8 \times 10^{-2}$  atm),% S dalam kalsin meningkat dari 0,1 menjadi 0,77%. Berdasarkan termodinamika, jumlah  $SO_2$  yang lebih tinggi akan meningkatkan pembentukan sulfida besi pada kalsin (Ayu Haya & Rahmania Anisa, 2021).

### 2.6.3 Proses Tanur Pengering dan Pereduksi (*Reduction Kiln*)

Proses pada *Process Plant* yakni proses pengeringan dan reduksi dimana proses itu dilakukan dengan memanfaatkan peralatan utama yaitu *Reduction Kiln* yang memiliki fungsi utama untuk melanjutkan pengeringan juga melakukan pereduksian sehingga dapat meminimalisir air bebas dan kristalnya untuk dihasilkan material yang disebut sebagai *Calcine*. Untuk menghasilkan *Calcine* bahan baku yang akan dimasukkan ke pemrosesan di *Reduction Kiln* ini terdiri dari, *Ore* kering, batubara (*Coal*), belerang cair (*melted sulfur*), *High Sulfur Fuel Oil* (HSFO), uap air (untuk pembakaran), dan udara. Saat ini PT. Vale Indonesia Tbk memiliki 5 unit *kiln* dengan tipe *rotary* atau *kiln* pemanas berputar dengan diameter dan dimensi yang berbeda-beda sesuai dengan kapasitasnya. PT. Vale Indonesia Tbk memiliki sistem yang disebut *functional location* yaitu system perawatan peralatan yang tersusun atas bagian - bagian yang disebut *equipment*, sementara *equipment* tersebut tersusun dari bagian yang disebut sebagai *part* (Dewi & Giarini, 2017).

Tabel 2.6 Perbandingan Dimensi *Rotary Kiln* di PT. Vale Indonesia Tbk

<i>Kiln</i>	Panjang (meter)	Diameter (meter)	<i>Feed Rate/ Kapasitas (ton/jam)</i>
1	100	5,5	145
2	100	5,5	145
3	100	5,5	145
4	115	6	190
5	135	6	215

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

Pasokan energi utama *rotary kiln* PT. Vale Indonesia Tbk berasal dari bahan bakar minyak HSFO dengan laju massa 6, 05-9 ,14 ton/jam atau sekitar 100 - 150



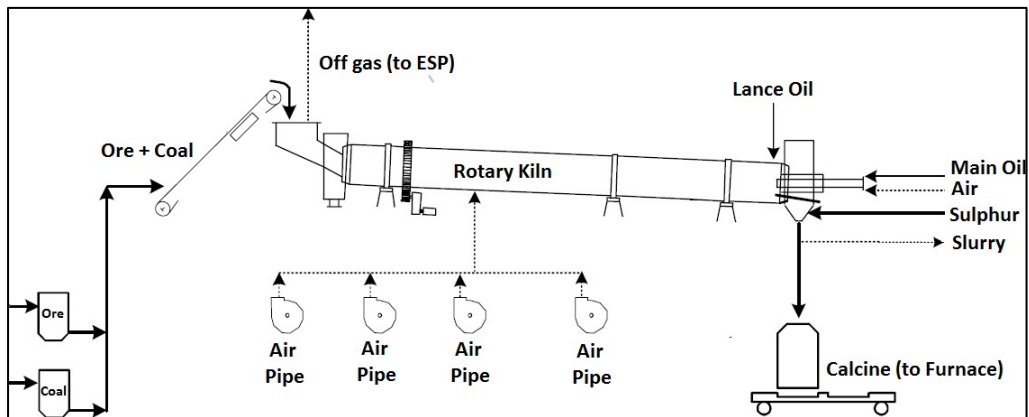
liter/menit. Pembakaran bahan bakar di ujung pembuangan *kiln tail* adalah pembakaran yang tidak sempurna atau oksigen yang tidak mencukupi untuk menciptakan kondisi untuk reaksi reduksi. Sebagian besar bahan bakar disuntikkan langsung ke *oil lance* (Pamungkas, 2019).

Karena gas karbon monoksida yang terbentuk selama proses reduksi adalah gas yang mudah terbakar, ia menghasilkan panas ketika bertemu oksigen karena merupakan reaksi eksotermik. Sejumlah udara dimasukkan ke dalam *rotary kiln* dari empat pipa udara di tengah *rotary kiln*, dan bereaksi dengan gas yang mudah terbakar untuk menghasilkan panas, sehingga mengurangi kristalisasi air yang terkandung dalam bijih nikel (Pamungkas, 2019).

Sumbu rotasi *rotary kiln* memiliki kemiringan sekitar 3,15% ( $1^{\circ} 46'32''$ ) relatif terhadap bidang horizontal, sehingga saat *rotary kiln* berputar, material bijih laterit dari *feed end* akan bergerak menuju *discharge end* (Pamungkas, 2019).

Arah aliran gas panas berlawanan dengan arah bahan bijih laterit. Pada permukaan bagian dalam dinding *rotary kiln*, *lifter-lifter* dipasang untuk mengangkat material bijih laterit, dan kemudian menjatuhkannya pada sudut yang lebih tinggi untuk membentuk tirai bijih, untuk meningkatkan perpindahan panas antara bijih laterit dan gas panas. Setelah bijih laterit memasuki *feed end rotary kiln*, suhu secara bertahap sampai di atas  $500^{\circ}\text{C}$  di bagian tengah silinder pada *rotary kiln*, dan semua kandungan air dihilangkan. Kelembaban dalam material yang dikalsinasi perlu dihilangkan serendah mungkin untuk mengurangi konsumsi daya dan mencegah ledakan yang disebabkan oleh pembentukan uap air selama proses peleburan di tungku (Pamungkas, 2019).

Gas dari *rotary kiln* bercampur dengan debu kemudian masuk ke *dust collector* atau *electrostatic precipitator* (ESP). Debu yang ditangkap oleh *electrostatic precipitator* dikirim kembali ke *rotary dryer*, sedangkan gas bersih dibuang ke udara melalui *stack* (Pamungkas, 2019).

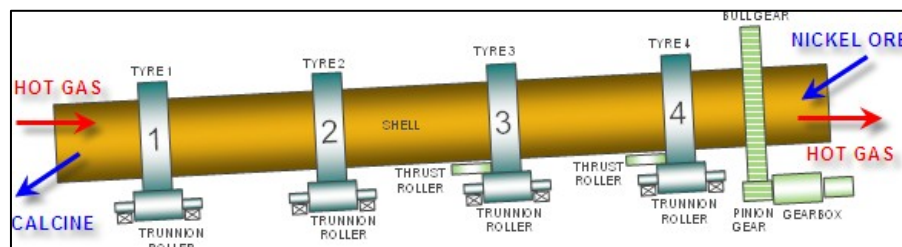


**Gambar 2.5** Skema alur proses di *Reduction Kiln*

Sumber: Pamungkas, B. C., & Hadi, H. (2019). *Study of rotary kiln off-gas energy recovery for coal mill hot gas*. Journal of Advanced Industrial Technology in Engineering Physics.

#### 2.6.4 Bagian-Bagian *Reduction Kiln* & Sistem Pendukungnya

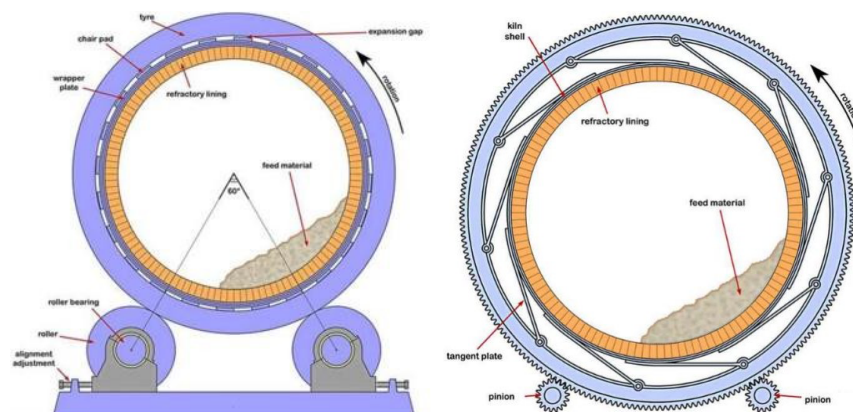
*Tyre* atau *riding ring* berbentuk cincin baja dengan ketebalan sekitar 50 cm dan memiliki sumbu putar yang sama dengan sumbu putar *kiln*. Pada ruang antara diameter dalam *tyre* dan diameter luar shell terdapat susunan *support blocks* atau *pad* yang merupakan landasan untuk gerakan *tyre* terhadap *shell*. *Kiln* berputar dengan kecepatan putaran 0,8-0,9 rpm dan untuk setiap putaran terdapat slip atau migrasi sekitar 10 mm antara *tyre* dengan *shell Kiln*. Sumbu putaran *Kiln* memiliki kemiringan sekitar 3,15% (1o 46'32") terhadap bidang horizontal untuk memudahkan material bijih laterite bergerak dari *feed end* menuju *discharge end*. Gaya aksial akibat kemiringan *kiln* ditopang oleh *thrust roller*. Gaya reaksi akibat kemiringan *trunnion roller (skewness)* juga dapat menghasilkan gaya dorong aksial untuk mendorong *kiln uphill* atau *downhill* (Pamungkas, 2019).



**Gambar 2.6** Skema *reduction kiln* tampak samping yang disederhanakan

Sumber: Pamungkas, B. C., & Hadi, H. (2019). *Study of rotary kiln off-gas energy recovery for coal mill hot gas*. Journal of Advanced Industrial Technology in Engineering Physics.

Untuk melindungi baja dari suhu tinggi di dalam dinding *kiln*, semen cor setebal 9 inci (23 cm) dipasang. Keuntungan lain adalah bahwa konduktivitas termal dari *castable* jauh lebih rendah daripada baja, sehingga kehilangan panas radiasi dan konveksi dari dinding terluar *shell* juga berkurang dibandingkan dengan tanpa *castable*. Untuk meningkatkan perpindahan panas, pelat baja pengangkat (*lifter*) dipasang di berbagai lokasi di dalam *kiln*. Terdapat berbagai bentuk dan orientasi *lifter*, tergantung pada fungsi dan posisi di *kiln* (Pamungkas, 2019).



**Gambar 2.7** Potongan *rotary kiln* pada *tyre* (kiri) dan *bull gear* (kanan)

Sumber: Pamungkas, B. C., & Hadi, H. (2019). *Study of rotary kiln off-gas energy recovery for coal mill hot gas*. Journal of Advanced Industrial Technology in Engineering Physics.

1. Bagian-Bagian pada *Reduction Kiln*
  - a. *Main Burner*

*Main Burner* adalah peralatan yang digunakan untuk menghasilkan api pembakaran dengan memanfaatkan bahan bakar berupa HSFO dan CCP. *Main burner* dilengkapi dengan sistem pemanasan bahan bakar. Sistem pembakaran ini dimulai dari suplai bahan bakar dari tangki penyimpan minyak HSFO. Melalui pipa utama, minyak ini dialirkan ke pompa lalu menuju ke tempat pemanasan minyak. Dalam pemanasan ini digunakan uap air yang dikirim ke tempat pemanas bahan bakar. Kemudian bahan bakar yang sudah panas ini dikirim melalui pipa-pipa ke tempat peralatan pembakar minyak utama (*main burner*) dengan tekanan dan temperatur yang tetap secara *continue* atau terus menerus. Ujung dari

saluran pembakar berbentuk seperti tip yang berfungsi sebagai *nozzle* yang akan menghasilkan pancaran atau semprotan bahan bakar yang siap untuk dinyalakan dengan api. Sejak tahun 2015, sebagaimana dengan *Dryer*, *Kiln 2* dan *Kiln 3* pun sudah mulai menerapkan pembakaran dengan menggunakan batubara halus hasil dari peralatan *Coal Mill* di *Dryer* (Dewi & Giarini, 2017).



**Gambar 2.8 Main Burner**

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

b. *Rotary Kiln Shell*

Bagian terluar dari peralatan pengering disebut sebagai *Shell* atau selongsong yang berbentuk tabung atau pipa panjang berdiameter besar dengan ketebalan bervariasi antara 28 mm hingga 80 mm tergantung areanya. Material *Reduction Kiln Shell* terbuat dari besi baja tipe *mild steel* dengan kadar karbon rendah-medium. Pada sebuah *Reduction Kiln*, bagian ujung masuknya material *Ore* disebut sebagai area *Feed End* (Ujung Pengumpan) atau biasanya disingkat dengan FE. Adapun bagian sisi ujung satunya lagi tempat keluarnya produk serta buangan disebut sebagai area *Discharge End* (Ujung Pengeluaran) atau disebut sebagai DE. *Shell Kiln* berada pada posisi kemiringan sekitar 3.15%, dimana mayoritas material adalah jenis ASTM A-36, kecuali bagian *Feed End* karena lebih sering terpapar panas hingga 400°C membutuhkan material yang lebih spesifik (Dewi & Giarini, 2017).



**Gambar 2.9 Kiln Shell**

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

Daerah ini disebut *heavy shell*. Seiring dengan laju abrasi *shell* apabila telah mengalami penipisan dikarenakan lepasnya lapisan *lifter* di dalamnya, maka diperlukan adanya penggantian *shell* dengan memotong bagian yang menipis dan menggantinya dengan *shell* baru (Dewi & Giarini, 2017).

c. *Tyre*

Peralatan *tyre* (roda) yang terpasang berfungsi sebagai mekanisme penopang *Kiln Shell* yang akan berpasangan dan bertumpu pada *trunnion*. *Tyre* ini terbuat dari baja cor (*cast steel*) yang pada bagian tepinya membentuk tirus menyesuaikan profil dengan tepian *Thrust Roller*. *Tyre* dirakit pada *shell* dengan dimasukkan melalui *Heavy Shell* dan dikencangkan jarak celahnya dengan menggunakan *supporting block* dan *shim* atau lembaran plat logam yang amat tipis menurut ukuran tertentu. Seiring dengan umur pakai dan laju penipisan akibat bidang kontak dengan *trunnion* dan *thrust roller*, profil *tyre* akan mengalami perubahan bentuk, untuk mengembalikan ke bidang kontak ideal dan bentuk yang lebih baik, maka permukaan *tyre* biasanya digerinda dengan peralatan khusus. Semua *Kiln* yang ada di PT. Vale Indonesia Tbk masing-masing memiliki dua *tyre* yaitu berada di daerah dekat *Feed End* dan di daerah *Discharge End* yang akan menghasilkan sistem penopangan yang berimbang (Dewi & Giarini, 2017).

d. *Trunnion*

Sebagai pelengkap penopang pada *kiln*, *trunnion* merupakan pasangan dan landasan bagi *tyre* yang berfungsi untuk kemudi dan penyeimbang putaran *kiln* yang berada di sisi kanan dan kiri. *Trunnion* didudukkan di atas tumpuan beton sebagai pondasi *kiln* yang disebut sebagai *pier*. Sebagaimana tiap *kiln* memiliki dua *tyre*, maka *kiln* pun memiliki dua *pier* yang diberi nomor. *Pier#1* berada di posisi dekat *Discharge End* sementara *Pier#2* berada di posisi dekat *Feed End*. *Trunnion* juga berbentuk seperti roda yang terbuat dari baja cor (*cast steel*) yang dihubungkan dengan poros (*shaft*) tebal dan ditopang oleh *trunnion bearing* pada sisi kanan dan kirinya. Dengan kemiringan atau *slope* pada *Kiln shell* sekitar 3,15% kondisi alamiahnya oleh gaya gravitasi adalah *shell* akan meluncur turun. Untuk itu, sebagai mekanisme kemudi *kiln* ketika bergerak dapat memiliki posisi berputar pada tempatnya tanpa cenderung turun, maka posisi *trunnion* dapat diatur kemiringannya dengan menggeser penopang *trunnion* yaitu *trunnion bearing*. Penggeseran *trunnion bearing* ini dilakukan lewat melonggarkan baut antara *trunnion bearing* dengan landasannya dan melakukan penyesuaian yang disebut dengan *skewing*. Kondisi untuk mempertahankan *trunnion* agar *kiln shell* berada pada posisi stabil dan tidak cenderung turun (*downhill*) atau naik (*uphill*) disebut dengan kondisi mengambang (*floating*) (Dewi & Giarini, 2017).



**Gambar 2.10 Tyre dan Trunnion**

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk



Untuk menjaga sistem perputaran yang mulus, *trunnion bearing* yang berjenis bantalan luncur dengan bentuk plat *sleeve* tembaga, dilengkapi dengan sistem pelumasan oli agar poros *trunnion* tidak langsung berkontak dengan bantalan (Dewi & Giarini, 2017).

e. *Thrust Roller*

Secara aksial atau sejajar dengan *shell* atau tegak lurus dengan tiap *tyre*, masih terdapat satu mekanisme yang berfungsi sebagai pendeteksi dan penopang kondisi *uphill* atau *downhill* pada *kiln*, yaitu *Thrust Roller*. *Thrust Roller* adalah sebuah baja cor (*cast steel*) yang berbentuk seperti ujung payung atau jamur pada bagian atasnya dan poros pejal memanjang pada bagian tengahnya. Bagian tepi dari ujung payung tersebut membentuk profil yang akan bersentuhan dengan tepian *tyre* ketika posisi *shell* dalam kondisi *uphill* atau *downhill* (Dewi & Giarini, 2017).



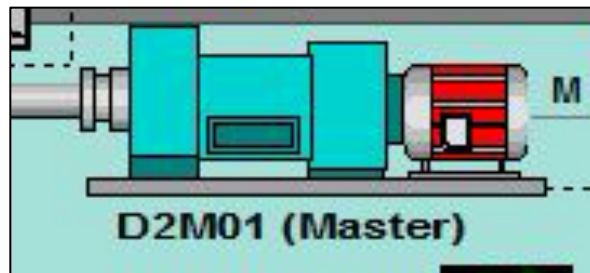
**Gambar 2.11 Thrust Roller**

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

f. *Drive System*

Sebagai peralatan yang dapat diandalkan untuk menggerakkan *kiln* agar dapat berotasi, maka dibutuhkan sistem penggerak (*drive system*) yang dirancang sesuai dengan kapasitas desainnya. Prinsip dasar kerjanya adalah ketika motor listrik dinyalakan, maka putaran diteruskan dari poros melalui *high speed coupling* menuju ke sisi masukan (*input*) pada *gearbox*, selanjutnya melalui sistem penurunan kecepatan dalam *gearbox* lewat mekanisme roda gigi, kecepatan

poros pada sisi keluaran (*output*) diteruskan dengan *low speed coupling* untuk menggerakkan roda gigi *pinion*. Putaran pada roda gigi *pinion* akan berkontak dengan roda gigi besar (*bullgear* atau *girth gear*) yang menempel pada badan *kiln* (*kiln shell*) sehingga pada akhirnya akan memutar *kiln*. Penjelasan rinci mengenai bagian-bagian dan fungsi dari *drive system* pada *Reduction Kiln* adalah sebagai berikut (Dewi & Giarini, 2017):



**Gambar 2.12 Main Drive System**

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

g. *Electric Motor*

*Electric Motor* atau disebut sebagai motor listrik, merupakan penggerak utama dari suatu *drive system*, terdiri dari kumparan kawat dan bilah-bilah plat magnet yang berada di dinding motor disebut bagian *stator* dan bagian bergerak dilengkapi kumparan kawat beserta kumpulan plat magnetik yang mengikat suatu poros yang disebut sebagai *rotor* (Dewi & Giarini, 2017).

h. *Gearbox*

Sesuai dengan namanya, *gearbox* adalah peralatan yang pada umumnya menyerupai kotak berisi rangkaian mekanisme roda gigi menurut peruntukannya untuk menaikkan kecepatan, disebut *gearbox* jenis *increaser* atau menurunkan kecepatan, disebut *gearbox* jenis *reducer*. Adapun peralatan di *Rotary Kiln* ini, *gearbox* yang digunakan adalah *gearbox* jenis *reducer*, yang akan menurunkan kecepatan namun diharapkan akan meneruskan daya besar yang optimal untuk memutar (Dewi & Giarini, 2017).



i. *Rotary Kiln*

Bagian masukan putaran yang lebih kencang disebut *input*, akan meneruskan putaran ke sistem roda gigi berikutnya secara bertahap mulai dari kecepatan tinggi disebut *first stage* sampai ke tahapan berikutnya *second stage*, *third stage*, *fourth stage* atau seterusnya hingga ke poros keluaran yang lebih rendah kecepatannya disebut bagian *output*. Setiap gearbox ditetapkan menurut perbandingan atau rasio kecepatannya antara *input* dan *output*. Apabila bagian *output* lebih besar kecepatannya daripada *input* maka disebut gearbox jenis *increaser* dan apabila bagian *output* lebih kecil kecepatannya daripada *input* maka disebut gearbox jenis *reducer* (Dewi & Giarini, 2017).

j. *Coupling System*

*Coupling* adalah suatu sistem mekanikal yang digunakan untuk meneruskan putaran dari sistem *output* suatu peralatan melalui poros ke sistem *input* peralatan lainnya.

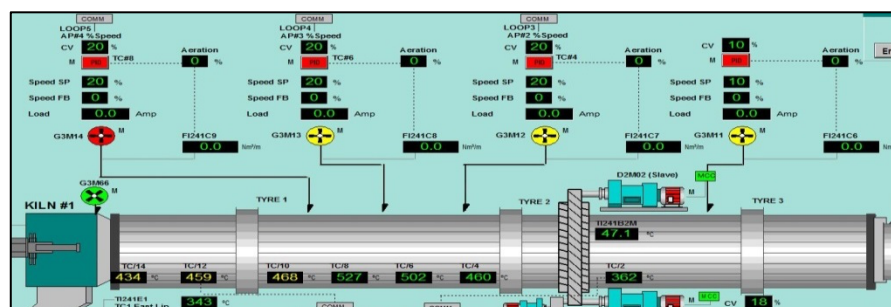
2. Sistem Pendukung *Rotary Kiln*

Untuk memastikan peralatan *Rotary Kiln* bekerja dengan maksimal, efisien dan aman, maka terdapat beberapa peralatan pendukung sebagai berikut:

a. *Air Pipe*

Pada *Rotary Kiln* memiliki peralatan peniup udara dari samping yang biasa disebut sebagai *Air Pipe* yang merupakan *blower* atau *fan* yang digerakkan oleh motor listrik dan besaran udara yang dimasukkan diatur dengan menggunakan lengan tuas katup untuk bisa membuka dan menutup *blower* sesuai dengan yang diinginkan. Penyediaan listrik didapatkan dari peralatan *slip-ring* yang ada di sekeliling *kiln shell*. Prosesnya adalah gas panas mengalir dalam arah yang berlawanan dan dengan adanya peniup udara samping (*Air Pipe*), dimasukkan udara dengan jumlah tertentu udara melalui saluran udara yang tembus masuk menuju *kiln*. Udara bertemu gas *combustible*, sehingga terjadi reaksi antara karbon monoksida dengan

oksigen serta hidrogen dengan oksigen yang menghasilkan panas. Panas inilah yang dipergunakan untuk menghilangkan air kristal yang terkandung dalam *ore*. Berbeda dengan *Dryer*, sumber pembakaran, disebut *Main Burner*, untuk pemanasan berada di sisi *Discharge End*. Untuk menyalakan pembakaran pertama kali, akan digunakan sistem pemantik api berbahan bakar propana. Selanjutnya pembakaran kontinyu akan diciptakan melalui sistem minyak HSFO dari tangki dimasukkan ke dalam *kiln* melalui alat penyemprot. Selain pembakaran yang terjadi, ketika partikel minyak tersebut bertemu dengan dengan *ore* panas, juga akan terjadi pemecahan molekul-molekul minyak menjadi carbon dan *hydrogen*. Dengan adanya pembakaran tidak sempurna dari peralatan pembakar minyak utama, maka terciptalah suasana reduksi dimana C, CO dan H<sub>2</sub> akan mereduksi bijih Nickel Oksida dan Besi Oksida menjadi *Nickel* logam dan Besi logam (Dewi & Giarini, 2017).



**Gambar 2.13 Air Pipe pada Kiln**

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

Khusus untuk *Kiln 2* dan *3* pembakaran HSFO sudah mulai digantikan oleh penggunaan debu batu bara dari proyek konversi energi CCP (*Coal Conversion Project*). Namun demikian, apabila peralatan CCP ini tidak berjalan maksimal karena *shutdown* atau kerusakan, maka sistem pembakaran dengan HSFO masih dapat digunakan kembali. Kedepannya diharapkan sistem CCP akan dapat diimplementasikan untuk *Kiln* lain seperti *Kiln 1*, *4* dan *5* (Dewi & Giarini, 2017).

b. *Belt Conveyor*

*Belt Conveyor* atau dengan nama lain “sabuk berjalan”, terdiri dari peralatan struktural yang dilengkapi dengan *belt* atau sabuk karet panjang yang digerakkan oleh sistem *main drive* untuk memutar *head pulley* guna menjalankan sabuk tersebut. Bagian *pulley* di ujung tempat melengketnya *belt* disebut sebagai *tail pulley*. Sementara sabuk ini akan duduk di atas peralatan roda-roda seperti *roller* yang disebut sebagai *carry idler* tipe *troughing* atau berbentuk seperti “U” lebar atau bisa juga datar, sementara bagian bawahnya, sabuk karet ditopang dengan roda-roda seperti *roller* yang panjang disebut sebagai *return roller*. *Belt conveyor* yang ada di PT. Vale Indonesia Tbk dikenali melalui lebar sabuk misalkan 36 *inch*, 48 *inch* atau 60 *inch* serta penomor peralatan yang sudah ditetapkan dari penamaan *asset* dari *section* PPRP, misalnya *conveyor* nomor 310, 226, 312, 220, dan sebagainya (Dewi & Giarini, 2017).

Menurut fungsinya, *belt conveyor* dapat dibedakan menjadi tipe (Dewi & Giarini, 2017):

- a. *Feed Conveyor*, yaitu sabuk berjalan yang berfungsi untuk mengumpan *ore* masuk ke dalam suatu sistem.
  - b. *Product Conveyor*, yaitu *sabuk* berjalan yang berfungsi mengalirkan produk *ore* ke gudang penyimpanan.
  - c. *Belt Feeder*, yaitu sabuk berjalan yang ukurannya lebih pendek dan berfungsi untuk mengalirkan *ore* ke suatu sistem penyimpanan sementara.
  - d. *Reject Conveyor*, yaitu sabuk berjalan yang berfungsi mengalirkan bahan buangan menuju tempat yang ditentukan.
- c. *Multiclone*

*Multiclone* berfungsi menangkap gas yang bercampur debu lewat hisapan *kiln exhaust fan*. Pada saat di *multiclone*, dengan adanya konstruksi tabung yang jalurnya berputar, membuat debu yang lebih berat akan berputar-putar membentuk *cyclone*, sehingga karena gaya

sentrifugal, debu akan terlempar keluar dan menabrak dinding tabung dan jatuh tertampung di *multiclone cyclone dust collector* pada bagian bawahnya bermuara *multiclone bin* yang dilengkapi dengan pengukur berat kapasitas yang diisikan. Selanjutnya, dari bin tersebut debu-debu akan ditiupkan oleh kedua *blow pot* secara bergantian menuju ke 500 ton *dust bin* guna di alirkan disirkulasi ke 100 ton *bin* di area *dryer* (Dewi & Giarini, 2017).



**Gambar 2.14 Multiclone**

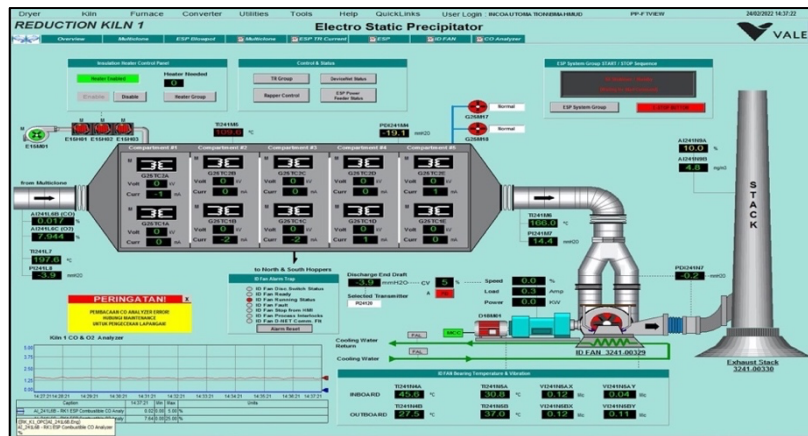
Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

d. *Electro Static Precipitator (ESP)*

*Electro Static precipitator (ESP)*, termasuk tipe *dry* dan *wet*, telah banyak digunakan untuk menghilangkan partikel yang dipancarkan dari berbagai proses industri. Ketika partikel dimasukkan ke dalam ESP, mereka diisi oleh mekanisme difusi dan pengisian medan dan dikumpulkan oleh gaya elektrostatis pada elektroda pengumpul (Li, dkk. 2010).

Alat presipitator yang terpasang di *Kiln* adalah untuk menangkap partikel padat dari gas buang di *kiln* yang sudah melewati *multiclone* dan akan menuju udara Atmosfer melalui cerobong. Keuntungan utama dengan dipasangnya alat tersebut adalah gas buang yang bersih untuk membantu pengendalian pencemaran udara. Keuntungan yang lain adalah tertangkap debu yang masih mengandung nikel ini dapat dikembalikan ke dalam proses atau didaur ulang. Komponen utama dari ESP adalah serangkaian dua jenis elektroda; elektroda negatif (*discharge electrode*) dan elektroda positif (*Collecting Electrode*) yang ditempatkan dalam akhiran gas buang. Elektroda *negative* mempunyai diameter kecil dan dihubungkan ke

sumber listrik bertegangan tinggi. Sedangkan elektroda *positive* berbentuk plat pipih dan dihubungkan ke (*Grounded*) melalui kerangka ESP. Sumber tegangan tinggi pada *electrode negative* akan menyebabkan pelepasan *electro* ke dalam aliran gas dalam bentuk *corona*. Partikel debu yang masuki medan *corona* tersebut akan menerima muatan *negative* sehingga akan tertarik dan menempel pada *electrode* positif akibat adanya gaya medan listrik. Semakin lama partikel debu yang menempel pada *electrode* positif semakin banyak dan akan menumpuk membentuk lapisan material pada permukaan *electrode*. Untuk melepaskan lapisan debu tersebut secara periodik *electrode positif* di getarkan sehingga debu akan jatuh ke bagian dasar presipitator ditampung dalam *Hopper*. Sebagai efek dari ionisasi terhadap aliran gas buang, sebagian kecil partikel debu akan menerima muatan positif. Partikel tersebut akan tertarik dan menempel pada elektroda *negative*. Bila debu tersebut terakumulasi pada *electrode negative* dapat mempengaruhi pembentukan medan *corona*, sehingga secara periodik *electrode negative* juga perlu digetarkan. *Electroda negative* biasanya disebut *discharge electrode* karena fungsinya untuk melepaskan *electron* ke dalam aliran gas buang (pembentukan *corona*). Sedangkan *electrode* positif biasanya disebut *colleting electrode* karena fungsinya untuk mengumpulkan debu-debu yang sudah mendapat muatan *negative*. Elektroda positif juga biasa dinamakan plat (Dewi & Giarini, 2017).



Gambar 2.15 Electro Static Precipitator (ESP)

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

e. *Screw Conveyor*

*Screw conveyor* ini terdiri dari baja yang memiliki bentuk spiral (pilihan seperti ulir) yang tertancap pada *shaft*/poros dan berputar dalam suatu saluran berbentuk U (*through*) tanpa menyentuhnya sehingga *flight* (daun *screw*) mendorong material (*dust ore*). *Shaft*/poros digerakkan oleh motor *gear*, pada akhir ulir biasanya dibuat lubang untuk penempatan *drive end* yang kemudian di hubungkan dengan alat penggerak (Dewi & Giarini, 2017).