

**ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN PROSES PRODUKSI
TERHADAP PENGARUH KADAR NIKEL DI SMELTER
FERONIKEL MALUKU UTARA**

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana dari
Universitas Fajar**

Oleh:

RISWAN ASRI

2220422005



**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR
2024**

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN PROSES PRODUKSI
TERHADAP PENGARUH KADAR NIKEL DI SMELTER
FERONIKEL MALUKU UTARA

Oleh

RISWAN ASRI
2220422005

Menyetujui
Tim Pembimbing
Tanggal: 07 Oktober 2024

Pembimbing

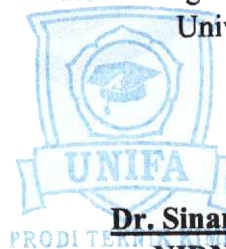

Dr. Sinardi, ST., SP., M.Si
NIDN: 09108038002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Fajar


Dr. Ir. Erniati, ST., MT
NIDN. 0906107701

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Universitas Fajar




Dr. Sinardi, ST., SP., M.Si
NIDN. 09108038002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir:

“Analisis Perbandingan Desain Proses Produksi Terhadap Pengaruh Kadar Nikel Di Smelter Feronikel Maluku Utara” adalah karya orisinal saya dan setiap serta seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan panduan Penulisan Ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar, 07 Oktober 2024

Yang membuat pernyataan,

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp is placed over the signature. The stamp features a Garuda bird, the national symbol of Indonesia, and the text "10000", "METER", and "TEMPEL". The serial number "AD6E6AMX013356234" is visible at the bottom of the stamp.

RISWAN ASRI

ABSTRAK

Analisis Perbandingan Desain Proses Produksi Terhadap Pengaruh Kadar Nikel Di Smelter Feronikel Maluku Utara, Riswan Asri. Negara Indonesia saat ini adalah penghasil cadangan nikel terbesar di dunia. Pada proses peleburan nikel dengan kategori dari bijih laterite biasanya digunakan untuk membuat nikel matte, feronikel, atau logam nikel. Bijih nikel laterite terbagi 2 jenis yaitu jenis saprolite dan limonite. Jenis nikel laterite yang memiliki kadar Ni yang tinggi dapat diolah melalui proses *pirometalurgi* dan untuk kadar Ni yang rendah dapat diolah menjadi melalui proses *hydrometalurgi*. Pembuatan feronikel saat ini yang banyak digunakan di Indonesia yaitu menggunakan metode (RKEF) *Rotary kiln Electric furnace*. Bijih ore nikel laterit yang diambil dari area penambangan akan dibawa dan disimpan dalam gudang bijih ore basah dengan kandungan air bebas sekitar 30-40%, lalu akan dibawa melalui proses pemanasan terlebih dahulu pada tanur pengering *rotary dryer* hingga kandungan air sisa berkurang minimal 20% dan maksimal 15%. Lalu dilakukan proses pemanasan lanjutan dan penambahan karbon atau *semicoke* di *rotary kiln*. Di dalam *rotary kiln* akan mengalami proses kalsinasi-reduksi, dimana proses kalsinasi merupakan proses pengeringan lanjutan pada tanur reduksi *rotary kiln* dengan penambahan karbon yang dimana diharapkan terjadi proses disosiasi mineral untuk menghilangkan kandungan air dari 20 – 15% hingga menjadi yang diinginkan 0%. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kandungan kadar Ni pada bijih ore nikel dan menghindari terjadinya ledakan – ledakan yang tidak diinginkan ketika kalsin ini akan dileburkan dalam tungku furnace. Objek yang diteliti yaitu jenis ore nikel laterite hasil tambang, ore kering yang telah melewati proses pengering di *dryer kiln* dan ore yang telah menjadi kalsin setelah melewati tanur reduksi *rotary kiln*.

Kata Kunci: Biji Nikel *Laterite*, *Dryer kiln*, *Rotary kiln* Reduksi, Kalsinasi.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan ridhanya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Perbandingan Desain Proses Produksi Terhadap Pengaruh Kadar Nikel Di Smelter Feronikel Maluku Utara”.

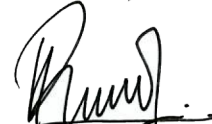
Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa tersusunnya Tugas Akhir tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, bantuan yang diberikan oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Allah Subhana wata'ala atas ridha dan kuasanya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir tepat pada waktunya
2. Bapak Asri dan Ibu Halijah sebagai kedua orang tua penulis yang selalu memberikan doa, restu, kasih sayang, dukungan moral, materi, dan motivasi sepanjang perjalanan perkuliahan penulis.
3. Keluarga, saudara dan kerabat penulis yang selalu mendukung dan memberikan semangat dan kasih sayang kepada penulis.
4. Bapak Dr. Mulyadi Hamid, SE., M.Si selaku Rektor Universitas Fajar
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT selaku Dekan fakultas Teknik Universitas Fajar
6. Ibu Dr. Sinardi ST., SP., M.Si selaku Pembimbing Penulis dan Ketua program studi Teknik Kimia Universitas Fajar
7. Bapak Irham Pratama, S.Pd., M.Si selaku Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis
8. Seluruh dosen Teknik Kimia Universitas Fajar, terima kasih atas arahan, motivasi dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis sepanjang perjalanan perkuliahan di Universitas Fajar.
9. Rekan-rekan kerja yang ada di Smelter Feronikel di Maluku Utara khususnya bagian Divisi *Rotary kiln* dan Laboratorium yang namanya tidak disebutkan satu per satu, atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya.

Semua pihak yang tidak dapat disebutkan namun telah memberikan dukungan kepada penulis sepanjang perjalanan ini, diakui dan dihargai. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna Oleh karena itu, penulis dengan tulus mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi memperbaiki dan

menyempurnakan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, terutama bagi penulis sendiri. Aamiin.

Makassar, 07 Oktober 2024



Riswan Asri

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Nikel	4
II.2 Nikel Laterite	5
II.3 Proses Pengolahan Nikel Laterit	7
II.4 Feronikel RKEF (<i>Rotary kiln Electric furnace</i>)	11
II.5 XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	15
III.2 Alat dan Bahan	15
III.3 Pelaksanaan Penelitian	15
III.4 Metode Pengumpulan Data	16
III.5 Analisis Data	16
III.6 Bagan Alur Penelitian	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
IV.1 Hasil	18
IV.2 Pembahasan	20
BAB V PENUTUP	23

V.1	Kesimpulan	23
V.2	Saran	23
DAFTAR PUSTAKA		24
LAMPIRAN.....		26

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Spesifikasi Bahan	4
Tabel II.2 Perbandingan Kebutuhan Energi Pengolahan Nikel	10
Tabel IV.1 Hasil Pengujian Parameter Ore Basah.....	18
Tabel IV.2 Hasil Pengujian Parameter Ore Kering	18
Tabel IV.3 Hasil Pengujian Parameter Kalsin	19

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 <i>Rotary Dryer</i>	11
Gambar II. 2 Proses kalsinasi pada <i>rotary kiln</i>	11
Gambar II. 3 Skema Alur Proses RKEF	13
Gambar III. 1 Diagram alur proses Feronikel Smelter A	17
Gambar III. 2 Diagram alur proses Feronikel Smelter B	17
Gambar IV. 1 Grafik hasil pengujian parameter Ore Kering	19
Gambar IV. 2 Grafik hasil pengujian parameter Kalsin	19

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

SINGKATAN

Ni	Nikel	4
Fe	Ferro	5
XRF	X-Ray Flouresence	13
SiO ₂	Silika Oksida	18
MgO	Magnesium Oksida	18
CaO	Calsium Oksida	18
Al ₂ O ₃	Allumunium Oksida	18

SIMBOL

°C	Celcius	4
Kg	Kilogram	4
m ³	Meter Kubik	4

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Skema Alur Proses Feronikel.....	26
Lampiran B Dokumentasi Penelitian.....	27
Lampiran C Artikel Ilmiah.....	27
Lampiran D Dokumen LoA Jurnal.....	46
Lampiran E Proses Korespondensi Review Artikel Ilmiah ke Jurnal	47

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sumber daya mineral, merupakan sumber yang sangat penting dalam menopang perekonomian Indonesia Sejalan dengan kemajuan teknologi, semakin banyak pula mineral yang dieksploitasi demi memenuhi berbagai macam sumberdaya mineral. Namun sayangnya sumberdaya mineral adalah sumberdaya yang tidak dapat diperbarui lagi, pada suatu saat sumberdaya tersebut tidak akan ada lagi di bumi jika terus-menerus digunakan. Disinilah pentingnya mengelola sumberdaya mineral dengan memahami seutuhnya karakteristik dan potensi sumberdaya mineral di Indonesia guna kemajuan dan kemakmuran bangsa (Hidayat, 2019). Meningkatnya permintaan logam di dunia memerlukan studi intensif untuk ekstraksi logam dari bijih berkadar rendah dan atau sumber daya sekunder, (Abdel-Aal dan Rashad, 2004).

Nikel merupakan suatu unsur paduan utama dari stainless steel dan mengalami pertumbuhan yang sangat cepat seiringan dengan peningkatan permintinraan stainless steel. Salah satu karakteristik utama bijih nikel adalah kadar nikel yang terkandung tidak melebihi 4% Ni. Biasanya, kadar nikel adalah antara 1% dan 3% Ni dan dalam beberapa kasus, tidak melebihi 4%. Hal ini disebabkan, bijih nikel tersebut terkandung dalam berbagai inklusi, terutama peridotit dan mineral sulfida yang menyebabkan konsentrasi nikel memiliki kadar rendah. Saat ini lebih dari 65% nikel digunakan dalam industei stainless steel dan sekitar 12% digunakan dalam industri manufaktur siper alloy atau nonferrous alloy, (Moskaylk dan Johnson, 2002).

Bijih nikel laterit dengan kadar $Ni > 1.8\%$ dapat diolah dengan jalur *pirometalurgi*. Produksi feronikel dari bijih laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar slag. Selain itu area dimana deposit itu berada mempunyai akses yang sulit terjangkau sehingga pasokan listrik untuk proses merupakan suatu tantangan tersendiri. Tidak seperti

bijih nikel sulfida, bijih nikel laterit tidak dapat di upgrade dengan penghalusan (*grinding*) dan metode lain yang bersifat fisikal benefisi (Norgate). Karenanya hampir semua proses pengolahan nikel laterit menggunakan proses *pirometalurgi* terhadap kandungan nikel yang diatas 1.5%. Padahal lebih dari 50% cadangan dunia mempunyai kandungan Ni < 1.45%. sehingga kurang menguntungkan bila diolah dengan proses *pirometalurgi* yang umum. Pembuatan feronikel ini dengan metode *Rotary kiln – Electric furnace*. Bijih nikel laterit yang berasal dari area penambangan akan masuk ke gudang bijih basah dengan kandungan air bebas sekitar 32 - 34%, dan akan mengalami proses pengering terlebih dahulu pada tanur pengering *dryer kiln* hingga kandungan air sisa berkurang minimal 20% maksimal 15%. Lalu dilakukan proses pemanasan lanjutan dan penambahan carbon atau *semicoke* di *Rotary kiln*. Proses kalsinasi merupakan proses pengeringan lanjutan pada tanur reduksi *rotary kiln* untuk mengilangkan kandungan air sisa dari 20 – 15% hingga menjadi 0%. Proses ini bertujuan untuk menghindari terjadinya ledakan – ledakan yang tidak di inginkan ketika kalsin ini akan dileburkan dalam tungku furnace.

Berdasarkan fakta tersebut sehingga dilakukan penelitian dimana objek yang diteliti yaitu jenis ore nikel laterite hasil tambang di daerah Maluku Utara, ore kering yang telah melewati proses pengering di *dryer kiln* dan ore yang telah menjadi kalsin setelah melewati tanur reduksi *rotary kiln*.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana hasil kadar nikel di parameter ore basah, ore kering, dan kalsin dari perbandingan antara Smelter A dan Smelter B?
2. Bagaimana efektivitas desain alur proses produksi terhadap kadar nikel pada sampel ore kering pada Smelter A dan Smelter B?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui hasil kadar nikel di parameter ore basah, ore kering, dan kalsin dari perbandingan antara Smelter A dan Smelter B
2. Mengetahui efektivitas desain alur proses produksi terhadap kadar nikel pada sampel ore kering pada Smelter A dan Smelter B

I.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Smelter feronikel yang berada dari daerah Maluku Utara
2. Perbandingan dilakukan berdasarkan desain alur proses produksi pada smelter feronikel
3. Pengambilan sampel dilakukan pada ore basah yang berada di gudang Raw Material, ore kering setelah melewati proses *Rotary dryer*, dan kalsin setelah melewati *Rotary kiln*.
4. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium
5. Pengamatan dan pengujian sampel menggunakan alat xrf melihat kandungan Fe, Ni, dan beberapa kandungan logam lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Nikel

Nikel adalah logam penting dalam metalurgi modern dengan kegunaan utama dalam stainless steel (sekitar 45 persen) dan paduan berbasis nikel (sekitar 39 persen). Sumber daya nikel dunia terdapat di dua endapan yaitu endapan sulfida dan endapan laterit. Jumlah sumber daya nikel di endapan sulfida adalah 28% dari total sumber daya yang ada, sedangkan terdapat 72% sumber daya nikel pada endapan laterit (Dalvi and Robert, 2004).

Nikel bersifat keras dan tahan korosi, dengan titik leleh yang relatif tinggi yaitu 1453 °C, hampir sama dengan besi. Namun nikel bersifat lunak dan ulet sehingga mudah diolah menjadi lembaran dan kabel. Nikel memiliki konduktivitas termal dan listrik yang rendah serta bersifat magnetis, meskipun pada tingkat yang lebih rendah dibandingkan besi. Sebagai logam murni, nikel sangat tahan lama dan mudah dipadukan dengan banyak logam lainnya. (L E Hetherington, dkk., 2007).

Sifat fisik utama dan fitur lainnya dapat dilihat dalam tabel II.1

Tabel II.1 Spesifikasi Bahan

Simbol	Ni	Satuan
Nomor Atom	29	
Berat Atom	58,6934	
Kepadatan pada 293K	8902	Kg/m ³
Titik lebur	1453	°C
Titik didih	2732	°C
Struktur Kristal	Kubik berpusat muka	
Kekerasan	3,8	Moh
Konduktivitas Listrik	22	%(standar tembaga internasional)

(Tom Bride dkk, 2008)

Nikel ada di kerak bumi terutama dalam bentuk oksida, sulfida, dan silikat. Mayoritas simpanan nikel yang ekonomis terjadi di dua lingkungan geologi. seperti endapan magmatik sulfida dan endapan laterit. Endapan sulfida terbentuk selama kristalisasi lambat badan magma di aliran lava yang dalam atau kuno. Mineral bijih utama adalah pentlandit $[(Ni, Fe), sy]$. Bijih laterit yang mengandung nikel terbentuk oleh pelapukan permukaan di daerah tropis dan subtropis. Mineral bijih utama adalah nikel limonit $[(Fe, Ni), O (OH)]$ dan garnierit (nikel silikat hidro). (L E Hetherington, dkk., 2007).

Bijih nikel terdiri atas Ni-sulfida (nickel sulphides) dan Ni-laterit (nickel laterites). Mineral Ni-Sulfida umumnya terbentuk secara primer dan berasosiasi dengan batuan mafik dan ultramafik (piroksinit, harzburgit, dan dunit). Endapan bijih nikel ini juga terjadi bersama-sama bijih kromit (Cr), sedangkan Ni-laterit merupakan bentuk sekunder endapan bijih nikel. Ni-sulfida yang ditemukan pada kedalaman ratusan meter di bawah permukaan tanah, Ni-laterit terdapat pada kedalaman yang relatif lebih dangkal, yaitu sekitar 15 – 20 meter di bawah permukaan tanah. Bijih nikel laterit adalah endapan nikelferrous yang terjadi karena proses mineral olivin pada peridotit terdekomposisi oleh air tanah yang bersifat asam. Bijih nikel limonit adalah jenis endapan yang terjadi akibat proses dekomposisi air tanah yang bersifat asam, sehingga magnesium (MgO) dan nikel (Ni) terlarut, sedangkan silikon tersuspensi sebagai koloid silika ke lapisan bawah. Bijih nikel garnierit/saprolit adalah jenis endapan yang terjadi akibat proses pelindihan. (L E Hetherington, dkk., 2007).

II.2 Nikel Laterite

Istilah "*lateralite*" secara umum didefinisikan sebagai endapan yang kaya akan oksida besi dan rendah silika, yang umumnya terdapat pada endapan lapuk di iklim tropis. Beberapa orang menafsirkan nikel laterit sebagai endapan lapuk yang mengandung nikel dan dapat ditambang secara ekonomis. Endapan nikel laterit dicirikan oleh pelapukan mengulit bawang (*spheroidal weathering*) dan umumnya tersebar di sepanjang struktur rekahan dan rekahan (*boulder saprolite*). Pelapukan menyebabkan Mg dan Si larut ke dalam air tanah. Ini sepenuhnya mengubah

struktur batu kasar. Akibatnya, oksida besi membentuk lapisan horizontal di atas saprolit dan menjadi dominan, yang sekarang dikenal sebagai mineral oksida besi jenis limonit. (Isjudarto, 2013).

Bijih laterit merupakan tanah merah yang terbentuk akibat pelapukan batuan asli (induk) di daerah tropis atau subtropis. Komposisi laterit sangat kompleks karena kaya akan kaolinit, goetit, dan kuarsa. Secara kimia, laterit dicirikan oleh adanya besi, nikel, dan silikon dioksida sebagai sisa proses pelapukan pada batuan induknya. Kebanyakan laterit terbentuk dari batuan kaya besi seperti hematit dan goetit, yang berwarna merah, kuning, atau coklat. (Arinaldo, 2016).

Menurut (Arinaldo, 2016), profil endapan laterit secara umum dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Zona Limonit

Zona Limonit Pada daerah ini umumnya endapannya berwarna merah sampai kecoklatan dan kaya akan zat besi sekitar 20%-50%. Umumnya mengandung mineral hematit dan goetit. Zona limonit memiliki struktur *clay* (lempung) yang sangat halus. Daerah ini juga mempunyai bagian transisi yang mewakili peralihan antara daerah limonit dan saprolit, dan biasanya berwarna merah.

2. Zona Saprolit

Zona Saprolit Daerah ini biasanya berwarna abu-abu sampai hijau kecoklatan. Ini mengandung mineral serpentin dan olivin. Wilayah ini memiliki kandungan Ni lebih dari 2%. Batuan pada zona saprolit bervariasi dari halus hingga boulder (besar). Boulder ini biasanya merupakan bagian dari proses batuan induk yang belum sempurna.

3. Zona Bedrock

Zona Batuan Dasar Daerah ini merupakan bagian terendah dari profil laterit. Daerah batuan dasar tidak dapat ditambang karena batuan dasar tersebut tidak ekonomis. Berbeda dengan bijih di atasnya, zona Bedrock (batuan dasar) memiliki kandungan nikel dan besi yang lebih rendah.

Penambangan yang berkelanjutan diharapkan dapat mengurangi cadangan nikel seiring berjalannya waktu. Dengan demikian, pemanfaatan nikel laterit

sebagai bahan baku akan memainkan peran krusial dalam proses produksi nikel global di masa yang akan datang, dengan penekanan pada pengolahan yang lebih efisien.

II.3 Proses Pengolahan Nikel Laterit

Dalam pengolahan nikel laterit ada dua metode utama yang digunakan, yaitu *pirometalurgi* dan hidrometalurgi. Kedua proses ini dapat diimplementasikan secara komersial dalam skala industri untuk mengekstraksi nikel dari endapan nikel laterit. Jenis nikel laterit yang bersifat saprolit lebih cocok untuk diolah menggunakan *pirometalurgi*, sementara yang tipe limonit lebih sesuai dengan proses hidrometalurgi.

Secara ekonomi, penggunaan hidrometalurgi pada nikel laterit jenis saprolit dianggap kurang menguntungkan karena tingginya kandungan magnesium dan aluminum. Ini disebabkan oleh sifat reaktif magnesium yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam lain seperti nikel dan besi. Dengan demikian, jika konsentrasi asam yang sama digunakan untuk pelindian, asam akan lebih cenderung bereaksi dengan magnesium daripada unsur logam lainnya. Selain itu, kandungan aluminum yang tinggi pada saprolit dapat membentuk senyawa alunit, $[(H_3O)Al_3(SO_4)_2(OH)_6]$ yang dapat menyebabkan endapan pada reaktor. (Siregar, 2017).

II.3.1 Proses *Pirometalurgi*

Proses *pirometalurgi*, atau peleburan, adalah suatu metode pengolahan mineral yang melibatkan penggunaan suhu tinggi, dengan panas yang dihasilkan berasal dari tungku berbahan bakar batubara (kokas). Batubara bukan hanya berfungsi sebagai bahan bakar, melainkan juga sebagai agen pereduksi dalam proses peleburan. Jenis nikel laterit, khususnya saprolit dengan kandungan nikel tinggi (>2%), cocok untuk diolah menggunakan metode *pirometalurgi*. Proses ini digunakan untuk menghasilkan feronikel, nikel matte, atau besi kasar nikel. Keuntungan dari proses *pirometalurgi* meliputi keandalan yang terbukti, tingkat perolehan nikel yang tinggi, serta ketersediaan reagen yang umumnya ekonomis dan mudah diperoleh. Namun, metode ini juga menimbulkan masalah lingkungan,

seperti polusi udara akibat penggunaan suhu tinggi, dan memerlukan konsumsi energi yang signifikan. (Siregar, 2017).

Produksi feronikel dari bijih laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar slag. Beberapa metode proses peleburan nikel laterite sebagai berikut :

1. *Rotary kiln Electric furnace* (RKEF)

Produksi feronikel dari bijih laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar slag. Proses RKEF banyak digunakan untuk menghasilkan feronikel dan nikel-matte. Dari metode ini telah teruji kemampuannya karena dapat beradaptasi dengan berbagai macam kandungan nikel dalam bijihnya. Proses reduksi-kalsinasi ini langsung dari bijihnya yang diperkirakan akan mengkonsumsi energi lebih rendah karena hanya menggunakan *rotary dryer* dan *rotary kiln* untuk menghasilkan bijih nikel yang telah teroksidasi atau kalsin, prosesnya bisa disebut juga sebagai peningkatan kadar FeNi secara thermal.

2. Nippon Yakin Oheyama Process

Nippon Yakin Oheyama Process merupakan proses reduksi langsung garnierite ore yang menghasilkan feronikel dalam suatu *rotary kiln*. Silicate ore (2,3-2,6% Ni, 12-15% Fe) bersama antrasit, coke breeze, dan batu kapur dicampur dan dibuat menjadi briket. Briket tersebut kemudian diumpankan ke dalam *rotary kiln* yang menggunakan pembakaran batu-bara dengan gradien temperatur 700-1300°C. Dalam *rotary kiln* tersebut, briket akan mengalami proses pengeringan, dehidratasi, reduksi, dan dilebur membentuk feronikel yang disebut luppen. Hasil proses tersebut kemudian didinginkan cepat dalam air (quenching), dan luppen yang berukuran 2-3 mm dengan grade 22% Ni dan 0.45% Co dipisahkan dari teraknya melalui proses grinding, screening, jigging, dan magnetic separation. Recovery awal melalui proses ini hanya berkisar 80% diakibatkan tingginya kandungan pengotor dalam bijih yang sulit dipisahkan dengan *rotary kiln*.

3. Nickel Pig Iron

Nickel Pig Iron diproduksi di china mulai tahun 2006 untuk menjawab tingginya harga dan permintaan nikel. Nickel Pig Iron (NPI) merupakan ferronickel yang memiliki kadar nikel yang rendah (1,5-8%). Pembuatan NPI dilakukan dengan mini blast furnace dan electric arc furnace (EF). Proses produksi NPI pada mini blast furnace menggunakan kokas sebagai reduktor dan sumber energi. Karbon akan mereduksi besi sehingga kandungan FeO di dalam terak akan sangat kecil. Pada proses ini juga ditambahkan bahan imbuhan berupa limestone untuk mengatasi temperatur leleh terak tinggi akibat rendahnya kandungan FeO dan tingginya kadar silika dan magnesia di dalam terak. NPI ini disebut sebagai —dirty nickel karena akan menghasilkan slag yang banyak, konsumsi energi yang tinggi, polusi lingkungan dan menghasilkan produk dengan kualitas rendah. Tetapi bagaimanapun produksi NPI akan tetap menjadi sesuatu yang ekonomis selama harga nikel relatif tinggi. Proses produksi NPI yang lain yaitu menggunakan *electric furnace*. Dengan peningkatan kualitas EF maka proses ini diyakini mempunyai efisiensi energi yang lebih tinggi dari proses blast furnace. Sehingga pada prakteknya dalam 10 tahun terakhir pembuatan NPI meningkat signifikan terutama di China dan Indonesia. Kelebihan utama dalam proses ini yaitu dapat mengolah bijih kadar rendah yang sulit dilakukan dengan proses *pirometalurgi* lain. (Setiawan,2016).

Berikut merupakan perbandingan penggunaan energi masing-masing proses. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa pembuatan feronikel RKEF mempunyai tingkat kebutuhan energi paling rendah dan yang tertinggi itu Caron.

Tabel II.2 Perbandingan Kebutuhan Energi Pengolahan Nikel

Process	Typical kWh/lb Ni
From sulphide ores containing 1% Ni	
Smelting process	10
Leaching process	10
From oxide ores	
2.5%Ni garnierite to matte to metal	26-27
2.5%Ni garnierite to 25% FeNi	16-19
1.4%Ni mixed ores, Caron process	28-38
1.4%Ni laterite, acid process	20-26
1.4%Ni laterite, improved acid process (AMAX)	14-16

II.3.2 Proses Hidrometalurgi

Hidrometalurgi merupakan suatu proses pemurnian logam yang menggunakan pelarut kimia untuk melarutkan bahan logam tertentu dan meningkatkan kemurnian logam yang diinginkan (leaching). Hidrometalurgi merupakan metode yang menjanjikan karena dapat menghasilkan nikel dengan kemurnian tinggi. Selain itu, pelarut dapat didaur ulang dan digunakan kembali, sehingga mengurangi biaya produksi. (Kyle, 2015)

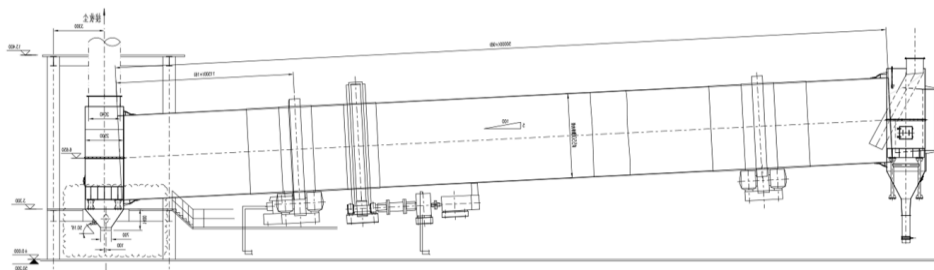
Menurut (Siregar, 2017) proses hidrometalurgi digambarkan terdiri dari tiga tahapan yaitu :

1. *Leaching* (pengikisan) dimana proses ini melibatkan pengikisan logam dari batuan dengan menggunakan reduktan organik, dan juga dapat membantu melarutkan logam dari substratnya dan membentuk larutan yang kaya akan logam tersebut.
2. Pemekatan larutan hasil leaching dan pemurniannya, dimana larutan yang dihasilkan dari tahap leaching kemudian diproses untuk dipekatkan dengan tujuan meningkatkan konsentrasi logam dalam larutan sehingga lebih efisien untuk dilakukan pemurnian. Pemurnian sendiri melibatkan langkah-langkah untuk menghilangkan impuritas dan senyawa yang tidak diinginkan dari larutan.
3. *Recovery* (Pemulihan) dimana pada tahap ini melibatkan pengambilan logam dari larutan yang dihasilkan pada tahap leaching. Metode pemulihan dapat berupa presipitasi, elektrolisis, atau metode lainnya yang memungkinkan

pemisahan dan pemulihan logam dari larutan dengan tingkat kemurnian yang diinginkan.

II.4 Feronikel RKEF (*Rotary kiln Electric furnace*)

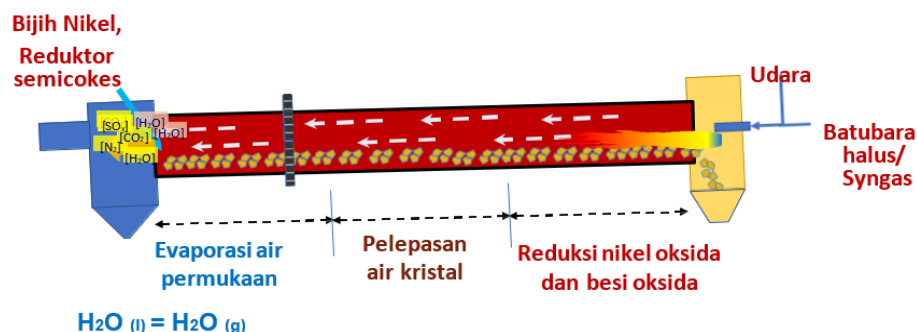
Pembuatan ferronikel dari bijih nikel laterit dengan jalur *pirometalurgi* dapat dilakukan dengan metode *Rotary kiln Electric furnace* (RKEF). Awal proses ini dengan pengeringan kandungan *moisture* hingga 45% dengan proses *pre-treatment*. Bijih nikel laterit dikeringkan pada temperatur 250 °C dengan hingga kandungan *moisture*-nya mencapai 15-20% dengan *rotary dryer*.



Gambar II. 1 *Rotary Dryer*

(Setiawan, 2016)

Produk dari *rotary dryer* selanjutnya masuk ke-tahap kalsinasi (prereduksi) menggunakan *rotary kiln* pada suhu 800-900°C. adapun reaksi yang berlangsung di *rotary kiln*, yaitu: evaporasi dari air, disosiasi dari mineral-mineral pada temperatur 700°C menjadi oksida-oksida dan uap air, reduksi dari nikel oksida dan besi oksida gas reduktor pada temperatur sekitar 800°C.



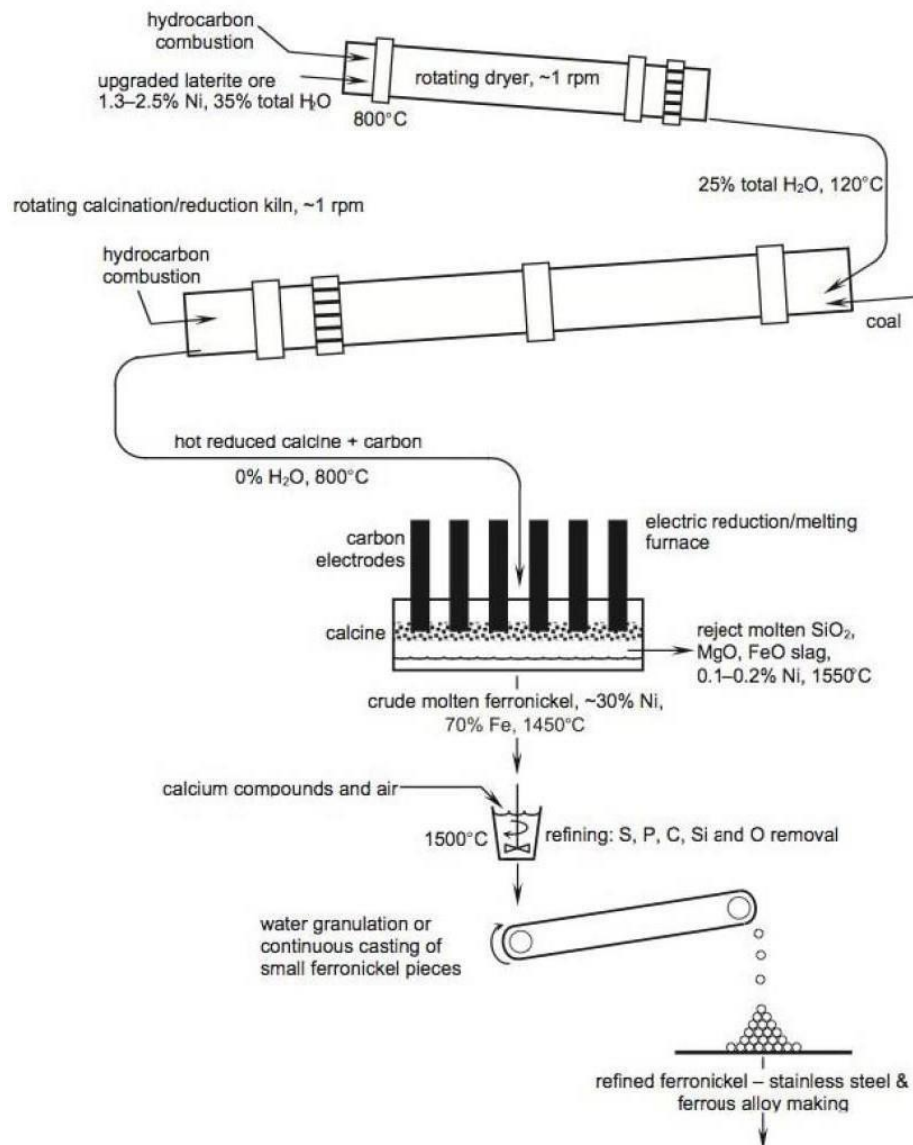
Gambar II. 2 Proses kalsinasi pada *rotary kiln*

(Setiawan, 2016)

Kalsin (sebagian kecil dari NiO dan FeO sudah tereduksi menjadi Ni logam dan Ge logam) mengandung batubara/karbon pada temperatur 750-900⁰C. Kalsin ini ditampung dalam kalsin kontainer yang dilapisi refraktori. Hasil proses kalsinasi kemudian dilebur di dalam *electric furnace* pada temperatur 1500-1600⁰C menghasilkan feronikel.

Proses reduksi adalah salah satu cara agar dapat meningkatkan kandungan mineral Ni dalam bijih nikel laterit dengan cara mereduksi bijih sehingga terjadi reaksi kimia dan terjadi reaksi reduksi seperti Fe³⁺ menjadi Fe²⁺ dan Nio menjadi Ni yang dilanjutkan pemisahan *magnetic* sehingga kandungan Ni meningkat. Pada proses peleburan terjadi reduksi nikel oksida dan besi oksida kalsin menjadi nikel, pelelehan dan pelarutan nikel dalam feronikel, dan pemisahan feronikel dari *slag* silikamagnesia. Pada *electric furnace* terjadi pemisahan feronikel dari terak silikamagnesia, terjadi Reduksi nikel oksida dan besi oksida kalsin menjadi nikel logam, dan pelelehan dan pelarutan nikel dalam feronikel. (Setiawan, 2016).

Proses ini yang paling umum digunakan dalam industri *pirometalurgi* nikel saat ini karena tahapan proses dianggap lebih sederhana dan dapat diaplikasikan terhadap bijih dari berbagai lokasi. Walaupun pada kenyataanya konsumsi energi sangat tinggi dan hanya lebih rendah dari proses Caron. Berikut skema alur produksi pada proses *pirometalurgi* RKEF:



Gambar II. 3 Skema Alur Proses RKEF

(Setiawan, 2016)

II.5 XRF (*X-Ray Fluorescence*)

XRF adalah alat uji yang digunakan untuk analisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-x karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang

terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spectrum. (Siregar, 2017).

Prinsip kerja alat XRF adalah sinar-x fluoresensi yang dipancarkan oleh sampel dihasilkan dari penyinaran sampel dengan sinar-x primer dari tabung sinar-x (*X-Ray Tube*), yang dibangkitkan dengan energi listrik dari sumber tegangan sebesar 1200 volt. Bila radiasi dari tabung sinar-x mengenai suatu bahan maka elektron dalam bahan tersebut akan tereksitasi ke tingkat energy yang lebih rendah, sambil memancarkan sinar-x karakteristik. Sinar-x karakteristik ini ditangkap oleh detektor diubah ke dalam sinyal tegangan (*voltage*), diperkuat oleh Preamplifier dan dimasukkan ke analyzer untuk diolah datanya. (Siregar, 2017).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian yaitu dilakukan pada bulan Juni sampai dengan bulan Juli 2024. Adapun penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium dan Smelter Feronikel Pulau Obi, Maluku Utara

III.2 Alat dan Bahan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alur proses pada peralatan *rotary dryer*, *rotary kiln*, *electric furnace*, dan Thermogun, serta alat pengujian XRF di Laboratorium. Adapun bahan yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini adalah ore nikel laterit, ore kering, dan kalsin yang telah melewati tahap roasting dan reduction di *rotary dryer* dan *rotary kiln*.

III.3 Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan penelitian ini yaitu:

1. Penyimpanan ore dan pengujian kandungan mineralnya

Ore nikel laterit dari hasil penambangan akan dikumpulkan di gudang ore/raw material dan dilakukan pengujian sampel untuk mengetahui kandungan mineralnya sebelum di umpan ke dalam alur proses reduksi ke *rotary dryer*, *rotary kiln*, dan *furnace*

2. Proses pengeringan dan pengujian

Ore nikel laterit yang telah diumpankan dan melewati tahapan pengeringan di *rotary dryer* akan di ambil dan di uji di laboratorium untuk mengetahui kandungan Fe, Ni, dan kandungan lainnya serta suhu ore kering yang sudah sesuai standar.

3. Proses kalsinasi reduksi dan pengujian

Ore nikel laterit yang melewati tahapan pengeringan di *rotary dryer* akan diumpankan masuk kedalam *rotary kiln* untuk dilakukan pemanasan lanjutan dan penambahan semicoke yang bertujuan agar ore nikel laterit mengalami proses kalsinasi reduksi. Output dari *rotary kiln* yaitu kalsin akan masuk ke dalam *furnace*

dan sebagian di bawa ke Laboratorium untuk dilakukan pengujian kandungan Fe, Ni, dan mineral lainnya.

III.4 Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif yang mendeskripsikan objek dengan cara pengamatan dan penelitian langsung dilapangan. Pengambilan data dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

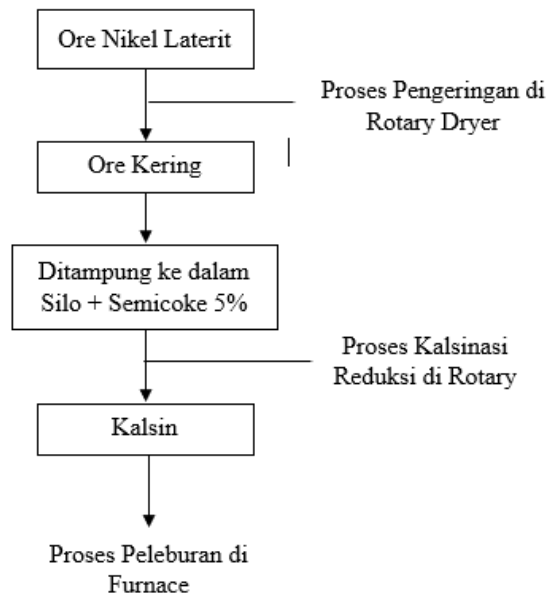
1. Data primer yaitu data yang diperoleh dari observasi secara langsung terhadap objek penelitian dilapangan dimana ada 3 sampel yang akan di uji.
2. Data sekunder yaitu data yang didapatkan dengan wawancara, pengawas lapangan, serta orang-orang yang berkompeten, dan melakukan studi pustaka terhadap literatur.

III.5 Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan data hasil analisis XRF yang di uji pada Laboratorium dengan mengetahui kadar nikel dan kadar logam lainnya yang terdapat pada sampel ore basah, ore kering, dan kalsin di Smelter A dan Smelter B.

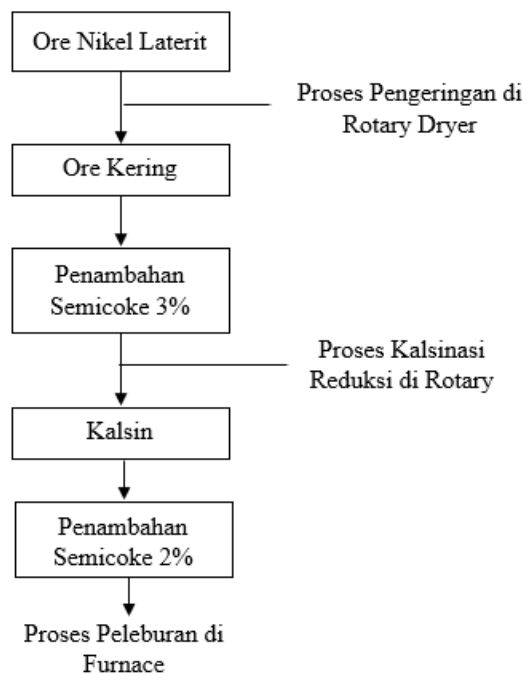
III.6 Bagan Alur Penelitian

1. Alur Proses Feronikel Smelter A



Gambar III. 1 Diagram alur proses Feronikel Smelter A

2. Alur Proses Feronikel Smelter B



Gambar III. 2 Diagram alur proses Feronikel Smelter B

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Smelter Feronikel yang ada di Maluku Utara data yang dapat dikumpulkan yaitu data bahan baku bijih nikel (ore basah), data tahapan proses *rotary dryer* (ore kering), dan data tahapan proses *rotary kiln* (kalsin) pada smelter A dan smelter B. Serta membahas proses yang terjadi antara alur proses smelter A dan smelter B setelah melewati *rotary dryer* dan *rotary kiln*, dengan hasil analisis di alur proses yang baik menurut lab dan dari data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

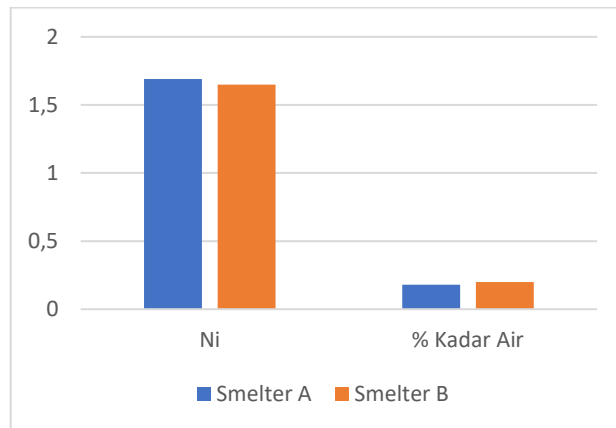
Tabel III.1 Hasil Pengujian Parameter Ore Basah

Sampel Ore Basah	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
Smelter A dan Smelter B	1.59	21.85	37.83	21.02	0.94	2.61

Dari tabel pengujian pada parameter ore basah bijih nikel yang di ambil dari penambangan sebelum di masukkan pada proses produksi bijih nikel di uji menggunakan alat untuk mendeteksi kandungan mineral dalam ore dan didapatkan beberapa kandungan Ni dan mineral lainnya seperti tabel diatas.

Tabel IV.2 Hasil Pengujian Parameter Ore Kering

Sampel Ore Kering	Ni	Suhu	% Kadar Air
Smelter A	1.69	248 °C	18%
Smelter B	1,65	237 °C	20%

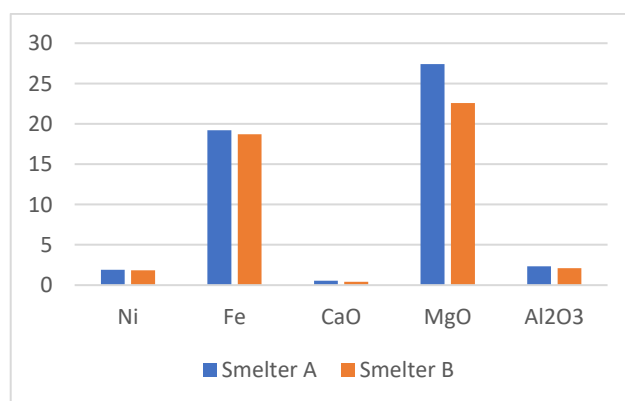


Gambar IV. 1 Grafik hasil pengujian parameter Ore Kering

Dari tabel dan grafik pengujian pada parameter ore kering yang telah melewati proses pengeringan dalam *Rotary dryer* sampel ore kering diambil setiap 1 jam selama 12 jam lalu dibawa ke bagian laboratorium untuk dilakukan pengujian dan didapatkan hasil seperti pada tabel diatas.

Tabel IV.3 Hasil Pengujian Parameter Kalsin

Sampel Kalsin	Ni	Fe	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Smelter A	1.91	19.2	0.56	27.4	2.34
Smelter B	1.83	18.7	0.42	22.6	2.11



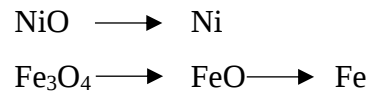
Gambar IV. 2 Grafik hasil pengujian parameter Kalsin

Dari tabel dan grafik pengujian pada parameter ore kering yang telah melewati proses pemanasan kalsinasi-reduksi dalam *Rotary kiln* sampel kalsin diambil setiap 1 jam selama 12 jam lalu dibawa ke bagian laboratorium untuk dilakukan pengujian dan didapatkan hasil kandungan Ni dan mineral lainnya seperti pada tabel diatas.

IV.2 Pembahasan

Dari 3 pengujian parameter di masing-masing smelter dapat dilihat hasil untuk parameter ore basah smelter A dan smelter B nilai kandungan nikel maupun mineral lainnya masuk dalam kategori bijih ore nikel laterite yang dapat diolah melalui proses *pirometalurgi* dalam tungku lebur furnace, adapun kandungan nikel dan mineral lainnya antara smelter A dan smelter B sama karena menggunakan satu jenis ore yang berasal dari pertambangan nikel yang ada di Maluku utara. Untuk parameter ore kering yang telah melewati proses pemanasan atau pengeringan dalam *rotary dryer* terlihat nilai kandungan Ni yang ada pada smelter A lebih tinggi dibandingkan di smelter B, hal yang mempengaruhi perbedaan dari kandungannya yaitu faktor dari pemanasan yang diberikan atau didapatkan pada ore yang masuk ke dalam *rotary dryer*, karena kurangnya sumber panas yang berasal dari *rotary kiln* yang memiliki suhu yang rendah dan tingginya kadar air sehingga masih banyak pengotor selain dari logam yang diinginkan, maka ketika sampel yang diambil dan di uji itu memiliki perbedaan namun dari kedua hasil analisa masih masuk dalam nilai standar untuk ore kering, dimana hasil output dari *rotary dryer* yang diharapkan mengurangi kadar air sebanyak 20-15%. Untuk parameter kalsin hasil dari proses pemanasan kalsinasi-reduksi di *rotary kiln* terlihat dari kadar nikel sebesar 1,91 dan 1,83 sudah masuk dalam kategori sebagai kadar nikel yang cukup tinggi untuk proses kalsinasi sebelum masuk ke dalam tungku furnace. Kualitas bijih nikel ini hampir sama dengan hasil bijih nikel yang dihasilkan dalam percobaan yang dilakukan oleh (Biswabandita dan Tapan, 2013) sebesar 1,82%. Pada hasil perbedaan nilai kandungan nikel di smelter A lebih tinggi dibanding smelter B salah satu faktor ada pada proses reduksinya, dikarenakan pemanasan ataupun pembakaran dari *rotary kiln* yang cukup sesuai kebutuhan dengan penambahan karbon atau semicoke sebagai reduktor, batubara ini mengandung unsur karbon

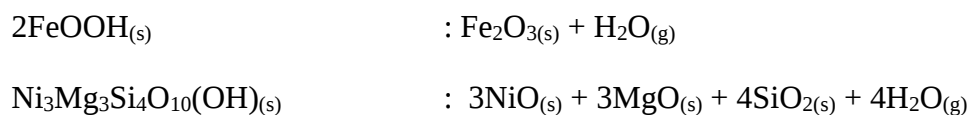
yang cukup untuk membentuk gas CO sebagai bahan reduktor. (Bunjaku, 2013). sehingga proses disosiasi mineral dalam *Rotary kiln* terjadi lebih banyak sehingga banyak kandungan mineral oksida yang terlepas seperti:



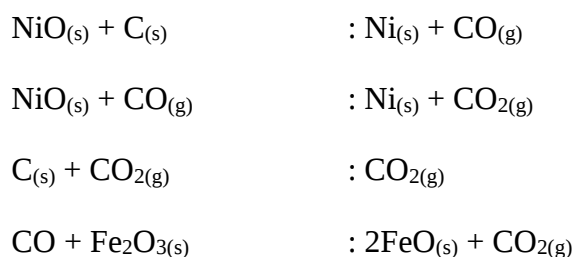
Karbon atau semicoke merupakan jenis reduktor yang paling banyak digunakan untuk reduksi bijih nikel karena jumlahnya yang sangat banyak. Salah satu proses yang sering digunakan yaitu produksi ferronikel Krupp-Renn process. Adapun produk yang terbentuk didinginkan, digerus, dipisahkan secara fisik dan terakhir pemisahan dengan magnetik. Produk akhir berupa partikel dengan ukuran 2 - 3 mm dengan komposisi Ni 18-22%. Peneliti lain yang melakukan hal yang mirip yaitu T. Watanabe, Beggs, Hoffman, Diaz.

Menurut (Canterford, 1975) Adapun reaksi kimia yang terjadi pada *Rotary kiln* sebagai berikut:

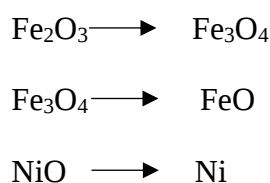
Pada temperatur sekitar 700 °C, disosiasi mineral-mineral dari bijih nikel laterit menjadi oksida dan uap air:

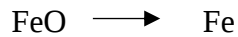


Reduksi oksida-oksida dengan batubara dan gas pada temperatur 800 °C



Reaksi kimia yang terjadi pada kalsin sebagai berikut:





Proses reduksi yang terjadi pada *Rotary kiln* yaitu mereduksi bijih nikel sehingga terjadi reaksi kimia seperti yang ada diatas dan dilanjutkan pemisahan magnetic sehingga kandungan Ni dalam bijih ore nikel akan meningkat. Selain dari penambahan karbon atau semicoke untuk menghasilkan kalsin dengan kandungan mineral yang diinginkan ada beberapa faktor kondisi proses produksi yang harus diperhatikan seperti suhu, ketika suhu dalam *rotary kiln* sangat tinggi akan beresiko munculnya kerak atau gumpalan yang menempel pada dinding castabel sehingga hasil kalsin berkurang dan semakin lama akan berdampak pada castabel yang mudah rusak, dan ketika suhu terlalu rendah juga maka proses reduksi dalam *Rotary kiln* tidak baik sehingga kandungan nikel yang ada pada kalsin tidak meningkat selain itu ketika suhu rendah masuk kedalam tungku *electric furnace* akan mengalami kesulitan berupa energi yang dikeluarkan lebih banyak dan kemungkinan berdampak terjadi ledakan atau hal-hal yang tidak diinginkan. Maka dari itu fungsi dari proses *Rotary kiln* ini pada metode RKEF sangat penting.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Didapatkan kadar nikel pada parameter sampel ore kering pada Smelter A sebesar 1,69 dan Smelter B 1,65. Untuk parameter sampel kalsin pada Smelter A sebesar 1,91 dan Smelter B sebesar 1,83. Adapun beberapa kandungan logam yang terkandung pada sampel seperti Fe pada sampel kalsin di Smelter A sebesar 19,2 dan Smelter B sebesar 18,7.
2. Pada desain alur proses produksi pada Smelter Feronikel berpengaruh terhadap pada kandungan/kadar nikel ini dapat dilihat dari hasil pengujian kadar nikel yaitu Smelter A memiliki kadar nikel yang besar dibandingkan di Smelter B. Dimana salah satu faktor ada pada komposisi atau banyaknya penambahan semicoke/karbon yang berfungsi sebagai reduktor dalam proses kalsinasi pada *Rotary kiln*

V.2 Saran

Adapun saran yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya menambahkan lebih dari 2 sampel agar perbandingan kadar nikel pada sampel lebih variatif.
2. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya menambahkan variasi semicoke agar mengetahui kebutuhan ore laterit dan semicoke pada proses kalsinasi reduksi dalam *Rotary kiln*.
3. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya mencari tau apakah ada perlakuan atau penambahan bahan untuk meningkatkan kadar nikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aal, E. A., & Rashad, M. M. (2004). Kinetic study on the leaching of spent nickel oxide catalyst with sulfuric acid. *Hydrometallurgy*, 74(3–4), 189–194. <https://doi.org/10.1016/J.HYDROMET.2004.03.005>
- Arinaldo, P. (2016). *Pelindian Bijih Laterit dengan Asam Klorida*. 1–73.
- Biswabandita, K dan Tapan K. P. 2013. Preparation of Metallic Nickel Nugget from Laterite Ore and its Comparison with Synthetic Oxidic System, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, Vol. 3, Issue 2, August.
- Bunjaku, A, 2013. The effect of mineralogy, sulphur, and reducing gases on the reducibility of saprolitic nickel ores, Alto University publication series, Doctoral Dissertations 18.2013
- Dalvi D.A, W. G. B. and Robert C. Osborne. 2004. The Past and the Future of Nickel Laterites Paper presented at the British Library Conference Proceedings, Hobart.
- Hidayat, T. (2019). Sosiologi Pengelolaan Sumberdaya Mineral di Indonesia. *Junal Kelitbangan*, 7(3), 275–286.
- Isjudarto, A. (2013). PEMBENTUKAN NIKEL LATERIT A . Isjudarto Program Studi Teknik Pertambangan STTNAS Jalan Babarsari Caturtunggal , Depok , Sleman email : isjudarto0911@gmail.com. *SEMINAR NASIONAL Ke 8 Tahun 2013: Rekayasa Teknolgi Industri Dan Informasi*, 10–14.
- Kyle, J. H. (2015). *to next ? In : ALTA 2010 Nickel / Cobalt / Copper Conference , 24 - 27 May , Perth , Western Australia . May 2010.*
- L E Hetherington, T J Brown, A J Benham, P A J Lusty, N. E. I. T. support: A. C. M. (2007). World Mineral Production. In *British Geological Survey*.
- Moskalyk, R.R, Alfantazi, A.M., 2002. Nickel laterite processing and electrowinning practice. *Miner. Eng.* 15, 593–605.
- Rodrigues, F.M., 2013. Investigation into the thermal upgrading of nickel ferrous laterite ore, A thesis submitted to the Robert M. Buchan, Department of Mining In conformity with the requirements for The degree of Master of Applied Science Queen’s University Kingston, Ontario, Canada (December).
- Setiawan, I. (2016) ‘Pengolahann Nikel Laterit secara *Pirometalurgi*: Kini dan Penelitian Kedepan’, Prosiding Semnastek (Seminar Nasional Sains dan Teknologi), 1(November), pp. 1–7.
- Siregar, N. K. (2017). *Ekstraksi Nikel Laterit Soroako Menggunakan Asam Sulfat*. 1–58.
- Subagja, R., Prasetyo, A. B., & Sari, W. M. (2016). Peningkatan Kadar Nikel Dalam Laterit Jenis Limonit Dengan Cara Peletasi, Pemanggangan Reduksi Dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih, Batu Bara, Dan Na₂SO₄ [Upgrading of Nickel Content in The Limonitic Laterite Ores by Pelletizing, Reduction Roasting and Ma. *Metalurgi*, 31(2), 103. <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v31i2.156>
- Sukandarrumidi. 1999. Bahan Galian Industri. Gadjah Mada University Press.

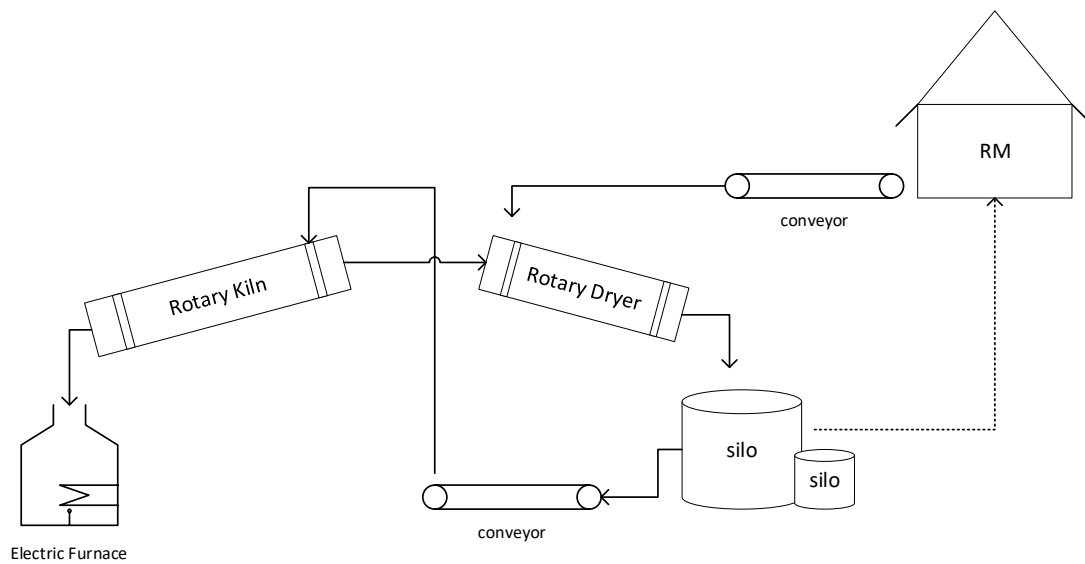
Yogyakarta. p.51

Tom Bride, L. H. dan G. gunn dan T. S. A. minks. (2008). *Definition, mineralogy and deposits. September.*

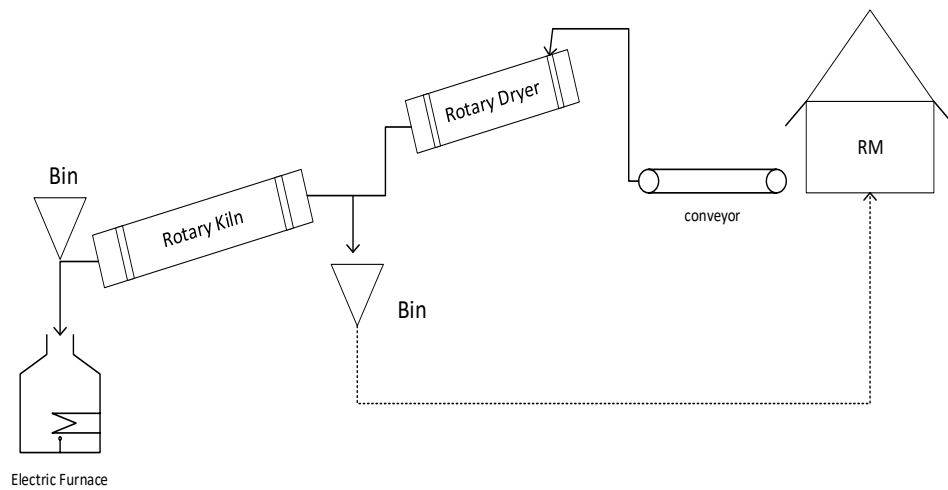
LAMPIRAN

Lampiran A Skema Alur Proses Feronikel

II.1 Skema Alur Proses Feronikel Smelter A



II.2 Skema Alur Proses Feronikel Smelter B



Lampiran B Dokumentasi Penelitian

1. Alur Proses Feronikel



Ore Nikel Laterit



Proses Pengeringan
di rotary dryer



Proses Kalsinasi di
rotary kiln

2. Proses pengambilan dan pengujian sampel pada alat XRF



Lampiran C Artikel Ilmiah

1. Lampiran Artikel Ilmiah Diseminasi I



Jurnal Knowledge Applied Theory Chemical Sustainability
(KINETICS)



ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN PROSES PRODUKSI TERHADAP PENGARUH KADAR NIKEL DI SMELTER FERONIKEL

COMPARATIVE ANALYSIS OF PRODUCTION PROCESS DESIGNS ON THE EFFECT OF NICKEL CONTENT IN FERRONICKEL SMELTERS

Riswan Asri, Sinardi

Program studi Teknik Kimia, Universitas Fajar. Jln. Prof. Abdurrahman Basalama No.
101, Makassar

e-mail koresponden: riswanasri08@gmail.com

Abstrak

Negara Indonesia saat ini adalah penghasil cadangan nikel terbesar didunia. Pada proses peleburan nikel dengan kategori dari bijih laterite biasanya digunakan untuk membuat nikel matte, feronikel, atau logam nikel. Bijih nikel laterite terbagi 2 jenis yaitu jenis saprolite dan limonite. Jenis nikel laterite yang memiliki kadar Ni yang tinggi dapat diolah melalui proses *pirometalurgi* dan untuk kadar Ni yang rendah dapat diolah menjadi melalui proses *hydrometalurgi*. Pembuatan feronikel saat ini yang banyak digunakan di Indonesia yaitu menggunakan metode (RKEF) *Rotary kiln Electric furnace*. Bijih ore nikel laterit yang diambil dari area penambangan akan dibawa dan disimpan dalam gudang bijih ore basah dengan kandungan air bebas sekitar 30-40%, lalu akan dibawa melalui proses pemanasan terlebih dahulu pada tanur pengering *rotary dryer* hingga kandungan air sisa berkurang minimal 20% dan maksimal 15%. Lalu dilakukan proses pemanasan lanjutan dan penambahan karbon atau *semicoke* di *Rotary kiln*. Di dalam *Rotary kiln* akan mengalami proses kalsinasi-reduksi, dimana proses kalsinasi merupakan proses pengeringan lanjutan pada tanur reduksi *rotary kiln* dengan penambahan karbon yang dimana diharapkan terjadi proses disosiasi mineral untuk menghilangkan kandungan air dari 20 – 15% hingga menjadi yang diinginkan 0%. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kandungan kadar Ni pada bijih ore nikel dan menghindari terjadinya ledakan – ledakan yang tidak diinginkan ketika kalsin ini akan dileburkan dalam tungku furnace. Objek yang diteliti yaitu jenis ore nikel laterite hasil tambang, ore kering yang telah melewati proses pengering di *dryer kiln* dan ore yang telah menjadi kalsin setelah melewati tanur reduksi *rotary kiln*.

Kata Kunci: Biji Nikel Laterite, Dryer kiln, Rotary kiln Reduksi, Kalsinasi

Abstract

Indonesia is currently the largest producer of nickel reserves in the world. In the nickel smelting process with the category of laterite ore is usually used to make nickel matte, ferronickel, or nickel metal. Laterite nickel ore is divided into 2 types, namely saprolite

and limonite. The type of laterite nickel that has a high Ni content can be processed through a pyrometallurgical process and for low Ni content can be processed through a hydrometallurgical process. The manufacture of ferronickel currently widely used in Indonesia is using the (RKEF) Rotary kiln Electric furnace method. Laterite nickel ore taken from the mining area will be taken and stored in a wet ore warehouse with a free water content of around 30-40%, then will be taken through a heating process first in a rotary dryer until the remaining water content is reduced by a minimum of 20% and a maximum of 15%. Then the further heating process and the addition of carbon or semicoke are carried out in the Rotary kiln. Inside the Rotary kiln will undergo a calcination-reduction process, where the calcination process is a further drying process in the rotary kiln reduction furnace with the addition of carbon which is expected to cause a mineral dissociation process to remove water content from 20-15% to the desired 0%. This process aims to increase the Ni content in nickel ore and avoid unwanted explosions when this calcine is melted in the furnace. The objects studied were the types of laterite nickel ore from mining, dry ore that had gone through a drying process in the dryer kiln and ore that had become calcine after passing through the rotary kiln reduction furnace.

Keywords: Laterite Nickel Ore, Dryer kiln, Rotary kiln Reduction, Calcination

1. Pendahuluan

Nikel merupakan suatu unsur yang digunakan sebagai paduan utama dalam pembuatan material stainless steel yang mengalami pertumbuhan dengan cepat karena banyaknya permintaan dan penggunaan industri yang menggunakan stainless steel. Saat ini kurang lebih 65% nikel digunakan untuk industri stainless steel dan sebanyak 12% digunakan untuk industri manufaktur super alloy atau nonferrous alloy, (Moskalyk, Johnson). Di Indonesia saat ini merupakan salah satu negara penghasil nikel terbanyak didunia dengan jenis laterite yang banyak dapat ditemukan didaerah sulawei dan maluku. Dalam pembuatan nikel terdapat dua jenis bijih nikel yaitu nikel laterite dan nikel sulfida yang memiliki karakteristik dan cara pengolahan yang berbeda. Karena banyaknya limpahan cadangan nikel jenis laterite di indonesia maka perkembangan pembangunan industri smelter nikel di Indonesia banyak dengan melalui proses *pirometalurgi*. Biji nikel laterite yang memiliki kandungan Ni yang rendah umumnya diproses melalui jalur proses *hydrometalurgi* yang menghasilkan nikel sebagai bahan baku pembuatan baterai dan untuk nikel laterite dengan kandungan Ni yang cukup tinggi sebaiknya akan diproses melalui jalur *pyrometalurgi*. Subagja et al, (2016).

Pada proses pembuatan ferronikel dari bijih nikel laterit dengan jalur *pirometalurgi* saat ini banyak dibangun di smelter di Indonesia. Dalam proses *pirometalurgi* ini menggunakan metode *Rotary kiln-electric furnace* yang memerlukan energi yang sangat tinggi, karena biji nikel ini akan melewati beberapa proses pengeringan dan pembakaran lalu dilebur dalam tungku yang menghasilkan sejumlah produk feronikel dan buangan berupa *slag*. Dari metode ini telah teruji kemampuannya karena dapat beradaptasi dengan berbagai macam kandungan nikel dalam bijihnya. Proses reduksi-kalsinasi ini langsung dari bijihnya yang diperkirakan akan mengkonsumsi energi lebih rendah karena hanya menggunakan *Rotary dryer* dan *Rotary kiln* untuk menghasilkan bijih nikel yang telah

teroksidasi atau kalsin, prosesnya bisa disebut juga sebagai peningkatan kadar FeNi secara thermal. Rodrigues, (2013). Adapun beberapa peneliti yang pernah mencoba model penelitian ini antara lain. Liu dkk, (2010), Bo Li dkk,(2011).

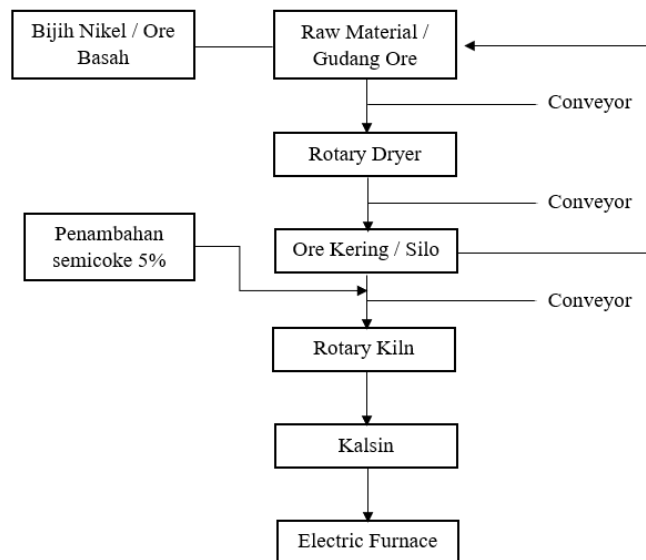
Proses pengolahan feronikel RKEF ini diawali dengan tahapan proses pengeringan untuk menghilangkan kandungan air dalam bijih nikel yang berkisar sekitar 35%. Bijih nikel laterite dikeringkan pada temperatur dibawah 250°C dalam *Rotary dryer* hingga kandungan air mencapai 15-20% agar pada saat diumpan kedalam *Rotary kiln* tidak lengket pada silo atau belt conveyor dan juga tidak terlalu berdebu. Dalam proses kalsinasi bijih nikel yang telah melalui tahapan pengeringan akan dicampur dengan karbon atau *semicoke* sebagai reduktor dalam *Rotary kiln* agar terjadi proses kalsinasi pada suhu 800-900°C. Tujuan dari proses reduksi ini yaitu untuk meningkatkan kandungan mineral seperti Fe dan Ni dalam bijih nikel laterit dengan cara mereduksi bijih sehingga terjadi reaksi kimia dan terjadi reaksi reduksi seperti Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} dan NiO menjadi Ni yang dilanjutkan pemisahan magnetic sehingga kandungan Ni akan meningkat. Setelah melewati proses di *Rotary kiln* kalsin akan dimasukkan kedalam tungku atau tanur listrik untuk dilebur, didalam proses peleburan terjadi reaksi kimia yaitu proses reduksi nikel dan besi oksida akan menjadi nikel, pelelehan dan pelarutan nikel dalam feronikel dan pemisahan feronikel dari slag. Setiawan, (2016).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di area smelter pertambangan nikel di daerah Maluku Utara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kualitatif dengan mendeskripsikan objek dengan cara pengamatan dan penelitian langsung dilapangan. Pengambilan data dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

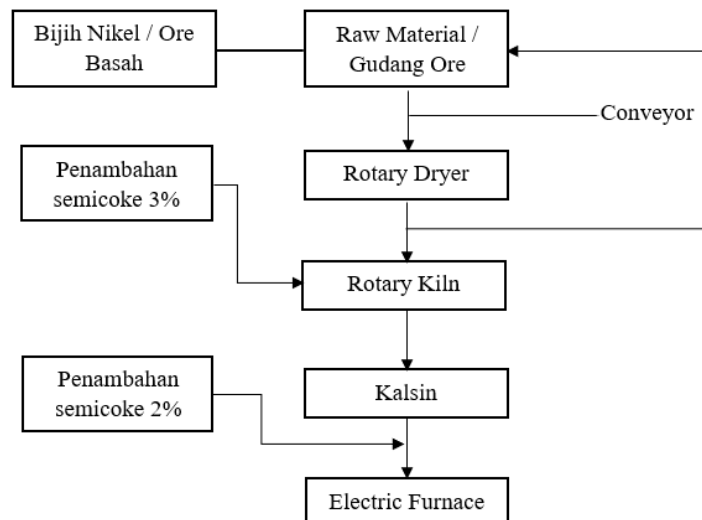
3. Data primer diperoleh dari observasi secara langsung terhadap objek penelitian dilapangan dimana ada 3 parameter yang akan diamati.
 - Pengujian sampel ore basah
 - Pengujian sampel ore kering
 - Pengujian sampel kalsin
4. Data sekunder didapatkan dengan tahap seperti wawancara, komunikasi dengan pengawas lapangan, serta orang-orang yang berkompeten, dan melakukan studi pustaka terhadap literatur.

Untuk mengetahui bagaimana perbedaan alur proses smelter feronikel yang terdapat di Maluku Utara berikut gambar dibawah ini Gambar 1 dan Gambar 2 . Dan dalam alur proses smelter feronikel akan diambil 3 parameter sampel yaitu ore basah, ore kering, dan kalsin. Setelah masing-masing sampel di ambil lalu dibawah ke Dept. Lab untuk dilakukan analisa guna mendapatkan kadar logam yang diinginkan.



Gambar 1. Alur Proses Feronikel Smelter A

Dari gambar alur proses diatas dapat dibuat sebuah ringkasan tahapan proses yaitu, bijih ore nikel yang telah disimpan di Raw Material dengan kadar air sekitar 30-40% akan masuk kedalam *Rotary dryer* untuk proses pemanasan atau pengeringan yang diharapkan kadar air pada bijih ore nikel hingga minimal 20% dan maksimal 15% kemudian bijih nikel dimasukkan dan ditampung kedalam silo menggunakan conveyor. Pada saat ingin di umpan kedalam *Rotary kiln* menggunakan conveyor ore kering akan dicampur atau ditambahkan karbon atau semicoke agar mengalami proses kalsinasi-reduksi untuk menghilangkan sisa kandungan air yang tersisa dan air kristal dengan kandungan air yang diharapkan 0%, penambahan carbon atau semicoke ini sebagai agen pereduksi untuk meningkatkan kandungan Ni pada bijih ore nikel. Kemudian hasil proses dari *Rotary kiln* yaitu kalsin akan di umpan masuk kedalam Furnace. Dalam Furnace yaitu proses reduksi nikel yang tersisa dan pemisahaan antara feronikel dari hasil sampingannya berupa slag besi magnesium silikat.



Gambar 2. Alur Proses Feronikel Smelter B

Dari gambar alur proses diatas dapat dibuat sebuah ringkasan tahapan proses yaitu, bijih ore nikel yang telah disimpan di Raw Material dengan kadar air sekitar 30-40% akan masuk kedalam *Rotary dryer* untuk proses pemanasan atau pengeringan yang diharapkan kadar air pada bijih ore nikel hingga minimal 20% dan maksimal 15%. Setelah melewati proses pengeringan bijih ore nikel langsung di umpan masuk kedalam *Rotary kiln* dan ditambahkan karbon atau semicoke secara bersamaan agar mengalami proses kalsinasi-reduksi untuk menghilangkan sisa kandungan air yang tersisa dan air kristal dengan kandungan air yang diharapkan 0%, penambahan carbon atau semicoke ini sebagai agen pereduksi untuk meningkatkan kandungan Ni pada bijih ore nikel. Kemudian hasil proses dari *Rotary kiln* yaitu kalsin akan di umpan masuk dan dilakukan penambahan karbon atau semicoke sebelum masuk kedalam Furnace. Dalam Furnace yaitu proses reduksi nikel yang tersisa dan pemisahan antara feronikel dari hasil sampingannya berupa slag besi magnesium silikat.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Smelter Feronikel yang ada di Maluku Utara data yang dapat dikumpulkan yaitu data bahan baku bijih nikel (ore basah), data tahapan proses *Rotary dryer* (ore kering), dan data tahapan proses *Rotary kiln* (kalsin) pada smelter A dan smelter B. Serta membahas proses yang terjadi antara alur proses smelter A dan smelter B setelah melewati *Rotary dryer* dan *Rotary kiln*, dengan hasil analisis di alur proses yang baik menurut lab dan dari data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil pengujian parameter Ore Basah

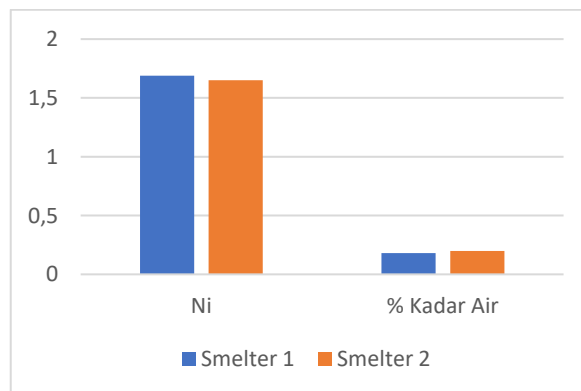
Sampel Ore Basah	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
Smelter A dan Smelter B	1.59	21.85	37.83	21.02	0.94	2.61

Dari tabel pengujian pada parameter ore basah bijih nikel yang di ambil dari penambangan sebelum di masukkan pada proses produksi bijih nikel di uji menggunakan alat untuk mendeteksi kandungan mineral dalam ore dan didapatkan beberapa kandungan Ni dan mineral lainnya seperti tabel diatas.

Tabel 2. Hasil pengujian parameter Ore Kering

Sampel Ore Kering	Ni	Suhu	% Kadar Air
Smelter A	1.69	248 °C	18%
Smelter B	1,65	237 °C	20%

Gambar 3. Grafik hasil pengujian parameter Ore Kering

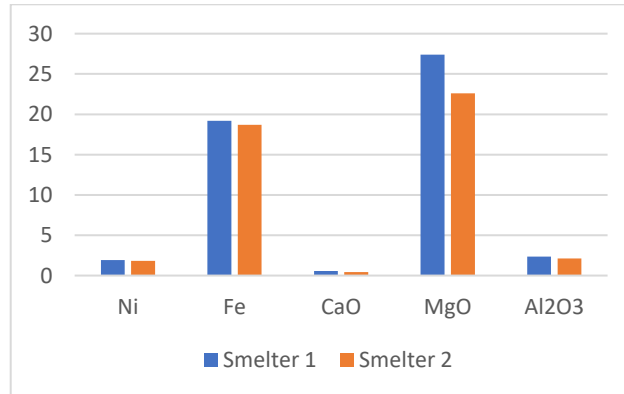


Dari tabel dan grafik pengujian pada parameter ore kering yang telah melewati proses pengeringan dalam *Rotary dryer* sampel ore kering diambil setiap 1 jam selama 12 jam lalu dibawa ke bagian laboratorium untuk dilakukan pengujian dan didapatkan hasil seperti pada tabel diatas.

Tabel 3. Hasil pengujian parameter Kalsin

Sampel Kalsin	Ni	Fe	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Smelter A	1.91	19.2	0.56	27.4	2.34
Smelter B	1.83	18.7	0.42	22.6	2.11

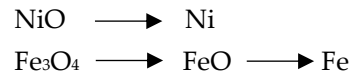
Gambar 4. Grafik hasil pengujian parameter Kalsin



Dari tabel dan grafik pengujian pada parameter ore kering yang telah melewati proses pemanasan kalsinasi-reduksi dalam *Rotary kiln* sampel kalsin diambil setiap 1 jam selama 12 jam lalu dibawa ke bagian laboratorium untuk dilakukan pengujian dan didapatkan hasil kandungan Ni dan mineral lainnya seperti pada tabel diatas.

Dari 3 pengujian parameter di masing-masing smelter dapat dilihat hasil untuk parameter ore basah smelter A dan smelter B nilai kandungan nikel maupun mineral lainnya masuk dalam kategori bijih ore nikel laterite yang dapat diolah melalui proses *pirometalurgi* dalam tungku lebur furnace, adapun kandungan nikel dan mineral lainnya antara smelter A dan smelter B sama karena menggunakan satu jenis ore yang berasal dari pertambangan nikel yang ada di Maluku utara. Untuk parameter ore kering yang telah melewati proses pemanasan atau pengeringan dalam *rotary dryer* terlihat nilai kandungan Ni yang ada pada smelter A lebih tinggi dibandingkan di smelter B, hal yang mempengaruhi perbedaan dari kandungannya yaitu faktor dari pemanasan yang diberikan atau didapatkan pada ore yang masuk kedalam *rotary dryer*, karena kurangnya sumber panas yang berasal dari *rotary kiln* yang memiliki suhu yang rendah dan tingginya kadar air sehingga masih banyak pengotor selain dari logam yang diinginkan, maka ketika sampel yang diambil dan di uji itu memiliki perbedaan namun dari kedua hasil analisa masih masuk dalam nilai standar untuk ore kering, dimana hasil output dari *rotary dryer* yang diharapkan mengurangi kadar air sebanyak 20-15%. Untuk parameter kalsin hasil dari proses pemanasan kalsinasi-reduksi di *rotary kiln* terlihat dari kadar nikel sebesar 1,91 dan 1,83 sudah masuk dalam kategori sebagai kadar nikel yang cukup tinggi untuk proses kalsinasi sebelum masuk kedalam tungku furnace. Kualitas bijih nikel ini hampir sama dengan hasil bijih nikel yang dihasilkan dalam percobaan yang dilakukan oleh Biswabandita dan Tapan,(2013) sebesar 1,82%. Pada hasil perbedaan nilai kandungan nikel di smelter A lebih tinggi dibanding smelter B salah satu faktor ada pada proses reduksinya, dikarenakan pemanasan ataupun pembakaran dari *rotary kiln* yang cukup sesuai kebutuhan dengan penambahan karbon atau semicoke sebagai reduktor, batubara ini mengandung unsur karbon yang cukup untuk membentuk gas CO sebagai bahan

reduktor. Bunjaku,(2013). sehingga proses disosiasi mineral dalam *Rotary kiln* terjadi lebih banyak sehingga banyak kandungan mineral oksida yang terlepas seperti:



Karbon atau semicoke merupakan jenis reduktor yang paling banyak digunakan untuk reduksi bijih nikel karena jumlahnya yang sangat banyak. Salah satu proses yang sering digunakan yaitu produksi ferronikel Krupp-Renn process. Adapun produk yang terbentuk didinginkan, digerus, dipisahkan secara fisik dan terakhir pemisahan dengan magnetik. Produk akhir berupa partikel dengan ukuran 2 - 3 mm dengan komposisi Ni 18-22%. Peneliti lain yang melakukan hal yang mirip yaitu T. Watanabe, Beggs, Hoffman, Diaz.

Menurut Canterford, (1975) Adapun reaksi kimia yang terjadi pada *Rotary kiln* sebagai berikut:

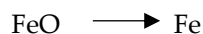
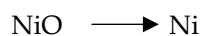
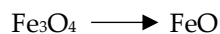
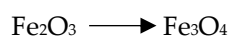
- Pada temperatur sekitar 700 °C, disosiasi mineral-mineral dari bijih nikel laterit menjadi oksida dan uap air:



- Reduksi oksida-oksida dengan batubara dan gas pada temperatur 800 °C



Reaksi kimia yang terjadi pada kalsin sebagai berikut:



Proses reduksi yang terjadi pada *Rotary kiln* yaitu mereduksi bijih nikel sehingga terjadi reaksi kimia seperti yang ada diatas dan dilanjutkan pemisahan magnetic sehingga kandungan Ni dalam bijih ore nikel akan meningkat. Selain dari penambahan karbon atau semicoke untuk menghasilkan kalsin dengan kandungan mineral yang diinginkan ada beberapa faktor kondisi proses produksi yang harus diperhatikan seperti suhu, ketika suhu dalam *rotary kiln* sangat tinggi akan beresiko munculnya kerak atau gumpalan yang menempel pada dinding castabel sehingga

hasil kalsin berkurang dan semakin lama akan berdampak pada castabel yang mudah rusak, dan ketika suhu terlalu rendah juga maka proses reduksi dalam *Rotary kiln* tidak baik sehingga kandungan nikel yang ada pada kalsin tidak meningkat selain itu ketika suhu rendah masuk kedalam tungku *electric furnace* akan mengalami kesulitan berupa energi yang dikeluarkan lebih banyak dan kemungkinan berdampak terjadi ledakan atau hal-hal yang tidak diinginkan. Maka dari itu fungsi dari proses *Rotary kiln* ini pada metode RKEF sangat penting.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode kualitatif yaitu dengan cara pengamatan dan penelitian langsung dilapangan. Adapun hasil yang didapatkan dari beberapa pengujian parameter yaitu berupa sampel dari ore basah, ore kering, dan kalsin didapatkan nilai kandungan Ni pada kalsin di smelter 1 lebih tinggi dibandingkan pada smelter 2 karena salah satu faktor yang membedakan terdapat pada penambahan karbon atau semicoke yang dimana semicoke sebagai agen pereduksi yang berfungsi untuk meningkatkan kandungan nikel pada bijih nikel.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih di sampaikan kepada penanggung jawab produksi, operator dan analis lab yang berada di kawasan smelter feronikel atas peran dalam menerima dan membantu dalam pengujian yang telah saya lakukan serta kesediaannya sebagai tempat konsultasi dalam mengambil data sehingga pengujian ini dapat terselesaikan dengan baik dan sesuai target yang telah direncanakan.

Daftar Pustaka

- Biswabandita, K dan Tapan K. P. 2013. Preparation of Metallic Nickel Nugget from Laterite Ore and its Comparison with Synthetic Oxidic System, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Vol. 3, Issue 2, August.
- Bunjaku, A, 2013. The effect of mineralogy, sulphur, and reducing gases on the reducibility of saprolitic nickel ores, Alto University publication series, Doctoral Dissertations 18.2013
- Cartman, R. 2010. An overview of the future production and demand of ferronickel, Informa Mining and Metals, 2nd Euro Nickel Conference, 18 – 19th March, 24 pages.
- Dalvi D. A, W.G.B. and Robert C. Osborne. 2004. The Past and Future Of Nikel Laterite Paper presented at the British Library Conference Proceedings, Hobart.
- Johnson, Jeremiah, Reck, B.K, Wang, T., Graedel, T.E. 2008. The energy benefit of stainless steel recycling. Energy policy 36 (1), 181–192.
- Moskalyk, R.R, Alfantazi, A.M., 2002. Nickel laterite processing and electrowinning practice. Miner. Eng. 15, 593–605.
- Rodrigues, F.M., 2013. Investigation into the thermal upgrading of nickel ferrous laterite ore, A thesis submitted to the Robert M. Buchan, Department of Mining In conformity with the requirements for The degree of Master of Applied Science Queen's University Kingston, Ontario, Canada (December).
- Setiawan, I. (2016). Pengolahan Nikel Laterit secara *Pirometalurgi*: Kini dan Penelitian Kedepan, Prosiding Semnastek (Seminar Nasional Sains dan Teknologi), 1 Nov, PP. 1-7
- Subagja, R.A Prasetyo, A. B, & Sari, W. M. (2016). Peningkatan Kadar Nikel dalam Laterit jenis Limonit dengan cara Peletasi, Pemangangan Reduksi dan Pemisahan Magnet Campuran

- Bijih, Batu Bara, Dan Na_2SO_4 [Upgrading of Nickel Content in The Limonitic Laterite Ores by Pelletizing, Reduction Roasting and Ma Metalurgi, 31 (2)
- T. Watanabe, Sadao, Direct Reduction of Garnierite Ore for Production of Ferronickel with a *Rotary kiln* at Nippon Yakin Kogyo Co., Ltd., Oheyama Works, International Journal of Mineral Processing, 19 (1987) 173-187.

2. Lampiran Artikel Ilmiah Diseminasi II

INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume x Nomor x Tahun 2024 Page xx

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN PROSES PRODUKSI TERHADAP PENGARUH KADAR NIKEL DI SMELTER FERONIKEL MALUKU UTARA

Riswan Asri¹, Sinardi²

^{1,2}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Fajar Makassar,
Indonesia

Email: riswanasri08@gmail.com

Abstrak

Negara Indonesia saat ini adalah penghasil cadangan nikel terbesar didunia. Pada proses peleburan nikel dengan kategori dari bijih laterite biasanya digunakan untuk membuat nikel matte, ferronikel, atau logam nikel. Bijih nikel laterite terbagi 2 jenis yaitu jenis saprolite dan limonite. Jenis nikel laterite yang memiliki kadar Ni yang tinggi dapat diolah melalui proses *pirometalurgi* dan untuk kadar Ni yang rendah dapat diolah menjadi melalui proses *hydrometalurgi*. Pembuatan feronikel saat ini yang banyak digunakan di Indonesia yaitu menggunakan metode (RKEF) *Rotary kiln Electric furnace*. Bijih ore nikel laterit yang diambil dari area penambangan akan dibawa dan disimpan dalam gudang bijih ore basah dengan kandungan air bebas sekitar 30-40%, lalu akan dibawa melalui proses pemanasan terlebih dahulu pada tanur pengering *rotary dryer* hingga kandungan air sisa berkurang minimal 20% dan maksimal 15%. Lalu dilakukan proses pemanasan lanjutan dan penambahan karbon atau *semicoke* di *Rotary kiln*. Di dalam *Rotary kiln* akan mengalami proses kalsinasi-reduksi, dimana proses kalsinasi merupakan proses pengeringan lanjutan pada tanur reduksi *rotary kiln* dengan penambahan karbon yang dimana diharapkan terjadi proses

disosiasi mineral untuk menghilangkan kandungan air dari 20 – 15% hingga menjadi yang diinginkan 0%. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kandungan kadar Ni pada bijih ore nikel dan menghindari terjadinya ledakan – ledakan yang tidak diinginkan ketika kalsin ini akan dileburkan dalam tungku furnace. Objek yang diteliti yaitu jenis ore nikel laterite hasil tambang, ore kering yang telah melewati proses pengering di *dryer kiln* dan ore yang telah menjadi kalsin setelah melewati tanur reduksi *rotary kiln*.

Kata Kunci: Bijih Nikel *Laterite*, *Dryer kiln*, *Rotary kiln* Reduksi, Kalsinasi.

Abstract

Indonesia is currently the largest producer of nickel reserves in the world. In the nickel smelting process with the category of laterite ore is usually used to make nickel matte, ferronickel, or nickel metal. Laterite nickel ore is divided into 2 types, namely saprolite and limonite. The type of laterite nickel that has a high Ni content can be processed through a pyrometallurgical process and for low Ni content can be processed through a hydrometallurgical process. The manufacture of ferronickel currently widely used in Indonesia is using the (RKEF) Rotary kiln Electric furnace method. Laterite nickel ore taken from the mining area will be taken and stored in a wet ore warehouse with a free water content of around 30-40%, then will be taken through a heating process first in a rotary dryer until the remaining water content is reduced by a minimum of 20% and a maximum of 15%. Then the further heating process and the addition of carbon or semicoke are carried out in the Rotary kiln. Inside the Rotary kiln will undergo a calcination-reduction process, where the calcination process is a further drying process in the rotary kiln reduction furnace with the addition of carbon which is expected to cause a mineral dissociation process to remove water content from 20-15% to the desired 0%. This process aims to increase the Ni content in nickel ore and avoid unwanted explosions when this calcine is melted in the furnace. The objects studied were the types of laterite nickel ore from mining, dry ore that had gone through a drying process in the dryer kiln and ore that had become calcine after passing through the rotary kiln reduction furnace.

Keyword: *Laterite Nickel Ore, Dryer kiln, Rotary kiln Reduction, Calcination.*

PENDAHULUAN

Nikel merupakan suatu unsur yang digunakan sebagai paduan utama dalam pembuatan material stainless steel yang mengalami pertumbuhan dengan cepat karena banyaknya permintaan dan penggunaan industri yang menggunakan stainless steel. Saat ini kurang lebih 65% nikel digunakan untuk industri stainless steel dan sebanyak 12% digunakan untuk industri manufaktur super alloy atau nonferrous alloy, (Moskalyk, Johnson). Di Indonesia saat ini merupakan salah satu negara penghasil nikel terbanyak didunia dengan jenis laterite yang banyak dapat ditemukan didaerah sulawesi dan maluku. Dalam pembuatan nikel terdapat dua jenis bijih nikel yaitu nikel laterite dan nikel sulfida yang memiliki karakteristik dan cara pengolahan yang berbeda. Karena banyaknya limpahan cadangan nikel jenis laterite di indonesia maka perkembangan pembangunan industri smelter nikel di Indonesia banyak dengan melalui proses *pirometalurgi*. Bijih nikel laterite yang memiliki kandungan Ni yang

rendah umumnya diproses melalui jalur proses *hydrometalurgi* yang menghasilkan nikel sebagai bahan baku pembuatan baterai dan untuk nikel laterite dengan kandungan Ni yang cukup tinggi sebaiknya akan diproses melalui jalur *pyrometalurgi*. Subagja et al, (2016).

Pada proses pembuatan feronikel dari bijih nikel laterit dengan jalur *pirometalurgi* saat ini banyak dibangun di smelter di Indonesia. Dalam proses *pirometalurgi* ini menggunakan metode *Rotary kiln-electric furnace* yang memerlukan energi yang sangat tinggi, karena biji nikel ini akan melewati beberapa proses pengeringan dan pembakaran lalu dilebur dalam tungku yang menghasilkan sejumlah produk feronikel dan buangan berupa *slag*. Dari metode ini telah teruji kemampuannya karena dapat beradaptasi dengan berbagai macam kandungan nikel dalam bijihnya. Proses reduksi-kalsinasi ini langsung dari bijihnya yang diperkirakan akan mengkonsumsi energi lebih rendah karena hanya menggunakan *Rotary dryer* dan *Rotary kiln* untuk menghasilkan bijih nikel yang telah teroksidasi atau kalsin, prosesnya bisa disebut juga sebagai peningkatan kadar FeNi secara thermal. Rodrigues, (2013). Adapun beberapa peneliti yang pernah mencoba model penelitian ini antara lain. Liu dkk, (2010), Bo Li dkk,(2011).

Proses pengolahan feronikel RKEF ini diawali dengan tahapan proses pengeringan untuk menghilangkan kandungan air dalam bijih nikel yang berkisar sekitar 35%. Bijih nikel laterite dikeringkan pada temperatur dibawah 250°C dalam *Rotary dryer* hingga kandungan air mencapai 15-20% agar pada saat diumpan kedalam *Rotary kiln* tidak lengket pada silo atau belt conveyor dan juga tidak terlalu berdebu. Dalam proses kalsinasi bijih nikel yang telah melalui tahapan pengeringan akan dicampur dengan karbon atau *semicoke* sebagai reduktor dalam *Rotary kiln* agar terjadi proses kalsinasi pada suhu 800-900°C. Tujuan dari proses reduksi ini yaitu untuk meningkatkan kandungan mineral seperti Fe dan Ni dalam bijih nikel laterit dengan cara mereduksi bijih sehingga terjadi reaksi kimia dan terjadi reaksi reduksi seperti Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} dan NiO menjadi Ni yang dilanjutkan pemisahan magnetic sehingga kandungan Ni akan meningkat. Setelah melewati proses di *Rotary kiln* kalsin akan dimasukkan kedalam tungku atau tanur listrik untuk dilebur, didalam proses peleburan terjadi reaksi kimia yaitu proses reduksi nikel dan besi oksida akan menjadi nikel, pelelehan dan pelarutan nikel dalam feronikel dan pemisahan feronikel dari slag. Setiawan, (2016).

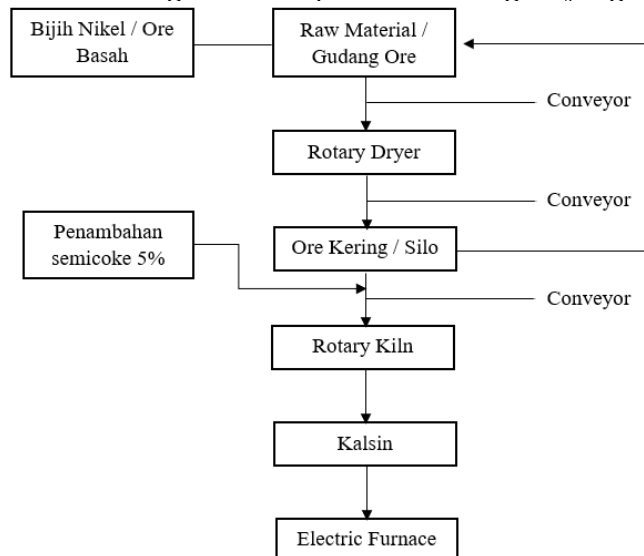
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di area smelter pertambangan nikel di daerah Maluku Utara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kualitatif dengan mendeskripsikan objek dengan cara pengamatan dan penelitian langsung dilapangan. Pengambilan data dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

5. Data primer diperoleh dari observasi secara langsung terhadap objek penelitian dilapangan dimana ada 3 parameter yang akan diamati.
 - Pengujian sampel ore basah
 - Pengujian sampel ore kering
 - Pengujian sampel kalsin
6. Data sekunder didapatkan dengan tahap seperti wawancara, komunikasi dengan pengawas lapangan, serta orang-orang yang berkompeten, dan melakukan studi pustaka terhadap literatur.

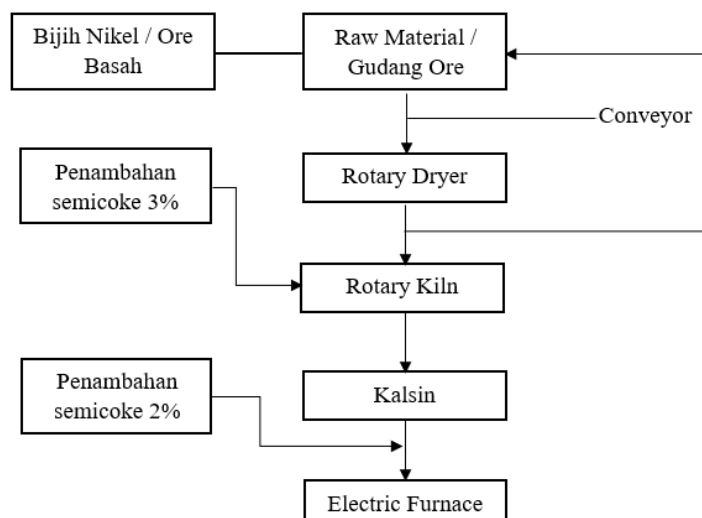
Untuk mengetahui bagaimana perbedaan alur proses smelter feronikel yang terdapat di Maluku Utara berikut gambar dibawah ini Gambar 1 dan Gambar 2 . Dan dalam alur proses smelter feronikel akan diambil 3 parameter sampel yaitu ore basah,

ore kering, dan kalsin. Setelah masing-masing sampel di ambil lalu dibawah ke Dept. Lab untuk dilakukan analisa guna mendapatkan kadar logam yang diinginkan.



Gambar 1. Diagram alir sederhana Feronikel Smelter A

Dari gambar alur proses diatas dapat dibuat sebuah ringkasan tahapan proses yaitu, bijih ore nikel yang telah disimpan di Raw Material dengan kadar air sekitar 30-40% akan masuk kedalam *Rotary dryer* untuk proses pemanasan atau pengeringan yang diharapkan kadar air pada bijih ore nikel hingga minimal 20% dan maksimal 15% kemudian bijih nikel dimasukkan dan ditampung kedalam silo menggunakan conveyor. Pada saat ingin di umpan kedalam *Rotary kiln* menggunakan conveyor ore kering akan dicampur atau ditambahkan karbon atau semicoke agar mengalami proses kalsinasi-reduksi untuk menghilangkan sisa kandungan air yang tersisa dan air kristal dengan kandungan air yang diharapkan 0%, penambahan carbon atau semicoke ini sebagai agen pereduksi untuk meningkatkan kandungan Ni pada bijih ore nikel. Kemudian hasil proses dari *Rotary kiln* yaitu kalsin akan di umpan masuk kedalam Furnace. Dalam Furnace yaitu proses reduksi nikel yang tersisa dan pemisahan antara feronikel dari hasil sampingannya berupa slag besi magnesium silikat.



Gambar 2. Diagram alir sederhana Feronikel Smelter B

Dari gambar alur proses diatas dapat dibuat sebuah ringkasan tahapan proses

yaitu, bijih ore nikel yang telah disimpan di Raw Material dengan kadar air sekitar 30-40% akan masuk kedalam *Rotary dryer* untuk proses pemanasan atau pengeringan yang diharapkan kadar air pada bijih ore nikel hingga minimal 20% dan maksimal 15%. Setelah melewati proses pengeringan bijih ore nikel langsung di umpan masuk kedalam *Rotary kiln* dan ditambahkan karbon atau semicoke secara bersamaan agar mengalami proses kalsinasi-reduksi untuk menghilangkan sisa kandungan air yang tersisa dan air kristal dengan kandungan air yang diharapkan 0%, penambahan carbon atau semicoke ini sebagai agen pereduksi untuk meningkatkan kandungan Ni pada bijih ore nikel. Kemudian hasil proses dari *Rotary kiln* yaitu kalsin akan di umpan masuk dan dilakukan penambahan karbon atau semicoke sebelum masuk kedalam Furnace. Dalam Furnace yaitu proses reduksi nikel yang tersisa dan pemisahan antara feronikel dari hasil sampingannya berupa slag besi magnesium silikat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Smelter Feronikel yang ada di Maluku Utara data yang dapat dikumpulkan yaitu data bahan baku bijih nikel (ore basah), data tahapan proses *Rotary dryer* (ore kering), dan data tahapan proses *Rotary kiln* (kalsin) pada smelter A dan smelter B. Serta membahas proses yang terjadi antara alur proses smelter A dan smelter B setelah melewati *Rotary dryer* dan *Rotary kiln*, dengan hasil analisis di alur proses yang baik menurut lab dan dari data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

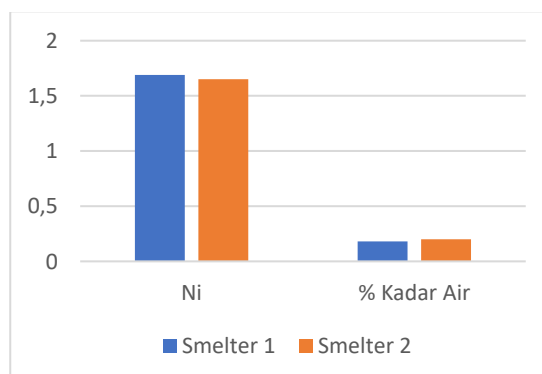
Tabel 1. Hasil pengujian parameter Ore Basah

Sampel Ore Basah	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
Smelter A dan Smelter B	1.59	21.85	37.83	21.02	0.94	2.61

Dari tabel pengujian pada parameter ore basah bijih nikel yang di ambil dari penambangan sebelum di masukkan pada proses produksi bijih nikel di uji menggunakan alat untuk mendeteksi kandungan mineral dalam ore dan didapatkan beberapa kandungan Ni dan mineral lainnya seperti tabel diatas.

Tabel 2. Hasil pengujian parameter Ore Kering

Sampel Ore Kering	Ni	Suhu	% Kadar Air
Smelter A	1.69	248 °C	18%
Smelter B	1,65	237 °C	20%

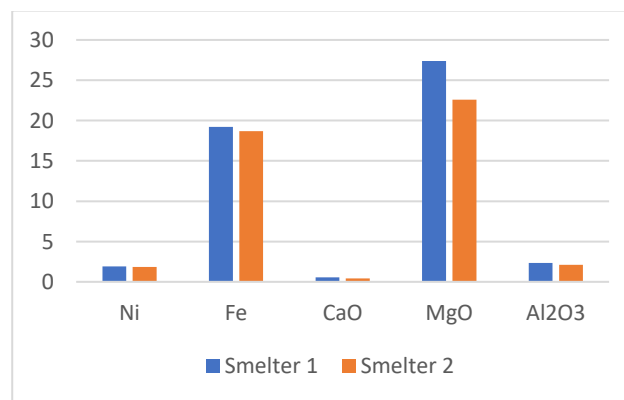


Gambar 3. Grafik hasil pengujian parameter Ore Kering

Dari tabel dan grafik pengujian pada parameter ore kering yang telah melewati proses pengeringan dalam *Rotary dryer* sampel ore kering diambil setiap 1 jam selama 12 jam lalu dibawa ke bagian laboratorium untuk dilakukan pengujian dan didapatkan hasil seperti pada tabel diatas.

Tabel 3. Hasil pengujian parameter Kalsin

Sampel Kalsin	Ni	Fe	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Smelter A	1.91	19.2	0.56	27.4	2.34
Smelter B	1.83	18.7	0.42	22.6	2.11

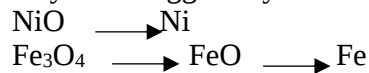


Gambar 4. Grafik hasil pengujian parameter Kalsin

Dari tabel pengujian pada parameter ore kering yang telah melewati proses pemanasan kalsinasi-reduksi dalam *Rotary kiln* sampel kalsin diambil setiap 1 jam selama 12 jam lalu dibawa ke bagian laboratorium untuk dilakukan pengujian dan didapatkan hasil kandungan Ni dan mineral lainnya seperti pada tabel diatas.

Dari 3 pengujian parameter di masing-masing smelter dapat dilihat hasil untuk parameter ore basah smelter A dan smelter B nilai kandungan nikel maupun mineral lainnya masuk dalam kategori bijih ore nikel laterite yang dapat diolah melalui proses *pirometalurgi* dalam tungku lebur furnace, adapun kandungan nikel dan mineral lainnya antara smelter A dan smelter B sama karena menggunakan satu jenis ore yang berasal dari pertambangan nikel yang ada di Maluku utara. Untuk parameter ore kering yang telah melewati proses pemanasan atau pengeringan dalam *rotary dryer* terlihat nilai kandungan Ni yang ada pada smelter A lebih tinggi dibandingkan di smelter B, hal yang mempengaruhi perbedaan dari kandungannya yaitu faktor dari pemanasan yang diberikan atau didapatkan pada ore yang masuk kedalam *rotary dryer*, karena kurangnya sumber panas yang berasal dari *rotary kiln* yang memiliki suhu yang rendah dan tingginya kadar air sehingga masih banyak pengotor selain dari logam yang diinginkan, maka ketika sampel yang diambil dan di uji itu memiliki perbedaan namun dari kedua hasil analisa masih masuk dalam nilai standar untuk ore kering, dimana hasil output dari *rotary dryer* yang diharapkan mengurangi kadar air sebanyak 20-15%. Untuk parameter kalsin hasil dari proses pemanasan kalsinasi-reduksi di *rotary kiln* terlihat dari kadar nikel sebesar 1,91 dan 1,83 sudah masuk dalam kategori sebagai kadar nikel yang cukup tinggi untuk proses kalsinasi sebelum masuk kedalam tungku furnace. Kualitas bijih nikel ini hampir sama dengan hasil bijih nikel yang dihasilkan dalam percobaan yang dilakukan oleh Biswabandita dan

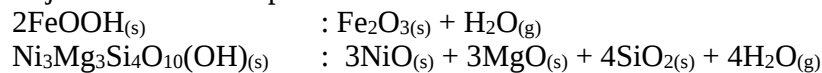
Tapan,(2013) sebesar 1,82%. Pada hasil perbedaan nilai kandungan nikel di smelter A lebih tinggi dibanding smelter B salah satu faktor ada pada proses reduksinya, dikarenakan pemanasan ataupun pembakaran dari *rotary kiln* yang cukup sesuai kebutuhan dengan penambahan karbon atau semicoke sebagai reduktor, batubara ini mengandung unsur karbon yang cukup untuk membentuk gas CO sebagai bahan reduktor. Bunjaku,(2013). sehingga proses disosiasi mineral dalam *Rotary kiln* terjadi lebih banyak sehingga banyak kandungan mineral oksida yang terlepas seperti:



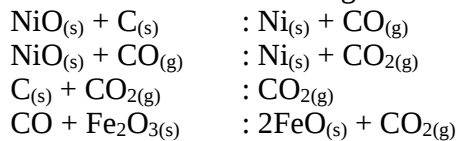
Karbon atau semicoke merupakan jenis reduktor yang paling banyak digunakan untuk reduksi bijih nikel karena jumlahnya yang sangat banyak. Salah satu proses yang sering digunakan yaitu produksi ferronikel Krupp-Renn process. Adapun produk yang terbentuk didinginkan, digerus, dipisahkan secara fisik dan terakhir pemisahan dengan magnetik. Produk akhir berupa partikel dengan ukuran 2 - 3 mm dengan komposisi Ni 18-22%. Peneliti lain yang melakukan hal yang mirip yaitu T. Watanabe, Beggs, Hoffman, Diaz.

Menurut Canterford, (1975) Adapun reaksi kimia yang terjadi pada *Rotary kiln* sebagai berikut:

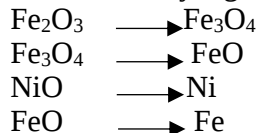
- Pada temperatur sekitar 700 °C, disosiasi mineral-mineral dari bijih nikel laterit menjadi oksida dan uap air:



- Reduksi oksida-oksida dengan batubara dan gas pada temperatur 800 °C



- Reaksi kimia yang terjadi pada kalsin sebagai berikut:



Proses reduksi yang terjadi pada *Rotary kiln* yaitu mereduksi bijih nikel sehingga terjadi reaksi kimia seperti yang ada diatas dan dilanjutkan pemisahan magnetik sehingga kandungan Ni dalam bijih ore nikel akan meningkat. Selain dari penambahan karbon atau semicoke untuk menghasilkan kalsin dengan kandungan mineral yang diinginkan ada beberapa faktor kondisi proses produksi yang harus diperhatikan seperti suhu, ketika suhu dalam *rotary kiln* sangat tinggi akan beresiko munculnya kerak atau gumpalan yang menempel pada dinding castabel sehingga hasil kalsin berkurang dan semakin lama akan berdampak pada castabel yang mudah rusak, dan ketika suhu terlalu rendah juga maka proses reduksi dalam *Rotary kiln* tidak baik sehingga kandungan nikel yang ada pada kalsin tidak meningkat selain itu ketika suhu rendah masuk kedalam tungku *electric furnace* akan mengalami kesulitan berupa energi yang dikeluarkan lebih banyak dan kemungkinan berdampak terjadi ledakan atau hal-hal yang tidak diinginkan. Maka dari itu fungsi dari proses *Rotary kiln* ini pada metode RKEF sangat penting.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode kualitatif yaitu dengan cara pengamatan dan penelitian langsung dilapangan. Adapun hasil yang

didapatkan dari beberapa pengujian parameter yaitu berupa sampel dari ore basah, ore kering, dan kalsin didapatkan nilai kandungan Ni pada kalsin di smelter 1 lebih tinggi dibandingkan pada smelter 2 karena salah satu faktor yang membedakan terdapat pada penambahan karbon atau semicoke yang dimana semicoke sebagai agen pereduksi yang berfungsi untuk meningkatkan kandungan nikel pada bijih nikel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih di sampaikan kepada penanggung jawab produksi, operator dan analis lab yang berada di kawasan smelter feronikel atas peran dalam menerima dan membantu dalam pengujian yang telah saya lakukan serta kesediaannya sebagai tempat konsultasi dalam mengambil data sehingga pengujian ini dapat terselesaikan dengan baik dan sesuai target yang telah direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Biswabandita, K dan Tapan K. P. 2013. Preparation of Metallic Nickel Nugget from Laterite Ore and its Comparison with Synthetic Oxidic System, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Vol. 3, Issue 2, August.
- Bunjaku, A, 2013. The effect of mineralogy, sulphur, and reducing gases on the reducibility of saprolitic nickel ores, Alto University publication series, Doctoral Dissertations 18.2013
- Cartman, R. 2010. An overview of the future production and demand of ferronickel, Informa Mining and Metals, 2nd Euro Nickel Conference, 18 – 19th March, 24 pages.
- Dalvi D. A, W.G.B. and Robert C. Osborne. 2004. The Past and Future Of Nikel Laterite Paper presented at the British Library Conference Proceedings, Hobart.
- Johnson, Jeremiah, Reck, B.K, Wang, T., Graedel, T.E. 2008. The energy benefit of stainless steel recycling. Energy policy 36 (1), 181–192.
- Moskalyk, R.R, Alfantazi, A.M., 2002. Nickel laterite processing and electrowinning practice. Miner. Eng. 15, 593–605.
- Rodrigues, F.M., 2013. Investigation into the thermal upgrading of nickel ferrous laterite ore, A thesis submitted to the Robert M. Buchan, Department of Mining In conformity with the requirements for The degree of Master of Applied Science Queen's University Kingston, Ontario, Canada (December).

- Setiawan, I. (2016). Pengolahan Nikel Laterit secara *Pirometalurgi*: Kini dan Penelitian Kedepan, Prosiding Semnastek (Seminar Nasional Sains dan Teknologi), 1 Nov, PP. 1-7
- Subagja, R.A Prasetyo, A. B, & Sari, W. M. (2016). Peningkatan Kadar Nikel dalam Laterit jenis Limonit dengan cara Peletasi, Pemanggangan Reduksi dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih, Batu Bara, Dan Na₂SO₄ [Upgrading of Nickel Content in The Limonitic Laterite Ores by Pelletizing, Reduction Roasting and Ma Metalurgi, 31 (2)
- T. Watanabe, Sadao, Direct Reduction of Garnierite Ore for Production of Ferronickel with a *Rotary kiln* at Nippon Yakin Kogyo Co., Ltd., Oheyama Works, International Journal of Mineral Processing, 19 (1987) 173-187.

Lampiran D Dokumen LoA Jurnal



Innovative: Journal Of Social Science Research
Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai

LETTER OF ACCEPTANCE (LoA)

No.15541/INNOVATIVE/IX/2024

The Editor in Chief of Innovative Journal has been received the article:

In The Name Of : Riswan Asri¹, Sinardi²

**Title : ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN PROSES
PRODUKSI TERHADAP PENGARUH KADAR NIKEL DI
SMELTER FERONIKEL MALUKU UTARA**

Institution : Universitas Fajar Makassar

And Pleased To Inform You That The Article Has Completed Its Review And Will Be Published In The Innovative: Journal Of Social Science Research Volume 5 Number 2 of 2025 (E- ISSN 2807-4238 And P-ISSN 2807-4246). This Journal Is Indexed by Sinta 5, Moraref, One Search, Base and Google Scholar. Thus, this letter of statement is prepared to be used properly.

Bangkinang 30 September 2024

Signed below

The image shows a circular logo for 'INNOVATIVE JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE RESEARCH' with a star and a stylized 'UP' emblem in the center. To the right of the logo is a handwritten signature in black ink. Below the signature, the name 'Putri Hana P, M.Pd' is printed.

Lampiran E Proses Korespondensi Review Artikel Ilmiah ke Jurnal

15541 / **Riswan Asri et al.** / ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN PROSES PRODUKSI TERHADAP PENGARUH KADAR NIKEL DI SMELTER FE [Library](#)

Workflow **Publication**

Submission **Review** Copyediting Production

Submission Files [Q Search](#)

26381	Riswan Asri (INNOVATIVE S5).docx	September 29, 2024	Article Text
-------	----------------------------------	--------------------	--------------

[Download All Files](#)

Pre-Review Discussions [Add discussion](#)

[https://j.innovative.org/index.php/innovative/\\$\\$\\$call\\$\\$\\$/ab/author-dashboard/author-dashboard-tab/fetch-tab?submissionId=15541&stageId=1](https://j.innovative.org/index.php/innovative/$$$call$$$/ab/author-dashboard/author-dashboard-tab/fetch-tab?submissionId=15541&stageId=1) [Last Reply](#) [Replies](#) [Closed](#)