



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR –TL184834

**REVIEW PROSES EKSTRAKSI NIKEL MENGGUNAKAN
METODE *LEACHING* DENGAN MEDIA LARUTAN ASAM
SULFAT**

**MOH. SATRIO PRAMBODO
NRP. 02511640000145**

**Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR–TL 184834

***REVIEW PROSES EKSTRAKSI NIKEL MENGGUNAKAN
METODE *LEACHING* DENGAN MEDIA LARUTAN
ASAM SULFAT***

MOH. SATRIO PRAMBODO
NRP. 02511640000145

Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT–TL 184834

***REVIEW OF NICKEL EXTRACTION PROCESS USING
LEACHING METHOD WITH SULPHATE ACID
SOLUTION***

MOH. SATRIO PRAMBODO
NRP. 02511640000145

Supervisors
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

MATERIAL AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**REVIEW PROSES EKSTRAKSI NIKEL MENGGUNAKAN
METODE *LEACHING* DENGAN MEDIA LARUTAN
ASAM SULFAT**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOH. SATRIO PRAMBODO

NRP 02511640000145

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D. (Pembimbing 1)
2. Fakhreza Abdul, S.T., M.T. (Pembimbing 2)



SURABAYA
Agustus 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW PROSES EKSTRAKSI NIKEL MENGGUNAKAN METODE *LEACHING* DENGAN MEDIA LARUTAN ASAM SULFAT

Nama : Moh. Satrio Prambodo
NRP : 0251164000145
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.
Pembimbing II : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

Abstrak

Produksi nikel dunia terus bertambah 10 kali lebih banyak dibandingkan tahun 1950, membuat cadangan nikel di alam terus mengalami penurunan. Proses leaching dapat mengekstraksi kembali logam, dari logam yang tidak terpakai menjadi logam dengan kemurnian yang baik sehingga bisa digunakan kembali menjadi bahan baku produksi. Maka dari itu perlu adanya Review bersifat literature Review tentang pengaruh variasi proses yang mempengaruhi leaching menggunakan media asam sulfat seperti temperatur, ukuran partikel, konsentrasi asam dan kecepatan pengadukan terhadap hasil Yield Ni dan analisa pengaruh dari masing masing variasi. Pada penelitian yang dilakukan sampel di uji menggunakan pengujian XRD, dan XRF untuk mengetahui komposisi dari sampel. Kemudian di lakukan proses leaching selama beberapa jam. Sampel larutan hasil leaching diambil dan di uji menggunakan pengujian ICP-OES untuk mengetahui hasil ekstraksi nikel yang didapatkan. Hasil Review menunjukkan bahwa pada penggunaan temperatur tinggi akan meningkatkan hasil ekstraksi nikel, didapatkan hasil yield Ni terbaik sebesar 99%, pada variasi ukuran partikel didapatkan penurunan ukuran partikel dapat menaikkan ekstraksi Ni dengan hasil terbaik sebesar 100% , untuk pengaruh konsentrasi asam diketahui kenaikan konsentrasi asam akan meningkatkan ekstraksi nikel dengan hasil terbaik 97%, dan untuk pengaruh kecepatan pengadukan

didapatkan kenaikan kecepatan akan meningkatkan ekstraksi nikel dengan hasil terbaik sebesar 94%

Kata Kunci: Nikel, Leaching, Asam sulfat, Temperatur, Ukuran Partikel, Konsentrasi, Pengadukan

REVIEW OF NICKEL EXTRACTION PROCESS USING LEACHING METHOD WITH SULPHATE ACID SOLUTION

Student Name : Moh. Satrio Prambodo
NRP : 02511640000145
Department : Material dan Metallurgical Engineering
Supervisor : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.
Co-Supervisor : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

Abstract

World nickel production continues to increase 10 times compared to 1950, making nickel reserves in nature continue to increase. The washing process can be extracted back metal, from unused metal into metal with good purity so that it can be reused as raw material for production. Therefore, it is necessary to study the effect of literature Review on the effect of variations in the process of washing using sulfuric acid media such as temperature, particle size, acid concentration and stirring speed on the yield of Ni yield and analysis of each variation. In the research conducted samples were tested using XRD, and XRF tests to study the composition of the samples. Then do the leaching process for several hours. Leaching solution samples are taken and tested using ICP-OES test to determine the results of nickel extraction obtained. The results showed that in the use of high temperatures will increase nickel extraction results, obtain the best yield of Ni by 99%, in particle size variations obtained particle size can increase Ni extraction with the best results by 100%, to increase acid content will increase nickel extraction by the best results are 97%, and for stirring speeds increasing the speed will increase nickel extraction with the best results by 94%.

Keywords: *Nickel, Leaching, Sulfuric acid, Temperature, Particle Size, Concentration, Stirring Speed.*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “*Review* Proses Ekstraksi Nikel Menggunakan Metode *Leaching* Dengan Media Larutan Asam Sulfat”. Laporan ini disusun dan diajukan untuk dapat memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis juga menyampaikan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya:

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan.
2. Rasulullah SAW yang selalu memberikan kasih sayang dan tuntunannya untuk senantiasa beribadah kepada Allah SWT.
3. Kedua Orang Tua, dan kakak kakak saya yang selalu memberikan dukungan serta doa yang tidak henti untuk penulis.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS - ITS.
5. Bapak Sungging Pintowantoro S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi banyak dukungan, saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Bapak Fakhreza Abdul S.T., M.T. selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi banyak dukungan, saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam segala kegiatan perkuliahan.

8. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Dengan kerendahan hati, semua saran dan kritik yang dapat membangun sangat penulis harapkan. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi dan bermanfaat bagi pembaca

Surabaya, 29 Juli 2020
Penulis

Moh. Satrio Prambodo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan <i>Review</i>	3
1.5. Manfaat <i>Review</i>	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
3.1. Nikel	5
3.2. Nikel Laterit	8
3.3. Ekstraksi Nikel Laterit	10
3.3.1 Ekstraksi dari Bijih <i>Limonite</i>	11
3.3.2 Ekstraksi dari Bijih <i>Saprolite</i>	13
3.4. Hidrometalurgi.....	16
3.4.1 Proses <i>Leaching</i>	22
3.4.2 Proses Netralisasi dan Presipitasi	28
3.5. Termodinamika Proses <i>Leaching</i>	31
3.6. Baterai <i>Nickel Mangan Cobalt</i> (NMC).....	35
3.7. Penelitian Sebelumnya tentang Proses <i>Leaching</i> Menggunakan Media Asam Sulfat.....	40
BAB III METODOLOGI <i>REVIEW</i>	
3.1. Diagram alir	47
3.2. Bahan <i>Review</i>	48
3.2.1. Bahan <i>Review</i> Jurnal Pertama	48
3.2.2. Bahan <i>Review</i> Jurnal Kedua	48
3.2.3. Bahan <i>Review</i> Jurnal Ketiga.....	49

3.3.	Pengujian Karakterisasi Material	50
3.3.1.	SEM-EDX (<i>Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i>)	50
3.3.2.	XRF (<i>X-Ray Fluorencence</i>).....	50
3.3.3.	XRD (<i>X-Ray Difrraction</i>)	51
3.3.4.	ICP-OES (<i>Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry</i>).....	52
3.4.	Metode Percobaan.....	53
3.4.1.	Metode Percobaan Pada Jurnal <i>Kinetics of nickel leaching from low-nickel matte in sulfuric acid solution under atmospheric pressure.</i>	53
3.4.2.	Metode Percobaan Pada Jurnal <i>Leaching of nickel from a secondary source by sulfuric acid.</i>	54
3.4.3.	Metode Percobaan Pada Jurnal <i>High Pressure Sulphuric Acid Leaching Of Lateritic Nickel Ore.</i>	56
3.5.	Metode Pembahasan	57

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1.	Karakterisasi Bahan Percobaan.....	61
4.1.1.	Karakterisasi Sampel Sebelum Proses <i>Leaching</i>	61
4.1.2.	Karakterisasi Sampel Sesudah Proses <i>Leaching</i>	66
4.2.	Data dan Analisis pengaruh proses <i>leaching</i> menggunakan asam sulfat	70
4.2.1.	Pengaruh temperatur pada proses <i>leaching</i> nikel menggunakan asam sulfat terhadap <i>yield Ni</i>	70
4.2.2.	Pengaruh ukuran partikel pada proses <i>leaching</i> nikel menggunakan asam sulfat terhadap <i>yield Ni</i>	81
4.2.3.	Pengaruh konsentrasi asam sulfat pada proses <i>leaching</i> nikel terhadap <i>yield Ni</i>	91

4.2.4. Pengaruh kecepatan pengadukan pada tabung reaktor dalam proses <i>leaching</i> nikel menggunakan asam sulfat terhadap <i>yield</i> Ni.....	104
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	113
5.2. Saran	114
5.3. Kritik.....	115
DAFTAR PUSTAKA	117
LAMPIRAN.....	123
UCAPAN TERIMA KASIH.....	131
BIODATA PENULIS.....	133

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Profil pelapukan dan letak bijih nikel laterit.....	8
Gambar 2.2	Profil nikel laterit berdasarkan perbedaan iklim dan cuaca.....	9
Gambar 2.3	Proses Pengolahan Bijih Nikel	11
Gambar 2.4	Proses <i>Leaching</i> Bijih <i>Limonite</i>	13
Gambar 2.5	Proses <i>Smelting</i> Bijih Nikel <i>Saprolite</i>	14
Gambar 2.6	Berbagai macam Proses Pengolahan Laterit.....	17
Gambar 2.7	Proses Hidrometalurgi	18
Gambar 2.8	Proses bayer yang menggantikan proses <i>pyrometallurgy</i>	22
Gambar 2.9	Visualisasi Model <i>shrinking core</i>	35
Gambar 2.10	Struktur kristal tipe layered pada material aktif katoda NMC	36
Gambar 3.1	Diagram Alir <i>Review Jurnal</i>	47
Gambar 3.2	Alat SEM-XRF tipe JEOL JSM-5600	50
Gambar 3.3	XRF, Philips PW1480 (Hosseini, 2017).....	51
Gambar 3.4	Alat X-ray diffraction (XRD) Rigaku Rint-2000	52
Gambar 3.5	Inductively Coupled Plasma (ICP-OES)	53
Gambar 3.6	Skema Penelitian Xiao, 2020.....	54
Gambar 3.7	Skema Penelitian Hosseini, 2017	55
Gambar 3.8	Skema Penelitian Ucyildiz, 2017.....	56
Gambar 4.1.	Hasil XRD sampel Hosseini, 2017	64
Gambar 4.2	Hasil XRD sampel limonit Ucyildiz, 2016.....	66
Gambar 4.3	Hasil pengujian XRD terhadap residu yang terbentuk pada proses <i>leaching</i>	67
Gambar 4.4	Hasil Pengujian SEM dari sampel low nikel matte dengan ukuran partikel 75-96 μm dan residu dari proses <i>leaching</i> : (a) sampel low nickel matte, (b) residu selama 2 menit, 25.9% <i>yield</i> Ni, (c) residu selama 6 menit, 50% <i>yield</i> Ni, (d) residu selama 60 menit, 95.9 <i>yield</i> Ni.	68

Gambar 4.5	Tampilan morfologi dari residu hasil proses <i>leaching</i> : (a) sebelum proses <i>leaching</i> , (b) 15 menit proses <i>leaching</i> , (c) 240 menit proses <i>leaching</i> pada 80°C Penelitian Hosseini, 2017	69
Gambar 4.6	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi temperatur pada penelitian Xiao	70
Gambar 4.7	Hasil <i>Recovery</i> Nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Srećko Stopić	71
Gambar 4.8	Hasil <i>Recovery</i> Nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Hosseini	72
Gambar 4.9	Hasil Ekstraksi Nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Ucyildiz	74
Gambar 4.10	Hasil Ekstraksi Nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Febriana.....	75
Gambar 4.11	Hasil Ekstraksi Nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Kursonoglu	76
Gambar 4.12	Hasil Ekstraksi Nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Altansukh	77
Gambar 4.13	Hasil Ekstraksi Nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Javanshir	78
Gambar 4.14	Grafik Pengaruh Temperatur proses Terhadap Kenaikan <i>Yield</i> Unsur Ni pada proses <i>leaching</i> menggunakan asam sulfat	79
Gambar 4.15	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Xiao	82
Gambar 4.16	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Hosseini	83
Gambar 4.17	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Tefvik	84
Gambar 4.18	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Purwanto	85
Gambar 4.19	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian MacCarthy	86

Gambar 4.20	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Kursonoglu	87
Gambar 4.21	Grafik Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Kenaikan <i>Yield</i> Unsur Ni pada proses <i>leaching</i> menggunakan asam sulfat	88
Gambar 4.22	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Hosseini	92
Gambar 4.23	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Tevfik	94
Gambar 4.24	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Srećko Stopić	95
Gambar 4.25	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Xiao	96
Gambar 4.26	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Purwanto	97
Gambar 4.27	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Kursonoglu	98
Gambar 4.28	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Altansukh	99
Gambar 4.29	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Javanshir	100
Gambar 4.30	Grafik Pengaruh Konsentrasi larutan Terhadap Kenaikan <i>Yield</i> Unsur Ni pada proses <i>leaching</i> menggunakan asam sulfat	101
Gambar 4.31	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi kecepatan pengadukan dalam tabung	

	reaktor larutan asam sulfat pada penelitian Tevfik	105
Gambar 4.32	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi kecepatan pengadukan dalam tabung reaktor larutan asam sulfat pada penelitian Srećko Stopić	106
Gambar 4.33	Hasil <i>Recovery</i> Nikel dengan variasi kecepatan pengadukan dalam tabung reaktor larutan asam sulfat pada penelitian Xiao.....	107
Gambar 4.34	Hasil <i>Yield</i> Nikel dengan variasi kecepatan pengadukan dalam tabung reaktor larutan asam sulfat pada penelitian Gharabaghi	108
Gambar 4.35	Grafik Pengaruh Kecepatan pengadukan Terhadap Kenaikan <i>Yield</i> Unsur Ni pada proses <i>leaching</i> menggunakan asam sulfat	110

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Bijih nikel dan keekonomiannya	7
Tabel 2.2	Metode <i>Leaching</i>	26
Tabel 2.3	Jenis jenis teknologi baterai	38
Tabel 2.4	Tabel data <i>Paper</i> dengan variabel Temperatur, Ukuran Partikel, Konsentrasi, dan kecepatan Pengadukan	46
Tabel 3.1	Bahan Baku Jurnal Pertama.....	48
Tabel 3.2	Bahan Baku Jurnal Kedua	49
Tabel 3.3	Bahan Baku Jurnal Ketiga	49
Tabel 3.4	Bahan <i>Paper</i> yang akan di <i>Review</i>	58
Tabel 4.1	Komposisi kimia (wt.%) sampel nikel matte untuk proses <i>leaching</i>	61
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Komposisi berat MLA	63
Tabel 4.3.	Komposisi Sampel Nikel dari hasil XRF	63
Tabel 4.4	Tabel Komposisi Kimia Sampel Limonit	65

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini tren pengembangan teknologi yang hemat dan ramah lingkungan terus berkembang. Hal tersebut di pengaruhi kenaikan pemanasan global yang semakin parah dan menuntut semua negara untuk mengembangkan teknologi yang ramah lingkungan, salah satu puncaknya berada pada konferensi yang di selenggarakan oleh PBB di Paris. Pada konferensi tersebut teretus salah satu persetujuan yang di sebut *Paris Agreement*. Persetujuan Paris ini di ikuti 195 negara yang pada dasarnya merupakan komitmen bersama untuk menahan laju kenaikan suhu rata rata global di bawah 2°C. Upaya ini di harapkan akan secara signifikan mengurangi resiko dan dampak merugikan perubahan iklim yang nantinya di harapkan akan di implementasikan pada tahun 2020. Pemerintah Indonesia saat ini tengah berupaya untuk mengembangkan kendaraan listrik (*Electric vehicle*) sebagai salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi energi. Salah satunya yakni dengan penerbitan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 55 Tahun 2019 tentang percepatan program kendaraan listrik (*electric vehicle*) berbasis baterai untuk transportasi jalan.

Tren permintaan nikel dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan, salah satu penyebab hal ini ialah tingginya kebutuhan nikel sebagai bahan utama pembuatan katoda baterai kendaraan listrik seperti NMC (Nickel Manganese Cobalt). Untuk memproduksi baterai NMC dibutuhkan *ore* nikel dengan kualitas yang tinggi. hal tersebut mempengaruhi aktifitas penambangan di indonesia dan menimbulkan efek cadangan nikel yang dimiliki Indonesia menjadi semakin berkurang.

Maka dari itu penelitian tentang pengolahan biji nikel laterit maupun pengolah logam sekunder terus di lakukan agar dapat menghasilkan bahan baku nikel dengan kualitas yang tinggi. Pengolahan nikel laterit biasanya menggunakan proses *smelting*, tetapi hasil dari proses *smelting* belum memberikan hasil yang

memenuhi kriteria dari logam nikel untuk menjadi bahan baku baterai. Proses hidrometalurgi (*leaching*) memberikan solusi yang sangat optimum untuk mengatasi masalah masalah yang ada pada proses ekstraksi logam sebelumnya, seperti masalah dengan sulfur, limbah berbahaya, kesulitan untuk mengekstraksi logam logam mulia sisa residu dari ekstraksi logam sebelumnya yang masih banyak terbuang. Proses *leaching* dapat mengekstraksi kembali logam dari berbagai macam sumber seperti nikel laterit, limbah baterai, logam sisa yang tidak terpakai, dan residu yang terbentuk dari sisa pengolahan menjadi logam yang memiliki tingkat kemurnian yang baik sehingga bisa digunakan kembali menjadi bahan baku produksi. Proses *leaching* merupakan proses akhir pada pengolahan nikel laterit untuk mendapatkan senyawa nikel berkadar tinggi yang prosesnya menentukan kualitas dari produknya. Maka dari itu, riset tentang pengoptimalan proses *leaching* terus di teliti agar bisa mendapatkan cara yang efektif dan ekonomis pada proses pengolahannya.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu diadakan studi literatur bersifat *literature Review* tentang pengaruh beberapa variasi proses yang mempengaruhi *leaching* seperti temperatur proses, ukuran partikel, konsentrasi larutan asam dan kecepatan pengadukan terhadap hasil ekstraksi Ni dan analisa pengaruh yang diberikan dari masing masing variasi proses. Harapan dari *Review* ini nantinya akan diperoleh informasi tentang pengaruh masing-masing variasi serta dapat diperoleh parameter variasi proses yang memberikan hasil yang optimal pada proses *leaching* menggunakan media asam sulfat.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan *yield* produk ekstraksi Ni menggunakan media asam sulfat dengan variasi temperatur proses, ukuran partikel, konsentrasi media, dan kecepatan

pengadukan pada proses *leaching* menggunakan media asam sulfat?

2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur proses, ukuran partikel, konsentrasi media, dan kecepatan pengadukan pada proses *leaching* menggunakan media asam sulfat.

1.3. Batasan Masalah

batasan masalah yang digunakan pada *paper Review* ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis yang dilakukan pada *Review* ini fokus terhadap proses yang terjadi selama proses *leaching* pada jurnal
2. Bijih laterit yang digunakan dianggap memiliki standar yang sama
3. *Literature Review* ini tidak membahas energi kinetik yang dihasilkan dari masing masing variasi proses.

1.4. Tujuan Review

Dengan adanya rumusan masalah di atas, maka dapat ditarik tujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis perbandingan *yield* produk ekstraksi Ni menggunakan media asam sulfat dengan variasi temperatur proses, ukuran partikel, konsentrasi media, dan kecepatan pengadukan
2. Menganalisis pengaruh variasi temperatur proses, ukuran partikel, konsentrasi media, dan kecepatan pengadukan pada proses *leaching* menggunakan media asam sulfat

1.5. Manfaat Review

Pengamatan ini bermanfaat untuk mengetahui hasil produk ekstraksi Ni menggunakan metode *leaching* dengan media asam sulfat dan sebagai pembanding apakah proses tersebut optimal dan efisien.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Logam nikel dengan nomor atom 28 dan nomor massa 58,6934 masuk ke dalam golongan 7B dalam tabel periodik bersama unsur besi dan kobalt biasa dikenal dengan sebutan “Tiga Serangkai”, karena sifat ketiganya yang hampir sama. Karakter fisik dari logam nikel ini memiliki titik lebur sebesar 1455°C dan titik didih $\pm 2915^\circ\text{C}$ (Polyakov, 2013). Struktur kristal dari nikel adalah *face centered cubic* (FCC). Nikel adalah salah satu logam yang paling penting pada industri karena karena karakteristik *physicochemical* yang unik seperti kekuatan, stabil saat berada di temperatur tinggi, tahan terhadap korosi, ulet, dan mempunyai sifat konduktivitas listrik dan panas yang baik, serta bagus dari sisi estetika. Hal itu membuat nikel banyak digunakan di berbagai aplikasi dan di buat dalam berbagai macam produk seperti logam, *powder*, *sponge* dan lainnya. Industri yang menggunakan nikel ialah industri yang bergerak pada bidang kimia, minyak, energi dan metalurgi proses, jika dikalkulasi industri ini telah menggunakan sebanyak seperempat nikel dunia. Pada pengolahannya, sebanyak 65% nikel dalam bentuk logam digunakan sebagai *stainless steel*, 12% nya digunakan sebagai *super alloy* dan sisanya digunakan sebagai *non-ferrous alloy*.

Total produksi nikel dunia terus bertambah 10 kali lebih banyak dibandingkan tahun 1950, dimana 90% pengolahan nikel dunia saat itu di ambil dari biji nikel sulfida, tetapi saat ini biji nikel laterit telah di produksi sebanyak 40%. Dengan kebutuh nikel yang sangat tinggi dari tahun ke tahun, membuat cadangan nikel di alam terus mengalami penurunan. Persediaan biji nikel di alam sendiri terbagi menjadi dua jenis: bijih nikel sulfida dan bijih oksida (laterit). Sampai saat ini, bijih nikel sulfida menjadi sumber utama dalam produksi pengolahan logam nikel, dengan mendominasi hampir 60% dari total produksi dunia. Hal itu dikarenakan bijih nikel sulfide mempunyai kadar nikel yang tinggi sejak di tambang

di alam daripada nikel laterit yang hanya memiliki kadar nikel yang rendah. Padahal cadangan nikel dunia di alam 70% nya tersedia dalam bentuk bijih nikel laterit. Namun tingginya produksi pengolahan logam nikel yang berasal dari bijih nikel sulfida membuat cadangan nikel sulfida yang hanya 30% di dunia itu terus mengalami penipisan. Sehingga, kedepan diperkirakan semua produksi pengolahan logam nikel akan berasal dari bijih nikel laterit (Yayat dkk., 2018).

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil nikel lateritik terbesar di dunia berdasarkan data produksi dan cadangan nikel dunia berdasarkan survey pada januari 2015 (USGS 2015). Dari segi potensi cadangan, Indonesia menempati urutan ke-enam dengan potensi cadangan sebesar 5% dari total cadangan dunia. Hal ini menunjukkan posisi Indonesia sangat penting di dunia pertambangan bijih nikel.

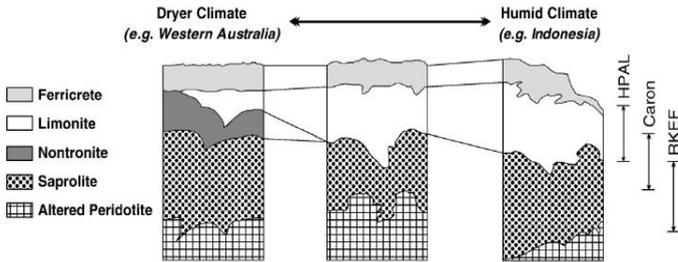
Ada dua metode dalam proses ekstraksi nikel yang biasa digunakan dalam industri yaitu: proses *pyrometallurgy* dan *hydrometallurgy*. Tahapan proses *pyrometallurgy* sendiri umumnya terdiri atas *roasting*, *smelting*, *converting*, dan *refining*. Laterit lebih mudah dilebur menjadi logam feronikel dibanding logam nikel ditinjau dari segi termodinamika (Swinbourne,2014). Logam feronikel memiliki komposisi paduan sekitar 25% nikel dan 75% besi dan material lain seperti kromium dan silika dalam jumlah sedikit. Sedangkan proses *hydrometallurgy* biasanya menggunakan proses *leaching* memakai asam kuat sebagai *leaching agent* dengan tekanan tinggi dan memisahkan antara pengotor dan logam padat. Pada proses aplikasi, Teknik *pyrometallurgy* digunakan untuk bijih dengan kadar nikel lebih dari 1.7% dan proses *hydrometallurgy* digunakan pada bijih nikel dibawah 1.5%. karena bijih nikel sulfide bisa mengandung kadar nikel yang tinggi, proses *pyrometallurgy* lebih direkomendasikan untuk pengolah biji nikel sulfida. Sementara itu, kadar bijih nikel laterit sangat sulit untuk ditingkatkan sebelum proses *leaching*. Hal ini dikarenakan kadar mineral nikel dalam bijih nikel laterit sangat sedikit, sehingga logam nikel akan lebih baik di ekstaksi

menggunakan proses *hydrometallurgy* karena bisa bereaksi dengan logam-logam nikel yang berukuran kecil dan bersifat detail sehingga bisa lebih efisien dan ekonomis ketimbang *pyrometallurgy* yang hanya dapat dilakukan jika bijih mengandung kadar nikel yang lebih tinggi (Khoo dkk., 2017). Tingkat keekonomian pada proses saat ini sangat ditentukan oleh kadar unsur Ni dalam bijih, dimana kadar Ni di atas 1.7 % merupakan proses yang layak diproses dalam skala besar, dan biaya infrastruktur dan energi yang relatif moderat seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Bijih nikel dan keekonomiannya (Dalvi, 2016)

Kategori	Grade % Ni	Hasil
Bijih grade tinggi, <i>upgradeable</i> , biaya energi rendah, Biaya infrastruktur rendah	2.5	Menarik
Bijih grade menengah, biaya infrastruktur menengah, skala relatif besar, biaya energi sedang	2	Pertengahan
Bijih grade rendah, skala relatif kecil, biaya energi tinggi	<1.7	Tidak Menarik

Menurut Gambar 2.1 bijih nikel laterit terbagi dua sesuai kedalamannya pada lapisan tanah: yaitu limonit dan saprolite. Kelompok *nickeliferous* dengan rumus senyawa $(\text{Fe}, \text{Ni})\text{O}(\text{OH})$, dan biasanya ditambang di alam dengan metode penambangan terbuka. Berbeda dengan bijih nikel laterit, bijih nikel sulfida biasanya kebanyakan ditemukan di bawah tanah dalam proses penambangannya. Mineral mineral yang biasa di temukan pada bijih nikel sulfida ialah *pentlandite* ($[\text{Fe}, \text{Ni}]_9\text{S}_8$), *pyrrhotite* (Fe_7S_8), *chalcopyrite* (CuFeS_2) (Hoatson dkk., 2006 dan Khoo dkk., 2017).

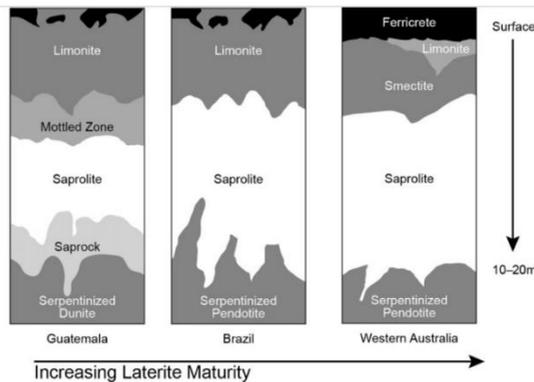


Gambar 2.1 Profil pelapukan dan letak bijih nikel laterit (Mudd, 2010)

2.2. Nikel Laterit

Nikel laterit kebanyakan ditemukan di daerah tropis seperti Indonesia, Filipina, dan Kuba. Nikel yang ada di daerah ini akan ditambang jika kadar nikelnya lebih 1.3% dan kadar kobalnya 0.1% (Crundwell dkk., 2011). Nikel laterit biasanya berada di dekat permukaan tanah seperti pada Gambar 2.2, bijih nikel laterit ditambang dengan menggunakan metode *surface-mining* metode. Laterit adalah biji yang terbentuk karena perubahan iklim yang didasari perubahan dasar laut karena adanya pergerakan lempeng yang menyebabkan adanya gaya tektonik yang besar. Perubahan iklim ini terjadi terus menerus lebih dari jutaan tahun, dan menyebabkan terbentuknya berbagai macam mineral yang berbeda pada susunan tanah dari permukaan sampai dasar. Kebanyakan daerah, terdapat 3 susunan nikel laterit yang ada dalam tanah berdasarkan kedalamannya yaitu *limonite*, *smectite*, dan *saprolite*. Ketiga jenis ini di tentukan berdasarkan susunannya di dalam tanah dan masing masing mempunyai komposisi yang berbeda. *limonite* berada pada daerah dekat permukaan, *smectit* berada pada daerah di bawah *limonite*, dan *saprolite* berada pada lapisan paling bawah. Biasanya untuk jenis *limonite* dan *smectit* dianggap bebarengan karena letak yang berdekatan dan proses yang sama. Sebenarnya, masih ada beberapa jenis susunan tanah lainnya yang di temukan

pada penambangan bijih nikel laterit, seperti *ferricrete* dan *mottled zone*. Seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Profil nikel laterit berdasarkan perbedaan iklim dan cuaca (Crundwell, dkk., 2011)

Mengidentifikasi susunan tanah dalam penambangan biji nikel laterit sangat penting karena perbedaan cara untuk mengekstraksi yang digunakan bisa berbeda. Ada dua cara untuk mengolah bijih nikel laterit yaitu *smelting* untuk memproduksi feronikel, *leaching* dan *refining* untuk memproduksi logam nikel. Kadar besi dalam limonit dan smectite yang sangat tinggi membuat bijih tersebut sangat tidak ekonomis untuk diolah menggunakan proses *smelting*, sementara itu bijih nikel saprolite banyak mengandung kadar MgO sehingga tidak ekonomis diolah menggunakan proses *leaching*. Jadi, metode pengolahan logam nikel akan berbeda tergantung dengan tipe dari bijih nikel tersebut (Crundwell dkk., 2011)

Salah satu mineral penting yang juga terdapat dalam biji nikel laterit yaitu *garnierite*, mineral ini merupakan nama yang umum dipakain untuk grup mineral yang termasuk ke dalam mineral nikel yang banyak mengandung unsur magnesium. *Garnierite* mempunyai struktur butiran yang halus dan mempunyai

campuran dari beberapa mineral. Dalam bijih nikel sulfida, kadar nikel dapat ditingkatkan dengan cara seperti flotasi dan penggilingan. Sedangkan, kadar bijih nikel laterit hanya dapat ditingkatkan dengan peningkatan secara minor dengan cara pengayakan. Terlepas dari banyaknya penelitian untuk mengembangkan proses ekstraksi bijih nikel laterit, bijih laterit sendiri dapat diproses dengan baik dan ekonomi dengan cara *smelting* sedangkan metode metode lain belum bisa memberikan hasil yang baik (Setiawan, 2016).

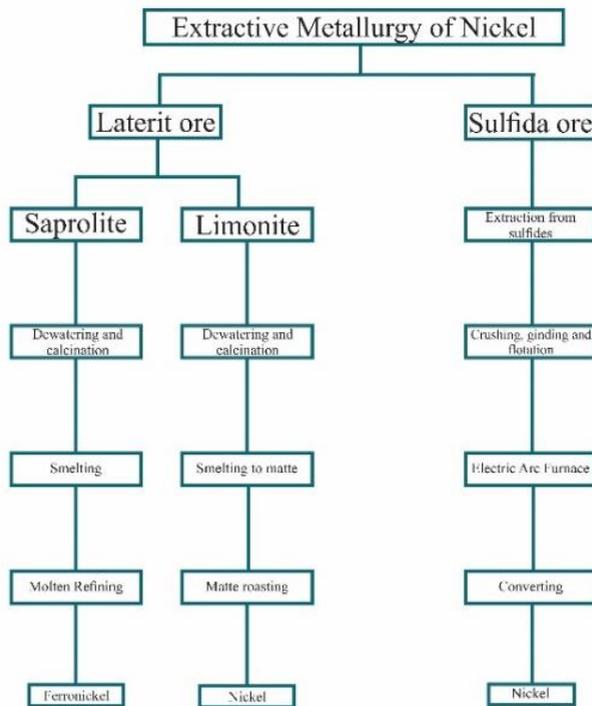
2.3. Ekstraksi Nikel Laterit

Saat ini proses pengolahan bijih nikel laterit terbagi menjadi 2 cara yaitu: proses *pyrometallurgy* dan *hydrometallurgy*. Proses ekstraksi bijih nikel laterit yang ekonomis akan dilakukan jika kadar nikel mencapai diatas 1.5%. Padahal lebih dari 50% cadangan dunia mempunyai kandungan Ni<1.45%. (Setiawan, 2016). Dua proses yang dimaksud ialah pada proses pengolahan bijih *limonite* yang menggunakan metode *hydrometallurgy* dengan proses *leaching* dan *saprolite* yang menggunakan metode *pyrometallurgy* dengan proses *smelting* seperti pada Gambar 2.3 (Crundwell dkk., 2011).

Pada umumnya, proses *pyrometallurgy* saat ini memang menjadi salah satu cara yang ekonomis untuk dilakukan dalam mengolah biji nikel laterit dari alam, dengan garis besar perjalanan proses pengolahannya yaitu, pertama ada proses *dewatering*, proses dimana menghilangkan unsur air yang ada di dalam bijih laterit. Selanjutnya, proses *calcination* dimana air yang masih berada di dalam bijih nikel yang masih terikat secara ikatan kimia akan dihilangkan menggunakan temperatur tinggi. Kemudian masuk ke proses reduksi yaitu menghilangkan oksigen yang berada pada bijih nikel dan besi. Dan terakhir ada proses *refining* yaitu menghilangkan *impurities* yang masih berada di produk nikel seperti sulfur dan fosfor (Crundwell dkk., 2011).

Sementara itu, proses ekstraksi nikel laterit menggunakan *hydrometallurgy* memiliki jumlah produksi yang cukup banyak.

Hydrometallurgy dilakukan dengan proses *leaching* menggunakan larutan NH_3 , CO_2 dan O_2 . Produksi nikel laterit dunia menggunakan *hydrometallurgy* mencapai 100.000 ton per tahun dengan kadar nikel yang tinggi, kebanyakan proses *laching* menggunakan temperatur yang tinggi dan larutan asam dengan konsentrasi tinggi (Crundwell dkk.,2011).



Gambar 2.3 Proses Pengolahan Bijih Nikel

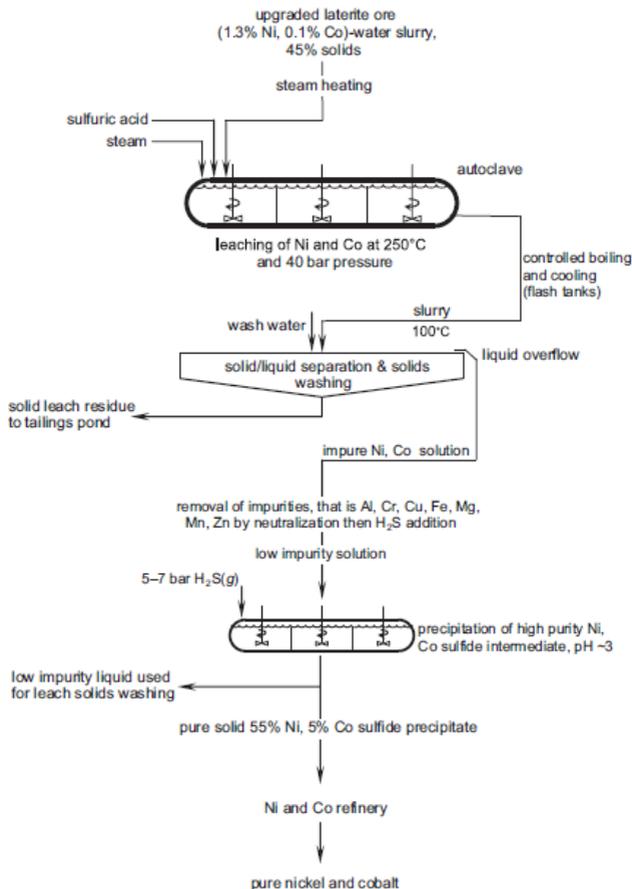
2.3.1 Ekstraksi dari Bijih *Limonite*

Bijih *limonite* kebanyakan menggunakan proses *leaching* untuk mengolahnya, menggunakan larutan asam, dan temperatur

mencapai 250°C juga menggunakan tekanan 40 bar. Proses awal *leaching* biasanya dilakukan pemurnian dengan cara presipitasi dan meningkatkan kadar dari *limonite* dengan cara melebur/*smelting*. Selanjutnya, dilakukan proses ekstraksi yang memisahkan nikel dan cobalt menggunakan larutan asam. Kemudian lanjut ke proses reduksi hydrogen atau proses *electrowinning* untuk memurnikan nikel dan kobalt sehingga mempunyai kadar hingga 99.9%.

Proses *leaching* bijih nikel *limonite* dilakukan karena beberapa alasan penting yaitu, mineral *goethite* yang ada dalam bijih nikel *limonite* akan terlarut secara efisien dalam larutan asam yang cukup panas, dan jika temperatur larutan asam cukup tinggi, akan membuat zat besi yang dikandung mineral *goethite* akan terekstraksi menjadi *hematite* atau *jarosite*. Dan bijih *limonite* mengandung kadar MgO yang rendah, kadar MgO yang rendah dapat menyebabkan konsumsi dari larutan asam semakin sedikit sehingga proses *leaching* lebih efisien (Crundwell, dkk., 2011).

Gambar 2.4 ini menjelaskan proses *leaching* bijih *limonite* dari awal sampai akhir hingga terbentuk nikel dan kobalt yang mempunyai kadar 99.9%. susunan proses diatas digunakan pada larutan asam sulfat dengan temperatur yang tinggi. Bijih nikel yang digunakan harus berupa bijih *limonite* yang mempunyai kadar Magnesium yang rendah. Produknya berupa nikel dan kobalt sulfida hasil dari presipitasi yang mempunyai kadar tinggi, 55% Ni, 5% Co, dan 40% S, selanjutnya unsur nikel dan kobalt siap untuk dimurnikan kembali menjadi kadar yang lebih tinggi. Proses *leaching* pada gambar diatas menggunakan alat *autoclave* dengan diameter 4.5 m dan terdapat 6 buah *stirrer* dengan panjang sebesar 30 m. alat ini dapat mengolah 2000 ton bijih *limonite* perhari (Crundwell, dkk., 2011).

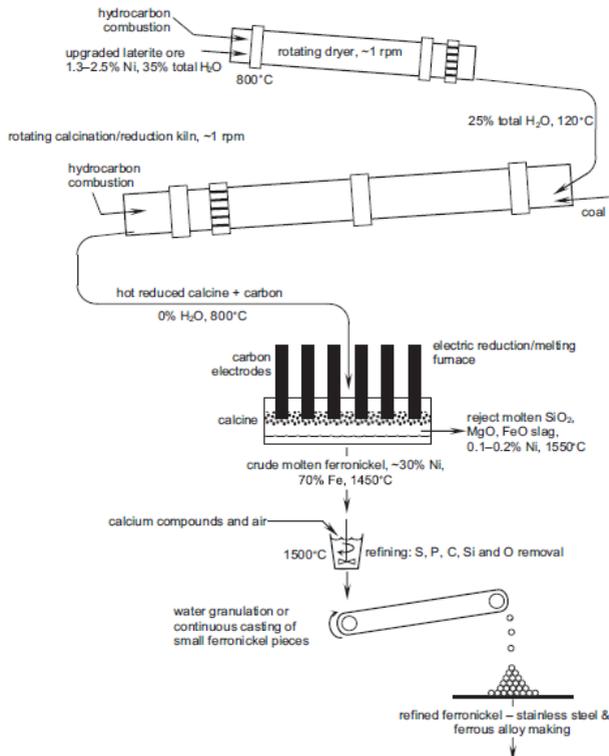


Gambar 2.4 Proses Leaching Bijih *Limonite* (Crundwell dkk., 2011)

2.3.2 Ekstraksi dari Bijih *Saprolite*

Bijih *saprolite* sangat banyak yang diolah menjadi feronikel menggunakan proses *smelting*, karena komposisi *saprolite* yang mengandung 30% Ni, dan 70% Fe, yang sangat

cocok untuk digunakan pada produk feronikel dan paduan nikel lainnya. Tetapi, ada beberapa perusahaan yang juga mengolah bijih nikel *saprolite* menjadi *sulphide matte* atau *nickel matte* dengan menambahkan banyak sulfur pada proses pengolahannya sehingga dapat mengikat Fe sehingga menjadi FeS. Kebanyakan *nickel matte* yang dibentuk akan dijadikan bahan paduan logam lain. Beberapa produk *nickel matte* juga ada yang dimurnikan kembali melalui proses *hydroetallurgy* menjadi nikel dan kobalt yang mempunyai kadar yang tinggi (Crundwell, dkk., 2011).



Gambar 2.5 Proses *Smelting* Bijih *Saprolite* (Crundwell dkk., 2011)

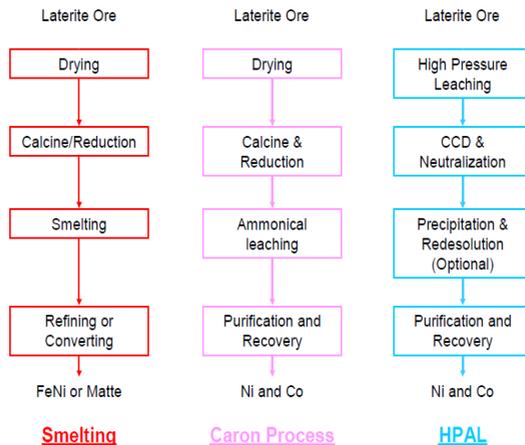
Alasan bijih *saprolite* menggunakan proses *smelting* adalah karena bijih *saprolite* mengandung kadmium yang rendah (15%) sehingga akan menghasilkan *ferronickel* dengan kadar nikel yang tinggi dan *saprolite* mengandung MgO yang lumayan tinggi (20%) sangat tidak cocok untuk diolah menggunakan proses *leaching*, karena MgO sendiri akan bereaksi dengan pelarut secara berlebihan dan mencegah nikel bereaksi dengan pelarut sehingga proses tidak berjalan dengan sempurna (Crundwell, dkk., 2011).

Proses ekstraksi bijih nikel *saprolite* yang menggunakan metode *pyrometallurgy* dimulai dengan peningkatan kadar dengan melakukan proses *screening* yaitu menghancurkan nikel dengan kadar rendah yang berada di lapisan *bedrock* menjadi ukuran yang lebih kecil. Nikel laterit yang sudah melewati proses *screening* masih mempunyai 35% kadar air didalamnya, untuk menghilangkan kadar air tersebut nikel yang sudah melewati proses *screening* akan dikeringkan di *rotary kiln*, setelah melewati *rotary kiln* nikel laterit masih memiliki kadar air 10-13% biasanya disebut air kristal. Kebanyakan dari air kristal ini memiliki ikatan kimia dengan beberapa mineral seperti *garnierite* $(\text{Mg,Ni})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ jadi dibutuhkan temperatur sekitar 700-900°C untuk menghilangkan air kristal tersebut. Material yang sudah melewati tahap *roasting*, kemudian dicampur dengan batu bara dan menuju ke *rotary kiln* dimana api didalam *rotary kiln* akan mengenai bijih nikel secara langsung. Pada prosesnya batu bara akan terbakar dan batu bara akan habis bereaksi sehingga hanya meninggalkan karbon yang akan mereduksi bijih nikel. Karbon yang tersisa dari hasil reaksi batu bara akan menjadi reduktor pada proses *smelting*. Bijih nikel yang sudah mengalami proses kalsinasi akan dimasukkan ke *electric furnace* dimana proses reduksi awal akan mereduksi Fe_3O_4 menjadi FeO, dan nantinya senyawa senyawa seperti NiO dan CoO bersama FeO akan direduksi

menjadi feronikel cair. Sementara unsur unsur pengotor akan terbentuk menjadi *slag*. Feronikel cair akan dimurnikan kembali untuk menghilangkan unsur unsur yang tidak diperlukan seperti fosfor dan sulfur. Lalu, dilakukan juga penambahan karbon dan silikon jika diperlukan untuk menyesuaikan komposisi yang dibutuhkan di pasar. Segala proses ini dikenal sebagai *rotary kiln electric furnace process* (Swinbourne, 2014).

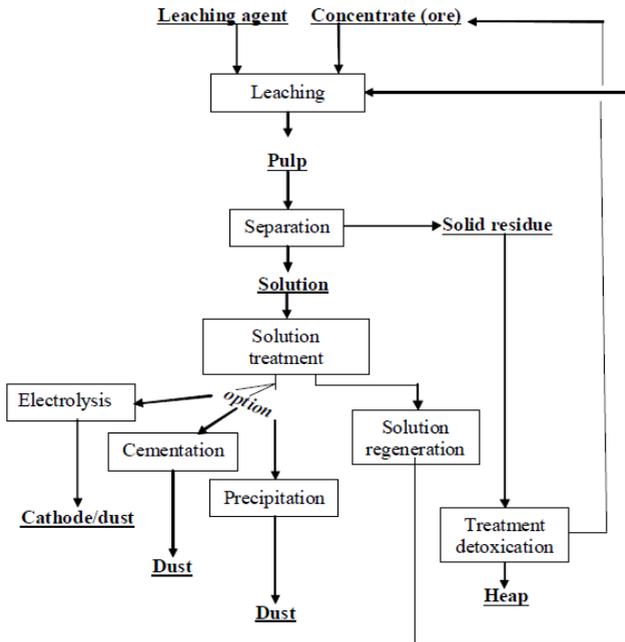
2.4. Hidrometalurgi

Pengolahan laterit biasanya menggunakan dua proses ekstraksi, yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Hidrometalurgi merupakan proses ekstraksi logam yang dilakukan pada temperatur yang rendah dengan metode *leaching* menggunakan larutan asam, sedangkan pirometalurgi merupakan proses ekstraksi logam menggunakan temperatur yang sangat tinggi. Pengolahan bijih laterit di Indonesia baru akan dilakukan jika bijih nikel yang ditemukan berkadar tinggi seperti bijih saprolit, yang biasa diolah menggunakan proses pirometalurgi dengan produk akhir akan menjadi *ferronickel* seperti yang diolah PT. Antam Tbk, di Pomalaa dan produk *nickel matte* oleh PT. INCO CVRD di Soroako. Proses hidrometalurgi sendiri yang mengolah bijih nikel berkadar rendah seperti bijih limonit belum ada yang menggunakannya di Indonesia (Himmah dkk., 2018)



Gambar 2.6 Berbagai macam Proses Pengolahan Laterit (Dalvi dkk., 2004)

Hidrometalurgi ialah ilmu yang digunakan untuk mengekstraksi logam dari bijihnya menggunakan larutan. Hidrometalurgi terbagi menjadi dua tahap yaitu: mengubah logam atau logam yang masih berbentuk bijih atau konsentrasinya menjadi larutan; proses ini disebut proses *leaching* dan selanjutnya ada proses reduksi selektif terhadap logam yang ingin direduksi (*liquid extraction*). Dapat dilihat pada Gambar 2.7 dalam kondisi normal, proses hidrometalurgi dilakukan pada temperatur sekitar 25-250°C dan biasanya dengan kondisi tekanan yang bervariasi dari vakum hingga bisa lebih dari 5000 kPa.

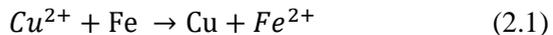


Gambar 2.7 Proses Hidrometalurgi (Havlik, 2008)

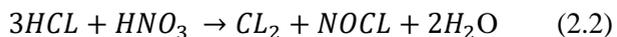
Ribuan tahun yang lalu, manusia belajar bagaimana cara membangun sebuah *furnace* dan menggunakan panas yang tercipta untuk melebur logam. Tetapi, proses reduksi logam menggunakan larutan ditemukan setelah ratusan tahun kemudian. Proses reduksi logam menggunakan larutan ditemukan oleh peneliti saat melakukan percobaan tentang larutan asam dan alkali. Proses hidrometalurgi secara modern digunakan sekitar akhir abad ke- 19, saat proses pengolahan sudah menggunakan sianida untuk mengekstraksi emas dan perak serta penggunaan proses bayer untuk pengolahan bijih bauksit digunakan. Kemudian pada tahun 1940, sebuah kemajuan pada pengolahan logam ditemukan di

Manhattan, USA untuk mengolah uranium menggunakan proses hidrometalurgi. Sejak saat itu, proses hidrometalurgi terus menunjukkan kemajuan yang pesat dan bahkan menggantikan proses *pyrometallurgy* (Habashi, 2005).

Jika dilihat dari masa lalu, hal yang melatar belakangi ditemukannya proses hidrometalurgi adalah saat dimana peneliti sedang gencar gencarnya mengadakan proyek untuk mengubah logam dasar menjadi emas, dan hal ini lah yang mendasari adanya metode hidrometalurgi. Sebagai contoh, peneliti itu mencoba menjatuhkan sebuah besi ke dalam larutan *blue vitriol* (tembaga sulfat), kemudian besi langsung bereaksi dengan larutan tembaga sulfat membuat besi tersebut tertutupi oleh lapisan logam tembaga. Proses mengubah besi menjadi tembaga merepresentasikan penggunaan proses hidrometalurgi modern yang bisa dibuktikan dengan persamaan reaksi 2.1:



Akan tetapi, saat itu larutan *blue vitriol* belum diketahui mengandung logam tembaga. Pertanyaan utama yang muncul pada saat itu ialah bagaimana proses seperti besi dan tembaga tersebut dapat menghasilkan emas. Emas, logam yang paling berharga di dunia, saat itu hanya dapat dilarutkan dengan merkuri tetapi tidak dapat larut di larutan asam atau basa yang diketahui saat itu. Penemuan *aqua regia* oleh Jabir Ibn Hayyan seorang peneliti dari Arab, dianggap sebagai gerakan utama yang menandai awal dari proses hidrometalurgi. *Aqua regia* adalah larutan hasil campuran dua larutan asam HCL dan HNO₃ yang juga dapat melarutkan emas, padahal dari kedua larutan tersebut tidak ada yang mampu melarutkan emas. *Aqua regia* sampai saat ini masih digunakan untuk memurnikan emas, dan saat ini klorin menjadi salah satu bahan aktifnya, dan reaksi dari pembuatan *aqua regia* menjadi seperti pada reaksi 2.2 :



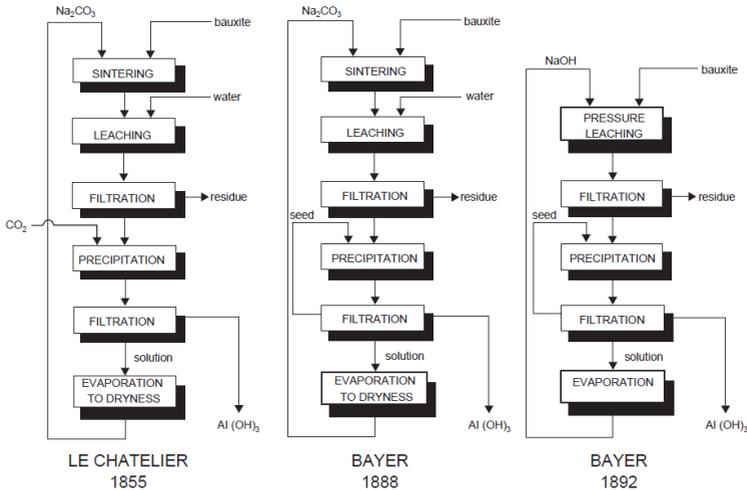
Kelahiran proses hidrometalurgi modern dimulai pada tahun 1887 dimana 2 metode hidrometalurgi ditemukan. Pertama ialah *cyanidation process* untuk mengolah logam emas dan kedua, ada proses bayer untuk memproduksi alumina (Habashi, 2005).

Proses melarutkan logam emas ke dalam larutan sianida pertama kali pada 1783 dan dilakukan oleh kimiawan asal Swedia, Carl Wilhelm Scheele. Pada tahun 1846, L. Elsner ilmuwan asal Jerman mempelajari proses reaksi yang berlangsung dan mengetahui bahwa tekanan atmosfer oksigen menjadi suatu hal yang penting pada reaksi tersebut. Aplikasi dari pembelajaran mengenai proses pengolahan logam emas dari bijihnya itu mulai dipublikasikan dan dipatenkan di Inggris oleh John Stewart pada tahun 1887 dan diketahui sebagai *cyanidation process*. G. Bodlander pada tahun 1896 membuat suatu penemuan besar pada proses pelarutan emas, bahwa pada saat proses pelarutan emas berlangsung, hidrogen peroksida akan terbentuk didalam larutan. Saat itu *Cyanidation process* sudah mulai diaplikasikan pada tambang tambang yang ada di dunia dan efeknya pada perkembangan hidrometalurgi sangat menakjubkan (Habashi, 2005).

Metode kedua hidrometalurgi biasa dikenal sebagai proses bayer, ditemukan oleh Karl Josef Bayer untuk pengolahan Al_2O_3 . Prosesnya dapat dilihat pada Gambar 2.8, proses ini fokus kepada pelindihan (*leaching*) bauxite, ditemukan 1821 di Perancis di desa kecil bernama Les Baux, dekat Marseille, dengan larutan sodium hidroksida yang berada diatas temperatur didih di dalam reaktor bertekanan. Setelah memisahkan material yang tidak larut, larutan yang sudah dipisahkan dari material yang tidak larut kemudian diendapkan menjadi kristal alumunium hidroksida. Lalu, dilakukan proses penyaringan, pembersihann pengeringan, dan pemurnian untuk mejadikan AL_2O_3 dengan kadar tinggi yang cocok untuk pengisian daya *electrolytic reduction cell* yang sudah ditemukan 2 tahun sebelumnya. Bayer pertama kali melakukan penemuan pada tahun 1887, dia menemukan bahwa $Al(OH)_3$ dapat diendapkan dari larutan basa dan tercipta bentuk kristal, juga mudah untuk

dibersihkan dari berbagai macam pengotornya, sementara itu jika diendapkan dari larutan asam menengah dan dinetralisasi menggunakan gelatin sangat sulit untuk disaring dan dibersihkan. Beberapa tahun sebelum penemuan Bayer, Louis Le Chatelier dari Perancis menjelaskan metode untuk membuat Al_2O_3 dengan memanaskan bauksit dengan Na_2CO_3 di temperatur $1200^\circ C$. Selanjutnya *leaching* alumunium yang terbentuk dengan air, kemudian mengendapkan $Al(OH)_3$ menggunakan CO_2 yang sudah disaring, keringkan dan terbentuklah Al_2O_3 dengan kadar tinggi (Habashi, 2005).

Pada tahun 1950an, hidrometalurgi yang menggunakan tekanan mulai digunakan untuk *leaching* bijih laterit, sebagai cara efisien yang langsung mengendapkan logam yang terbentuk dalam larutan. Hasilnya, orang Kanada membuat koin menggunakan teknik hidrometalurgi ini selama 40 tahun. Juga, pada masa itu didapatkan unsur uranium sebagai produk sampingan pupuk fosfat yang diolah dari pelarut organik. Meskipun proses ini sudah ditinggalkan beberapa tahun lalu sejak cadangan utama uranium ditemukan (Habashi, 2005).



Gambar 2.8 Proses bayer yang menggantikan proses *pyrometallurgy* (Habashi, 2005)

2.4.1 Proses *Leaching*

Nikel laterit merupakan cadangan nikel yang paling banyak tersedia di alam diperkirakan hampir 72% cadangan nikel dunia merupakan nikel laterit, tetapi hanya 42% produksi nikel dunia yang berasal dari pengolahan bijih nikel laterit dan sisa produksi nikel dunia merupakan hasil dari pengolah bijih nikel sulfida. Karena pengolahan cadangan nikel laterit yang dilakukan saat ini menggunakan cara yang konvensional yang tidak bisa menghasilkan nikel dengan kadar yang tinggi, maka dari itu proses hidrometalurgi dilakukan untuk menghasilkan nikel dengan kadar yang tinggi dari bijih nikel laterit (Ucyildiz dkk., 2016).

Saat ini ada beberapa metode *leaching* yang sering digunakan dalam skala industri, riset maupun penelitian dalam laboratorium. Penggunaan metode *leaching* tersebut di aplikasikan sesuai dengan kebutuhan penelitian, hasil maupun biaya yang digunakan. Maka dari itu perlu adanya analisa terkait kondisi yang

di inginkan. Metode metode proses *leaching* yang sering digunakan tersebut ialah sebagai berikut:

1. HPAL (*High Pressure Acid Leaching*)

Pada hidrometalurgi salah satu cara yang digunakan ialah proses *leaching* dengan menggunakan berbagai macam jenis asam salah satunya jenis asam sulfat yang dinilai merupakan cara yang cukup ekonomis untuk mengolah bijih nikel laterit menjadi nikel dengan kadar yang tinggi. Proses hidrometalurgi dari nikel laterit berasal dari bijih limonit dan smectite. Bijih ini mempunyai kadar MgO yang rendah dan kadar Fe yang tinggi. Prosesnya berlangsung pada temperatur tinggi dan menggunakan larutan asam. Proses ini sering disebut *high-pressure acid leaching process* atau *HPAL process*. Pada temperatur tersebut kandungan besi akan berubah menjadi hematit dan akan terpisah dari larutan *leaching*, sehingga dalam larutan hanya terdapat kandungan nikel dan kobalt. Setelah bijih melewati proses *leaching*, larutan akan didinginkan untuk menghemat energi yang digunakan. Larutan yang didinginkan kemudian di pranetralisasi dan dikirim ke tangki pemisah, dimana larutan akan difilter antara padatan dan larutan. Selanjutnya larutan yang sudah difilter akan kembali di netralkan untuk menghilangkan pengotor pengotor yang ada. (Crundwell, 2005).

2. APAL (*Atmospheric Pressure Acid Leaching*)

Larutan asam yang digunakan dalam proses *leaching* untuk mereduksi logam, mempunyai kemampuan yang berbeda untuk mereduksi materialnya. Saat ini, ada banyak metode dalam proses *leaching* untuk memproduksi nikel dari bijihnya. Maka dari itu hanya ada beberapa metode *leaching* yang dinilai sangat baik untuk diterapkan pada industri. Proses *leaching* juga dapat menggunakan tekanan atmosfer biasa disebut *atmospheric pressure acid leaching* (APAL). Pada metode ini bijih dilarutkan dengan larutan asam berkonsentrasi dan akan terjadi proses pelarutan

mineral mineral logam. Pada proses *leaching* dengan tekanan atmosfer biasanya menggunakan temperatur dibawah temperatur didih larutan sekitar 90-95°C. selama proses *leaching* berlangsung, penambahan hidrogen peroksida pada awal proses akan sangat membantu proses oksidasi bijih/logam sehingga mempercepat laju reaksi pada proses ini (Wanta dkk., 2017). Jika dibandingkan dengan proses *leaching* yang menggunakan tekanan yang tinggi (HPAL), metode APAL lebih efisien karena kebutuhan energinya yang rendah sehingga bisa mengurangi biaya operasional (Kusuma,2012).

3. *Agitation leaching*

Agitation leaching, dilakukan menggunakan muatan yang sangat halus, hal tersebut terjadi karena laju reaksi yang besar antar area permukaan muatan. Proses agitasi yang dilakukan meminimalisir ketebalan lapisan difusi dan memaksimalkan area anatar fase gas dan fase cair. *Agitation leaching* merupakan salah satu metode yang mahal karena menggunakan tangki autoclave berukuran besar. Karena kondisi proses *leaching* menggunakan asam, penggunaan material untuk bahan tangki harus mempunyai kemampuan untuk menahan laju korosi dan erosi. Biasanya prosuksi tangkin dibuat secara khusus dengan menggabungkan baja karbon, titanium dan tanah alkali untuk menghalangi laju korosi tersebut. *Agitation leaching* kebanyakan menggunakan atmosfer normal pada prosesnya. Tangki autoclave dilengkapi dengan pengaduk mekanis atau *blower* penghembus udara sehingga dapat digunakan untuk pengadukan (Havlik, 2008).

4. *Percolation Leaching*

Percolation leaching digunakan untuk bijih logam yang relative kecil dengan besar ukuran partikel 9-12 mm, dan hal ini lah yang mendasari nama lain *percolation leaching* yaitu *sand leaching*. Bijih logam diproses dalam tangki

besar dimana dibagian bawah tangka dibawahnya diberikan filter agar ukuran partikel yang melebihi tidak bisa masuk. Tangki kapasitas proses ini biasanya bisa memuat hingga 12.000 ton bijih dan dapat mengisi dan mengosongkan secara otomatis. Metode ini sangat menguntungkan karena tidak memerlukan system filtrasi yang mahal dan mampu menghasilkan produk dengan konsentrasi tinggi (Havlik, 2008).

5. *Heap leaching*

Proses *heap leaching* dan *dump leaching* memiliki banyak keasamaan, meskipun ada beberapa perbedaan dalam jenis dan bahan yang larut. Pada *heap leaching* proses pengolahan batuan mengandung mineral logam yang dilakukan tanpa melalui proses mekanis terlebih dahulu. Proses ini dilakukan dengan cara menyiram tumpukan batuan berjumlah besar / raw material dengan alarutan asam kimia pelarut. Hasil dari proses ini ialah larutnya logam-logam yang diinginkan, terionisasi bersama larutan kimia yang disiramkan pada raw material. Akibat dari sifat cairan yang mencari tempat paling rendah, maka larutan logam tersebut terkumpul dalam kolam penampung cairan. Setelah beberapa waktu, yang diperkirakan larutan telah kaya akan ion-ion logam yang diinginkan, dilakukan proses penyerapan ion ke dalam bahan penyerap (adsorbent), hingga adsorbent mengalami penyerapan maksimal. Sementara adsorbent telah kenyang (jenuh), proses penyiraman tumpukan tetap dilakukan, menggunakan aliran pelarut yang bersirkulasi secara terus-menerus. Proses penyiraman baru dianggap selesai jika biaya produksi telah menyamai nilai dari hasil pengolahan (keuntungan nol). Pada titik ini, tingkat *yield* / perolehan logam yang diinginkan sudah berkisar 55% – 60% dari total kandungan logam dalam batuan (Havlik, 2008).

6. *Leaching in situ*

In situ leaching ialah proses pengambilan mineral berharga secara langsung menggunakan *underground ore bodies* yang melibatkan proses deposit bijih di bawah tanah untuk mengambil mineral yang diinginkan (Havlik, 2008).

Tabel 2.2 Metode *leaching* (Havlik, 2008)

Metode <i>Leaching</i>	Ukuran Partikel	Durasi Proses	Cost
<i>Agitation Leaching</i>	< 0.5 mm	90-95% per 24 jam	Modal dan biaya produksi yang tinggi
<i>Pressure Leaching</i>	1–45 μ m	90-95% per 24 jam	Modal dan biaya produksi yang tinggi
<i>Percolation leaching</i>	< 10 mm	80 % per minggu	Modal tinggi
<i>Heap leaching</i>	Serpihan	50 % per bulan	Modal dan biaya produksi yang rendah
<i>Dump leaching</i>	Ukuran bijih ditambang	50 % per 1–2 tahun	
<i>In-situ leaching</i>	Material yang sudah dihancurkan	beragam	

Ada banyak faktor yang mempengaruhi dan meningkatkan hasil *yield* dari proses *leaching* sendiri yaitu:

1. Temperatur proses *leaching*, Temperatur akan sangat mempengaruhi energi kinetik pada reaksi proses

- leaching*. Penggunaan temperatur yang tinggi pada proses *leaching* akan meningkatkan hasil *yield* logam (McDonald, 2008).
2. Ukuran partikel, ukuran partikel bijih/logam *feed* akan mempengaruhi seberapa luas permukaan yang akan mengalami kontak dengan *leaching agent*. Dengan berat sampel *feed* yang sama, penurunan ukuran partikel bijih/logam akan menghasilkan luas permukaan total bijih yang melakukan kontak dengan *leaching agent* menjadi lebih besar sehingga membuat *yield* dari logam akan meningkat (Kusuma, 2012).
 3. Waktu *leaching*, durasi pada proses *leaching* akan mempengaruhi hasil *yield* logam. Semakin lama waktu yang digunakan pada proses *leaching* akan semakin meningkatkan hasil produk karena proses reduksi antara *leaching agent* dan padatan bijih/logam akan terus terjadi selama proses *leaching terjadi* (Fan, 2013).
 4. Densitas *pulp*, densitas disini diartikan sebagai perbandingan antara massa logam/bijih *feed* yang masuk dengan volume *leaching agent* yang digunakan. Biasanya desitas *pulp* yang semakin tinggi akan meningkatkan luas permukaan total bijih yang akan melakukan kontak dengan *leaching agentnya* dan akan meningkatkan hasil *yield* (Keong, 2003).
 5. Jenis asam dan konsentrasi asam, ada berbagai macam jenis asam yang digunakan pada proses *leaching* seperti jenis inorganik (misalnya asam sulfat) dan jenis organik (misalnya asam nitrat). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan asam inorganik seperti asam sulfat pada proses *leaching* akan memberikan hasil *yield* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil proses *leaching* yang menggunakan asam organik. Selain itu, penggunaan konsentrasi asam yang lebih tinggi akan memberikan efek *yield* yang lebih baik ketimbang dengan hasil dari proses *leaching* menggunakan asam

- dengan konsentrasi rendah, dikarenakan penggunaan larutan asam dengan konsentrasi yang tinggi akan mempercepat laju reaksi dari proses *leaching* (Tszefaris, 1994).
6. Kecepatan agitasi, kecepatan agitasi atau kecepatan proses pengadukan akan mempengaruhi tumbukan antar molekul yang terjadi pada proses *leaching*. Semakin tinggi kecepatan proses agitasi yang digunakan maka tumbukan antar molekul yang terjadi akan semakin besar juga, sehingga laju reaksi akan meningkat dan hasil *yield* logam akan semakin tinggi (Valiz, 2001).
 7. Penambahan senyawa lain dinilai menjadi salah satu faktor penting dalam proses *leaching*, dibuktikan dengan beberapa penelitian pada proses *leaching* dan ditambahkan senyawa yang berperan sebagai reduktor atau oksidator (misalnya sulfur oksida, hidrogen peroksida) dan garam (NaCl). Penambahan senyawa tersebut akan mempengaruhi reaksi redoks dalam proses *leaching*, sedangkan penambahan garam sendiri akan menimbulkan efek kompleksasi ion logam dengan ion negatif yang terkandung dalam asam (Fan, 2013).

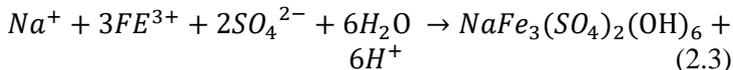
2.4.2 Proses Netralisasi dan Presipitasi

Keuntungan lain dari proses *leaching* ialah larutan residu dari hasil *leaching* bisa jadi merupakan unsur unsur yang bernilai jual tinggi dan dapat dipisahkan dengan larutan *leaching* menggunakan proses netralisasi dan proses presipitasi. Proses netralisasi larutan *leaching* dapat menggunakan NaOH dan Na_2SiO_3 sebagai bahan untuk penetralisir dan presipitasi. Salah satu zat yang ada pada larutan residu proses *leaching* ialah polymer anorganik dengan kekuatan yang tinggi, hampir mencapai 40 MPa, dapat diproduksi jika 10% metakaolin ditambahkan pada residu tersebut. Polymer tersebut dapat dijadikan aplikasi pada bahan konstruksi bangunan (Komnitsas dkk., 2019).

Kekurangan utama dari proses *atmospheric leaching* ialah konsumsi asam yang tinggi dan perlunya proses netralisasi. Biasanya, komposisi dari bijih nikel laterit sendiri sangat banyak mengandung unsur Fe. Nikel bisa saja akan tersubstitusi dengan unsur besi mineral FeO seperti *goethite* dalam proses *leaching* karena pada proses *leaching* belum ditemukan cara untuk mereduksi selektif unsur nikelnya saja, maka dari itu, perlu adanya proses dekomposisi *gheotite* pada larutan *leaching* (Whittington dkk., 2000). Pada proses *high pressure acid leaching* (HPAL), kebanyakan unsur besi yang larut dalam larutan *leaching* akan langsung melakukan presipitasi menjadi *hematite* karena tekanan dan temperatur yang digunakan selama proses ini, tetapi dalam kasus proses AL, unsur besi akan benar benar larut dalam larutan dan *gheotite* tidak akan berubah menjadi *hematite* dan harus dilakukan proses netralisasi untuk menghilangkan unsur Fe nya sebelum proses *yield* nikel dilakukan (Wang dkk., 2018). Selama proses *leaching* nikel laterit, penghilangan logam Fe dari larutan *leaching* biasanya menggunakan batu kapur dan tergantung dengan kadar logam Fe yang terbentuk, hal ini bisa menjadikan biaya proses menjadi tidak ekonomis. Maka dari itu, perlunya metode yang lebih efektif untuk mengontrol kadar logam Fe pada larutan *leaching* sehingga bisa meminimalisir konsumsi asam dan biaya untuk menetralsir pada proses *atmospheric leaching* (Miettinen dkk., 2019).

Ide untuk mengkombinasikan proses *leaching* yang efektif dan presipitasi logam besi yang ada pada proses *leaching* sudah sering menjadi fokus para peneliti, salah satunya ialah Arroy dan Neudorf. Pada penelitiannya, dia membuktikan bahwa bijih limonit saat dalam proses *leaching* akan larut dengan mineral mineral lain didalam larutan asam, sedangkan bijih saprolit diakhir proses *leaching*, harus dilakukan presipitasi logam besinya (*jarosite*) karena kadar logam besi yang tinggi pada bijih saprolit dalam menurunkan kadar Ni yang terbentuk. Penemuan hal ini dapat mengurangi penambahan senyawa *neutralization agent* untuk menghilangkan kadar logam besi didalam larutan *leaching* dan juga

dapat meningkatkan kemungkinan tingkat keberhasilan proses *leaching* (Arroyo dkk., 2001). Gagasan yang hampir serupa dikemukakan oleh Leppinen, tetapi pada penelitian dia berbasis menggunakan bijih nikel sulfida, dia mengemukakan bahwa pada proses netralisasi larutan *leaching* untuk menghilangkan logam Fe yang masih ada dalam larutan berlangsung penyesuaian pH yang pas akan membuat logam-logam pengotor selain Fe seperti tembaga dan zinc akan ikut terpresipitasi sehingga bisa ikut hilang dari larutan *leaching* tersebut (Leppinen dkk., 2011). Pada 2013, White dan Gillapsie menjelaskan dalam penelitiannya tentang proses *leaching* nikel laterit dengan presipitasi jarosit, termasuk cara untuk menetralkan menghilangkan unsur-unsur logam pengotor lainnya yang ada proses *leaching* nikel laterit. Dalam larutan asam sulfat, natrium jarosit ($\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) akan terbentuk pada jalannya proses *leaching* dengan adanya ion besi (Fe^{3+}) dan natrium (Na^+) yang larut sesuai dengan reaksi 2.3 sebagai berikut:



Pada reaksi pembentukan jarosit di atas, reaksi tersebut terlihat menghasilkan asam dan hal ini merupakan sebuah kemajuan yang baik terhadap penelitian tentang konsumsi asam pada proses *leaching* ini. Kondisi yang optimal untuk reaksi ini terjadi ada disekitar $\text{pH} < 2.5$ dan temperatur proses sekitar $80\text{--}100^\circ\text{C}$ (Dutrizac dkk., 1999). Pada penelitian tersebut, tujuan khususnya ialah melakukan penelitian tentang proses *leaching* nikel laterit yang berasal dari Yunani dan proses presipitasi jarositnya. Penelitiannya berfokus kepada karakteristik bijih nikel laterit dan kecocokan bijih tersebut apakah bijih tersebut dinilai layak untuk diolah menggunakan proses *leaching* atau tidak dengan penilaian pertama yaitu presipitasi jarosit yang akan menjadi landasan pengembangan penelitian tersebut. Jika kontrol terhadap logam Fe nya bisa optimal dan berhasil dalam proses penelitian,

maka akan dirancang proses untuk skala yang lebih besar (Das dkk., 1996).

2.5. Termodinamika Proses *Leaching*

Dalam beberapa riset, termodinamika yang terjadi pada proses *leaching* merupakan salah satu aspek yang sangat penting yang mempengaruhi hasil ekstraksi nikel. Dalam proses *leaching*, termodinamika yang terjadi erat hubungannya dengan laju reaksi proses yang berlangsung. Laju reaksi sendiri menyatakan besarnya perubahan konsentrasi pereaksi (reagen) dalam satuan waktu. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju reaksi seperti:

1. Konsentrasi asam yang digunakan

Konsentrasi zat berkaitan dengan jumlah partikel zat terlarut. makin besar konsentrasi zat, maka jumlah partikel zat terlarut akan makin banyak dan jarak antar partikel makin dekat, sehingga kemungkinan tumbukan makin sering terjadi dan reaksi berlangsung lebih cepat. dengan demikian makin besar konsentrasi zat, makin cepat terjadinya reaksi.

2. Temperatur proses

Pada umumnya saat temperatur dinaikkan, laju reaksi bertambah cepat. hal ini disebabkan makin tinggi temperatur prosesnya kecepatan gerak partikel-partikel pereaksi dan energi kinetik partikel akan ikut meningkat, sehingga makin banyak partikel yang memiliki energi kinetik di atas energi pengaktifan.

3. Luas permukaan Partikel

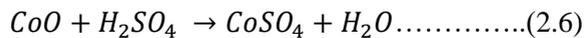
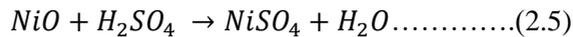
Zat yang berbentuk serbuk akan mempunyai permukaan yang lebih luas bila dibandingkan dengan zat yang berbentuk kepingan atau butiran, sehingga bidang sentuhnya lebih banyak untuk bertumbukan dengan zat lain. akibatnya zat yang berbentuk serbuk, reaksinya lebih cepat daripada zat yang berbentuk kepingan atau butiran.

4. Zat Katalisator

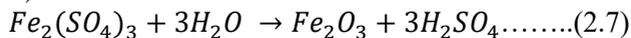
Katalisator adalah zat yang dapat mempercepat laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi, sehingga kompleks

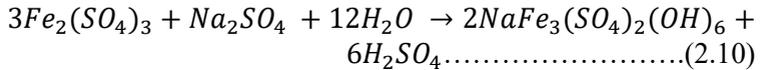
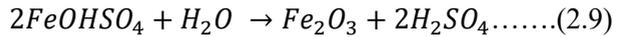
teraktivasi lebih cepat terbentuk dan laju reaksi menjadi lebih cepat. (Havlik, 2008).

Pada proses *leaching* yang menggunakan asam sulfat, bijih nikel laterit akan berinteraksi dengan asam sulfat dalam tabung reaktor dengan temperatur tertentu dan waktu sekitar 60 menit atau lebih. Dalam proses *leaching* yang terjadi, kandungan logam Fe akan mengalami presipitasi, membentuk oksida padat dan sulfat yang tidak terlarut, sementara logam nikel dan kobalt akan terlarut secara sempurna. Dengan cara tersebut, pemisahan antara logam nikel kobalt dan logam Fe akan menjadi efektif. Reaksi presipitasi logam besi dalam mineral goethite menjadi besi sulfat di tunjukkan pada persamaan reaksi 2.4. sementara logam nikel dan kobalt diperkirakan ada pada kandungan mineral goethite dan diasumsikan berada pada bentuk oksida, sehingga dapat larut pada larutan asam sulfat sehingga menghasilkan persamaan reaksi 2.5 dan persamaan reaksi 2.6

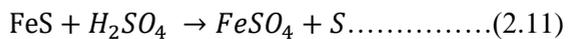


Setelah proses pelarutan mineral goethite, ion besi menghasilkan proses hidrolisis dengan cepat dan hasilnya didapatkan endapan hematit seperti pada persamaan 2.7 atau sebagai besi sulfat pada persamaan 2.8 yang kemudian berubah menjadi hematit ditunjukkan pada persamaan 2.9. jika asam yang digunakan ialah jenis asam yang memiliki salinitas tinggi semisal Na_2SO_4 dan $NaCl$ maka akan terbentuk endapan baru yaitu jarosit seperti pada persamaan 2.10. reaksi presipitasi ini dapat meregenerasi asam yang digunakan selama proses pengendapan goethite di awal. (A. Ucyildiz, 2017).

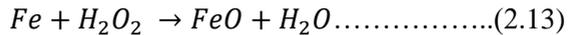
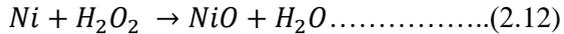




Proses hidrometalurgi (*leaching*) banyak menawarkan solusi yang sangat optimum untuk mengatasi masalah masalah yang biasa ditemukan pada proses ekstraksi logam sebelumnya, seperti masalah dengan sulfur, limbah berbahaya, kesulitan untuk mengekstraksi logam logam mulia sisa residu dari ekstraksi logam sebelumnya yang masih banyak terbuang dan lain lain (Havlik, 2008). Untuk sulfur sendiri bisa menjadi sangat menghambat dan jga bisa sangat membantu proses reduksi, sulfur akan membantu mengikat unsur Fe sehingga kadar unsur Ni akan lebih meningkat. Sebuah peneliti memaparkan hasil penelitiannya tentang pengaruh penambahan sulfur pada proses reduksi bijih nikel saprolit hasil kalsinasi. Hasilnya pada bijih saprolit tersebut penambahan sulfur secara berlebih akan menimbulkan Ni akan terperangkap dalam fasa *forsterite* sehingga menghasilkan hasil *yield* yang rendah hanya sekitar Ni=6.4% dan Fe=8.1% (Valix, 2002). Pada hidrometalurgi sendiri khususnya proses *leaching*, kehadiran sulfur akan memantu proses pembentukan senyawa NiSO₄ akan tetapi jika sulfur menjadi berlebih, sulfur akan rentan berikatan dengan Fe dan membentuk senyawa FeS dan senyawa FeS pada proses *leaching* akan mudah bereaksi dengan H₂SO₄ sehingga nantinya akan meninggalkan padatan sulfur sendiri yang tidak bisa larut pada proses *leaching*, karena adanya padatan sulfur sangat menghambat terjadinya reaksi pembentukan NiSO₄ dan nantinya akan menurunkan *yield* dari proses *leaching* ini, rekasi akan terjadi seperti pada reaksi 2.7 sebagai berikut:



Penambahan zat katalisator yang dapat mempercepat laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi, sehingga energi teraktivasi lebih cepat terbentuk dan laju reaksi menjadi lebih cepat sehingga akan sangat baik dalam jalannya proses *leaching* yang dilakukan. Salah satu zat katalisator yang digunakan dalam proses *leaching* ialah hidrogen peroksida. Reaksi yang akan dihasilkan dari penambahan hidrogen peroksida ialah mempercepat perubahan logam nikel ke bentuk oksidanya sehingga akan mempermudah reaksi dengan asam sulfat. Sebagai contoh reaksi 2.3 dan 2.4 yaitu penambahan hidrogen peroksida pada proses *leaching* nikel laterit ialah berikut:

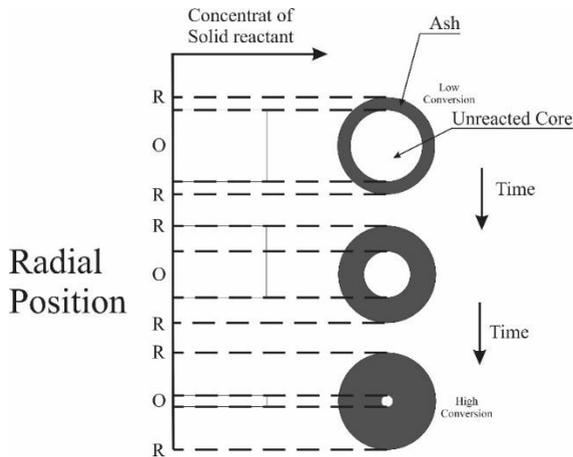


Proses *leaching* sangat erat hubungannya dengan termodinamika. Dalam prosesnya, termodinamika akan digunakan untuk menghitung kondisi seberapa efisien, cepat, spontan, dan *equilibrium* nya reaksi kimia yang berlangsung pada proses *leaching*.

Dalam proses *leaching* hasil akhir dari proses tersebut adalah perhitungan *yield*. *Yield* adalah perbandingan massa produk yang kita dapat dibagi dengan massa produk secara teori. Rumus *yield* dapat dituliskan seperti pada reaksi 2.10 berikut (Astuti, dkk., 2016):

$$\% Yield = \frac{\text{Kadar Ni dalam larutan} \times \text{volume larutan}}{\text{kadar Ni dalam sampel} \times \text{massa sampel FeNi}} \times 100\% \dots\dots(2.10)$$

Hampir semua penelitian yang dilakukan dalam hidrometalurgi yang berfokus pada pengoptimalan metode *leaching* menggunakan metode yaitu model *shrinking core*. Model ini menganggap bahwa reaksi akan terjadi pertama kali di kulit permukaan partikel. Setelah itu, zona reaksi akan berpindah ke dalam bagian yang lebih dalam partikel, meninggalkan bagian

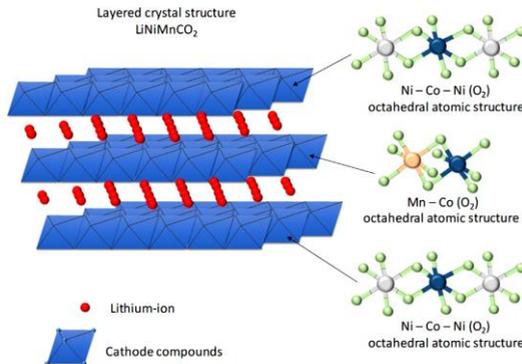


Gambar 2.9 Visualisasi Model *shrinking core*

yang sudah bereaksi menjadi padatan inert. Bagian inert tersebutlah yang biasanya menjadi produk *leaching* hal tersebut bisa terlihat pada gambar 2.10 (Levenspiel, 1999)

2.6. Baterai *Nickel Mangan Cobalt* (NMC)

Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO_2) atau biasa disebut Li-NMC dengan cepat menjadi salah satu material aktif katoda ion lithium yang paling sering digunakan karena kepadatan energinya, biaya yang relatif rendah dan mempunyai tegangan yang tinggi. NMC memiliki struktur kristal yang berlapis (*layered*) tersusun pada struktur oktahedral secara bergantian terdiri dari lapisan atom nikel dan kobalt, atom mangan dan kobalt, dan lithium yang ditunjukkan pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Struktur kristal tipe layered pada material aktif katoda NMC (Werner, 2019)

Selama beberapa dekade terakhir, jumlah dari kendaraan listrik terus mengalami pertumbuhan yang signifikan. Diprediksi pada tahun 2030 akan ada lebih dari 125 juta kendaraan listrik tersebar diseluruh penjuru dunia. Pada saat yang sama, pemakaian kendaraan listrik berteknologi tinggi ini juga membutuhkan baterai litium-ion sebagai sumber daya utama untuk menyimpan energi listriknya. Secara umum, baterai Li-ion dapat didefinisikan sebagai sistem penyimpanan energi yang mengandalkan reaksi yang terjadi dari kedua elektrodanya dimana litium ion berguna sebagai pembawa muatannya (Horiba, 2014). Berdasarkan hal tersebut, terdapat berbagai macam jenis baterai Li-ion berdasarkan kelebihanannya masing masing. Kebanyakan baterain Li-ion menggunakan elektroda negatif yang pada dasarnya terbuat dari carbon (misalnya grafit) atau litium titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$), dengan beberapa material yang masih dalam tahap pengembangan, seperti Li metal dan paduan Li(Si). Elektrolit yang digunakan sangat bervariasi tergantung dari material elektroda yang digunakan, tetapi biasanya terdiri dari litium (seperti, LiPF_6) dan larutan organik (seperti, dietil karbonat) untuk memudahkan transfer ion ion. Disini, membran pemisah digunakan untuk memudahkan ion

litium melewati kedua elektroda dan juga untuk mencegah terjadinya korsleting internal pada baterai (Hannan dkk., 2018). Konsep skema proses yang terjadi didalam baterai Li-ion bahwa elektron akan bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif, sementara itu secara bersamaan ion Li^+ akan bergerak dari elektroda negatif menuju elektroda positif untuk mempertahankan kestabilan elektron. Pada saat sistem berada di mode pengisian, arus elektron dan ion Li^+ akan bergerak berlawanan arah. Oleh karena itu, ada banyak pilihan material yang digunakan untuk pembuatan elektroda positif, negatif dan pemisah. Keterbatasan teknologi dari berbagai macam material disebabkan oleh fungsinya seperti elektrolit yang dipakai harus dapat dengan baik mengalirkan ion litium pada saat penggunaannya, dan bahan pemisah yang dipakai harus memberikan konduksi ion litium yang baik dibawah kondisi operasional dan juga harus memberikan kemampuan untuk menghentikan panas yang terjadi jika terjadi overheating. Kombinasi yang pas dalam penggunaan material pada elektroda negatif dan elektroda positif harus menghasilkan baterai dengan kapasitas yang tinggi dan juga biaya yang rendah (Miao dkk., 2019).

Perkembangan teknologi baterai saat ini sudah sangat berkembang pesat, kebutuhan akan teknologi terbaru seperti mobil listrik yang sedang tinggi tingginya membuat teknologi baterai dituntut untuk mejadi lebih modern. Saat ini terdapat lima jenis teknologi baterai litium-ion yang paling sering digunakan untuk industri otomotif. Masing masing jenis menggunakan litium sebagai pembawa muatan antara anoda dan katoda, dengan mayoritas memiliki anoda grafit tetapi memiliki pemilihan material yang berbeda untuk katodanya. Dari kelima jenis teknologi baterai yang saat ini digunakan, salah satunya ialah baterai NMC, baterai nickel mangan kobalt (NMC) memiliki tiga bentuk utama, pertama NMC111 (bentuk yang paling sederhana, berdasarkan dari tiga unsur penyusun utamanya), NMC622 (mempunyai energi densitas yang tinggi dan harga yang lebih murah dibandingkan NMC111 dan mempunyai kadar kobal yang rendah), NMC811 (dinilai

mempunyai kemampuan yang paling tinggi diantara 2 jenis lainnya). Kemampuan NMC sendiri saat ini sangat banyak dikembangkan untuk industri kendaraan listrik tetapi, dengan performanya yang sangat baik dan harga yang lebih rendah, NMC diprediksi akan digunakan untuk baterai dengan teknologi yang lebih tinggi lagi perbandingannya bisa dilihat pada tabel 2.6 sebagai berikut (Compagnol dkk., 2017)

Tabel 2.3 Jenis jenis teknologi baterai (Compagnol dkk., 2017)

<i>Type</i>	<i>Description</i>	<i>Energy Density</i> (kWh/kg)	<i>Cycle Life</i> (times)	<i>Ni Content</i> (kg/kWh)
NMC	Digunakan terutama dalam elektronik konsumen tetapi meningkatkan penggunaan dalam EV	0.60	2000 - 3000	0.69 (51 wt%)
LCO	Sebagian besar digunakan dalam aplikasi terbatas elektronik konsumen untuk Vs (mis. Tesla)	0.58	1500 - 2000	0
LMO	Teknologi yang relatif matang. Digunakan dalam EV oleh OEM Jepang (mis., LEAF, imiEV, Volt)	0.41	1500 - 3000	0
LFP	Teknologi yang relatif baru digunakan di xEVs	0.53	5000 - 1000	0

	dan ESS. Didorong oleh pabrikan A123 dan Cina (mis. BYD, STL)			
	Sebagian besar digunakan dalam elektronik			
NCA	pelanggan (sering dicampur dengan bahan kimia lain) dan kendaraan elektronik (mis. Tesla)	0.72	n/a	0.68 (49 wt%)

Elektroda litium nikel mangan kobalt oksida (NMC) memiliki energi spesifik yang tinggi dan kekuatan dengan densitas yang tinggi juga. Keistimewaan dari NMC sendiri terdapat pada penggabungan nikel dan mangan. Nikel diketahui mempunyai energi spesifik yang sangat tinggi, tetapi memiliki kestabilan yang rendah, sementara itu mangan mudah untuk dibuat dalam struktur spinel sehingga memiliki hambatan internal yang rendah tapi memiliki spesifik energi yang rendah. Dengan menggabungkan kedua unsur tersebut dengan formula yang pas diharapkan akan didapat katoda dengan sifat yang unggul. Banyak riset menggunakan elektroda nickel-rich untuk meningkatkan densitas energinya, namun harganya sangat mahal. Maka dari itu dengan mereduksinya bersama kobalt maka dapat mengurangi biaya pembuatan.

Penggabungan nikel dan mangan ini dapat saling menyempurnakan kelebihan dan kekurangan dua materia tersebut, menjadikan NMC menjadi katoda baterai Li-ion yang paling berhasil dan cocok pada penggunaan kendaraan listrik. Baterai NMC sendiri saat ini menjadi katoda dengan demand pasar yang paling tinggi diantara katoda yang lain, mengingat NMC yang mempunyai energi spesifik yang tinggi dan karakteristik termal yang sangat baik juga. Dengan kemampuan yang baik tersebut,

sudah banyak perusahaan kendaraan listrik yang menggunakan NMC sebagai baterai utamanya seperti nissan leaf, chevy volt dan BMW i3 (Miao, 2019).

2.7. Penelitian Sebelumnya tentang Proses *Leaching* Menggunakan Media Asam Sulfat

Saat ini penelitian dan riset yang membahas proses pengolahan bijih nikel laterit menggunakan metode *leaching* mengalami kenaikan yang sangat tinggi. Hal tersebut dikarenakan proses *leaching* dapat mengekstraksi kembali logam dari berbagai macam sumber seperti nikel laterit, limbah baterai, logam sisa yang tidak terpakai, dan residu yang terbentuk dari sisa pengolahan menjadi logam yang memiliki tingkat kemurnian yang baik sehingga bisa digunakan kembali menjadi bahan baku produksi. Berbagai macam riset telah dilakukan dengan berbagai macam variasi yang ada. Khususnya riset dan penelitian tentang pengaruh media asam sulfat dalam proses *leaching* yang terus menerus dilakukan dengan tujuan untuk menemukan parameter proses yang ideal dari berbagai macam variasi yang digunakan proses ekstraksi tersebut. Di bawah ini merupakan beberapa rangkuman dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang membahas proses *leaching* nikel menggunakan media asam sulfat.

Pada tahun 2014, Jennifer MacCarthy melakukan penelitian untuk menyelidiki bagaimana pengaruh atmosferic *leaching* (AL) dari silika geotit (SG) dan geotit (G) nikel laterit. Penelitian *leaching* ini dilakukan menggunakan reaksi isothermal, H₂SO₄ selama 4 jam. Penelitian ini fokus untuk mencari pengaruh ukuran partikel (-0.2 vs -2.0 mm), dan kenaikan temperatur (70 vs 95oC). penelitian terhadap efek dari ukuran partikel sendiri telah memberikan berbagai macam hasil dalam proses *leaching* (MacCarthy dkk., 2014). Umumnya, semakin kecil ukuran partikel akan membantuk meningkatkan hasil ekstraksi keseluruhan karena akan memberikan efek kebebasan dan kenaikan pada luas permukaan partikel sehingga akan meningkatkan luas permukaan yang dapat direduksi oleh asam (Merit, 1971). Proses pengecilan

ukuran partikel juga dapat mempengaruhi karakteristik proses *leaching* dengan memberikan kenaikan viskositas dari larutan *leaching* dan *yield stress*. Hal ini ditunjukkan oleh Aaltonen pada tahun 2013 bahwa proses *leaching* menggunakan ukuran partikel yang berbeda memberikan efek yang berbeda juga, khususnya pada ukuran partikel yang lebih kecil memberikan efek yaitu kenaikan laju reaksi yang sangat tinggi terhadap proses ekstraksi logam tersebut (Aaltonen, 2003). Pada tahun 2013 juga seorang peneliti bernama Quast telah lebih dulu mencoba penelitian tentang pengaruh ukuran partikel silika geotit nikel laterit menggunakan ukuran partikel -0.038, -2 dan 15 mm. Hasilnya, penelitian tersebut menunjukkan pengaruh ukuran partikel terhadap proses ekstraksi Ni dan Co yang sangat signifikan. Setelah 100 hari proses *leaching*, hasil ekstraksi dari Ni dan Co masing masing berada pada nilai 90% dan 80% pada ukuran yang lebih kecil dan hasil tersebut akan berkurang sebesar 10% terhadap ukuran partikel yang lebih besar (Quast dkk., 2013). Tetapi penelitian lain juga menunjukkan bahwa ukuran yang lebih kecil tidak akan meningkatkan produk akhir *leaching* jika feed berupa material clay-rich minerals seperti serpentin karena akan memberikan kesulitan terhadap proses downstream nya (Chen dkk., 2004). Penemuan ini memberikan informasi yang sangat penting bahwa sifat dari proses *leaching* sendiri juga sangat bergantung terhadap mineralogi dan kinetika feed yang masuk. Mengetahui dan memahami karakteristik dari feed pada proses *leaching* serta pengaruh dari ukuran partikel, waktu *leaching* dan temperatur *leaching* juga akan sangat membantu karena saling mempengaruhi dalam meningkatkan hasil ekstraksi Ni dan Co pada proses *leaching*. Pada hasil penelitian MacCarthy didapatkan pengaruh ukuran partikel -2 dan 0.2 mm pada feed SG tidak memberikan kenaikan yang signifikan pada proses *leaching*, sementara itu perbedaan ukuran partikel pada feed PLS juga tidak memberikan efek yang signifikan, tetapi pada kenaikan temperatur memberikan efek yang sangat tinggi. Untuk ukuran partikel 2 mm didapatkan hasil *leaching* Ni setelah 4 jam proses dari 330 menjadi 3300 mg/dm³ nikel, hal ini menunjukkan

10 kali lipat kenaikan hasil proses *leaching*. Untuk feed ukuran 0.2 mm juga menunjukkan kenaikan hasil *leaching* yang tinggi yaitu dari 340 menjadi 3600 mg/dm³ dari hasil ini produk dari proses *leaching* juga mengalami kenaikan 10.6 kali lipat. Berdasarkan hasil tersebut, ukuran partikel dan temperatur akan sangat mempengaruhi proses keberhasilan dari ekstraksi Ni dan Co. Dengan hasil ekstraksi dari ukuran partikel 2 mm dan 0.2 mm yang tidak memberikan perbedaan hasil yang terlalu jauh maka dinilai akan lebih ekonomis untuk menggunakan ukuran partikel yang lebih besar sebagai feed pada proses *leaching* (MacCarthy dkk., 2014).

Penelitian sebelumnya oleh Tevfik pada tahun 2017, meneliti mengenai disolusi kinetik proses *leaching* dari bijih nikel laterit dalam asam sulfat. Shrinking core model (SCM) digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisa hasil penelitian. Beberapa parameter digunakan dalam penelitian ini seperti kecepatan agitasi (100-600 rpm), konsentrasi larutan H₂SO₄ (0.1-2 molar), temperatur *leaching* (40-96°C) dan ukuran partikel *feed* untuk menemukan korelasi yang optimal dari masing masing parameter. Hasil akhir penelitian menunjukkan bahwa laju disolusi Ni sangat dikendalikan oleh difusi. Percobaan ini dilakukan menggunakan empat variasi ukuran partikel yang berbeda (-106+75, -75+45, -45+38, dan -38 μm) dalam 2 molar H₂SO₄ pada temperatur 80°C. Hasilnya, ditunjukkan persentase disolusi nikel meningkat dengan berkurangnya ukuran partikel. Persentase ekstraksi nikel mencapai 46.7% dan 100% pada proses *leaching* selama 240 menit untuk ukuran partikel -106+75 dan -38 μm. Alasan presentasi disolusi yang lebih tinggi dari ukuran partikel yang lebih kecil karena luas permukaan spesifik logam akan semakin luas. Semakin luas permukaan spesifik dari permukaan logam akan semakin tinggi ekstraksi nikel. Disimpulkan pada penelitian ini kinetika pelarutan feed nikel dalam media asam sulfat bisa dipengaruhi berbagai macam parameter, perentase disolusi nikel meningkat dengan meningkatnya konsentrasi H₂SO₄ dan temperatur *leaching* dan penurunan ukuran partikel. Tetapi, kecepatan agitasi tidak secara

signifikan mempengaruhi presentasi ekstraksi nikel pada proses *leaching* (Tevfik, 2012).

Pada tahun 2003, Hadi purwanto dan Taihei Shimada jug amelakukan penelitian terkait pengaruh ukuran partikel pada proses *leaching* nikel menggunakan larutan H_2SO_4 dengan memvariasikan ukuran partikel sebesar 0-44, 44-63, 0-177, dan 106-150 μm . dengan konsentrasi larutan H_2SO_4 sebesar 0.05mol/l, berat sampel 1 gram dan temperatur ruangan. Dihasilkan, bahwa pengaruh ukuran partikel memberikan hasil yang signifikan pada proses ekstraksi nikel. *Leaching* dengan variasi rentang yang jauh memberikan hasil laju reaksi yang tinggi diawal proses reaksi berlangsung, ekstraksi nikel dengan laju yang tinggi ini ditunjukkan pada variasi ukuran dengan rentang yang jauh seperti 0-44 dan 0-177 μm . Proses ini menunjukkan hasil yang signifikan diawal proses *leaching* berlangsung selama 5 menit awal pada partikel dengan ukuran yang kecil. Hasil yang sama juga ditemukan pada ukuran partikel dengan rentang yang pendek seperti pada 44-63 dan 106-150 μm . Hasil ekstraksi nikel meningkat dengan pengecilan ukuran partikel yang ada, dan ukuran partikel yang kecil memberikan hasil ekstraksi nikel yang sangat baik. Hasil tersebut juga ditunjukkan dengan data hasil pengujian komposisi residu pada sampel 1,2 dan 3 ditemukan komposisi residu Fe yang tinggi sebesar 53%,51%,52% dan hasil residu tidak menunjukkan adanya nikel, yang bisa diartikan bahwa proses *leaching* berlangsung sangat efisien (Purwanto, 2003)

Penelitian terbaru tentang pengoptimalan proses *leaching* telah dilakukan oleh Henokh pada tahun 2020. Pada penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisa proses *leaching* dengan spesifikasi penelitian tersebut ialah mencari konsentrasi larutan *leaching* yang memiliki *yield* Ni yang paling tinggi. Penelitian tersebut menggunakan larutan H_2SO_4 sebagai *leaching* agent, konsentrasi larutan H_2SO_4 yang digunakan kemudian divariasikan sesuai dengan variasi yang sudah ditentukan, dalam penelitian ini variasi konsentrasi yang digunakan ialah 3M, 2,5M, 2M, 1,5M dan 1M. Kemudian proses *leaching* dilakukan dengan 300 mL larutan

H_2SO_4 , H_2O_2 30% sebanyak 75 mL, temperatur 90°C , kecepatan agitasi 60 rpm, laju alir oksigen 0.5 L/menit dan dilakukan proses *leaching* selama 6 jam. Dalam penelitian ini larutan H_2O_2 digunakan untuk mengoksidasi sampel feronikel yang belum berada dalam bentuk oksida. Perlu diketahui juga, pada proses *leaching* ini digunakan *feed* berupa logam feronikel hasil dari proses smelting dan refining yang sudah memiliki kadar Ni yang tinggi, hal ini dilakukan untuk menjaga produk akhir *leaching* nantinya masih berupa $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan kadar nikel yang tinggi. Pada penelitian ini juga menggunakan alat kondensor berupa tabung silinder yang berfungsi untuk mengondensasi gas yang menguap selama proses *leaching* agar volume larutan pada proses ini tidak berkurang. Selama proses ini pH larutan juga terus diamati menggunakan pH meter, kemudian diakhir proses *leaching* larutan akan disaring menggunakan kertas saring dan akan dipisahkan anatar filtrat dan residu hasil *leaching*. Lalu, filtrat yang diperoleh akan dinetralisasi menggunakan NaOH untuk memprisipitasi pengotor seperti Fe dan Mg agar kadar Ni semakin meningkat. Setelah dilakukan proses netralisasi selesai dilakukan proses kristalisasi pembentukan kristal $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Hasilnya, pada proses ini didapatkan hasil konsentrasi H_2SO_4 yaitu pada 3M didapatkan hasil Ni sebelum proses netralisasi sebanyak 983 mg/L, 2.5M didapatkan hasil Ni sebesar 827,80 mg/L, pada 2M larutan didapatkan Ni sebanyak 800,43 mg/L, larutan 1.5M terdapat Ni sebanyak 771,69 mg/L, dan pada 1M didapatkan 468,10 mg/L nikel. Sementara itu, setelah proses netralisasi menggunakan NaOH dilakukan didapatkan hasil nikel pada larutan nikel sulfat menggunakan pengujian ICP-OES ialah pada 3M didapatkan hasil nikel sebesar 434,70 mg/L, pada 2.5 M didapatkan 597,20 mg/L nikel, pada larutan 2M didapatkan nikel sebanyak 597,20 mg/L, pada 1.5 M didapatkan hasil nikel sebesar 586,21 mg/L dan pada 1M didapatkan hasil nikel sebesar 292,46 mg/L. terdapat penurunan kadar nikel diantar proses sebelum dan setelah proses netralisasi dilakukan. Kemudian dilakukan perhitung *yield* pada variasi konsentrasi larutan H_2SO_4 . Untuk mengetahui pada

konsentrasi berupa larutan H_2SO_4 bekerja paling efisien. Lalu didapatkan variasi konsentrasi asam sulfat dengan hasil *yield* yang paling efisien yaitu pada konsentrasi asam sulfat sebesar 2M karena memiliki pengurangan kadar nikel yang paling kecil dari pada variasi 3M dan 2.5 M, juga dapat disimpulkan pada penelitian tersebut komposisi paling optimal yaitu pada variasi konsentrasi asam sulfat 2M dengan kadar nikel 14,02% karena tidak ditemukan senyawa NiO dan FeNi yang tersisa dari produk, senyawa $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ dapat terbentuk pada semua variasi konsentrasi asam sulfat, namun senyawa yang dihasilkan pada kristal $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ masih didominasi oleh Na_2SO_4 yang merupakan hasil dari produk netralisasi. Dari penelitian ini juga didapatkan saran karena ada banyak faktor yang ditemukan untuk meningkatkan efisiensi dan mengoptimalkan proses *leaching* tersebut selain konsentrasi asam sulfat yang digunakan, hal itu ialah untuk mengecilkan ukuran butir sampel yang digunakan pada proses *leaching* karena pada penelitian tersebut dari 5 gram sampel yang digunakan hanya 1 gram sampel yang dapat terlarut dalam larutan *leaching*, meningkatkan waktu *leaching* yang digunakan, lebih memperhatikan media yang digunakan dalam proses refining untuk tidak terkontaminasi dengan sulfur karena jika sampel terkena sulfur akan sangat menghambat proses *leaching* terjadi (Henokh, 2020).

Penelitian tentang optimalisasi proses *leaching* sangat penting untuk dilakukan karena sangat membantu dalam mencapai keefektifan proses *leaching* hingga bisa mengurangi konsumsi energinya, maka dari itu penelitian tentang proses *leaching* terus dilakukan, berikut Tabel 2.4 hasil penelitian terhadap proses *leaching* yang telah dirakum dan ditinjau dengan berbagai variabel penting dalam proses sebagai berikut:

Tabel 2.4 Tabel data *Paper* dengan variabel Temperatur, Ukuran Partikel, Konsentrasi, dan kecepatan Pengadukan

No.	Nickel Type	Reagent Solution	Feed (gram)	Time (min)	H ₂ SO ₄ Concentration (mol/L)	Particle Size	Stirring Speed (rpm)	Temperature (°C)	Leaching Product		Researcher
									Yield Ni	Yield Fe	
1.	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	350	85	99%	100%	Xiao, 2020
2.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	700	90	78%	-	Srečko Stopić, 2013
3.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-180+128 mm	500	80	99%	-	Hosseini, 2017
4.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	40	60	0.3	144+305 μm	350	240	94.3	2%	Ucyldiz, 2017
5.	Limonit	H ₂ SO ₄	5	480	1	150+200	400	90	95.9	-	Febriana, 2018

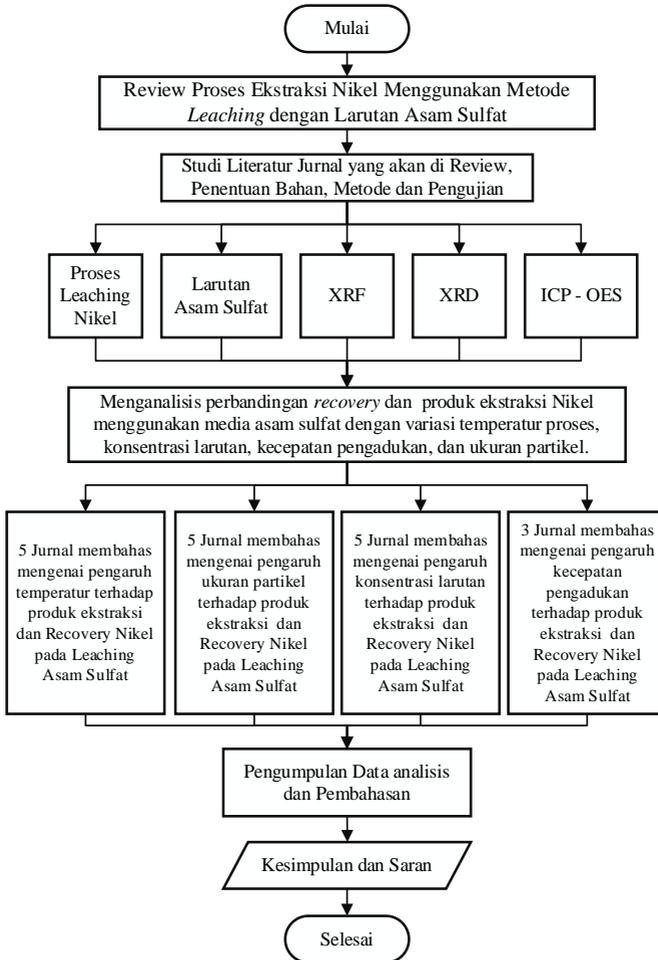
No.	Nickel Type	Reagent Solution	Feed (gram)	Time (min)	H ₂ SO ₄ Concentration (mol/L)	Particle Size	Stirring Speed (rpm)	Temperature (°C)	Leaching Product		Researcher
									Yield Ni	Yield Fe	
1.	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-58+48 μm	350	75	98%	93%	Xiao, 2020
2.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-250 +180 mm	500	25	25%	-	Hosseini, 2017
3.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	2	-38 μm	200	80	100%	-	Tevfik, 2012
4.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.05	0-44 μm	500	70	100%	-	Purwanto, 2004
5.	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	5	240	1	0.2 mm	600	95	99%	-	MacCarthy, 2014

No.	Nickel Type	Reagent Solution	Feed (gram)	Time (min)	H ₂ SO ₄ Concentration (mol/L)	Particle Size	Stirring Speed (rpm)	Temperature (°C)	Leaching Product		Researcher
									Yield Ni	Yield Fe	
1.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-250 +180 mm	500	25	24%	-	Hosseini, 2017
2.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	2	-106 μm	200	60	65.27%	-	Tevfik, 2012
3.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.4	200-160 μm	700	60	56%	18%	Srečko Stopić, 2013
4.	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	350	75	97%	92%	Xiao, 2020
5.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.05	0-44 μm	500	70	83%	21%	Purwanto, 2004

No.	Nickel Type	Reagent Solution	Feed (gram)	Time (min)	H ₂ SO ₄ Concentration (mol/L)	Particle Size	Stirring Speed (rpm)	Temperature (°C)	Leaching Product		Researcher
									Yield Ni	Yield Fe	
1.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	0.5	-106 μm	200	60	47%	-	Tevfik, 2012
2.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	700	90	57%	22%	Srečko Stopić, 2013
3.	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	450	75	94%	92%	Xiao, 2020
4.	Nickel Lateritw	H ₂ SO ₄	15	40	4	-250 μm	500	25	98.7%	-	

BAB III METODOLOGI *REVIEW*

3.1. Diagram alir



Gambar 3.1 Diagram Alir *Review* Jurnal

3.2. Bahan Percobaan

3.2.1. Bahan Penelitian Jurnal Pertama

Jurnal dengan judul *Kinetics of nickel leaching from low-nickel matte in sulfuric acid solution under atmospheric pressure*. Pada penelitian tersebut bahan baku penelitian yang di gunakan ialah nikel *matte* berkadar rendah yang berasal dari Jinchuan Group Ltd. Bahan baku penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Bahan baku jurnal pertama

Jurnal	Sampel (gram)	Sulfuric Acid (ml)	Additional Elements	Sampel Information
(Xiao, 2020)	4	800	-	Nikel Matte kadar rendah

Sampel nikel yang digunakan di lakukan proses *grinding* lalu pisahkan menjadi beberapa ukuran partikel yaitu $-150+96$, $-96+75$, $-75+58$ dan $-58+48 \mu\text{m}$, kemudian proses *leaching* juga menggunakan variasi beberapa konsentrasi asam sulfat yaitu 1, 2, 3 dan mol/L asam sulfat. Untuk mengencerkan asam sulfat digunakan *deionized water* dan semua larutan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar penelitian untuk proses analitik.

3.2.2. Bahan Penelitian Jurnal Kedua

Jurnal dengan judul *Leaching of nickel from a secondary source by sulfuric acid*. Pada penelitian tersebut menggunakan sampel *leaching* berupa nikel laterit yang di campur dengan sisa proses (*tailing*) dari proses *leaching* yang masih mengandung sekitar 29% unsur nikel. Untuk bahan baku penelitian yang digunakan pada penelitian bisa dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Bahan baku jurnal kedua

Jurnal	Sampel (gram)	Sulfuric Acid (ml)	Additional Elements	Sampel Information
(Hosseini, 2017)	20	400	-	Nikel Laterit

Sampel nikel yang akan di gunakan di haluskan menjadi beberapa variasi ukuran partikel seperti $-600 +420$ sampai $-180 +125$ mm, penelitian ini menggunakan asam sulfat 97% dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat sebesar 1,2,3 dan 4 mol/L. Kemudian untuk mengencerkan asam sulfat digunakan *deionized water*.

3.2.3. Bahan Penelitian Jurnal Ketiga

Bahan baku Jurnal ketiga yang berjudul *High Pressure Sulphuric Acid Leaching Of Lateritic Nickel Ore*. Pada penelitian ini menggunakan sampel nikel berupa nikel laterit yang berasal dari daerah Anatolia, Turki. Pada penelitian ini menggunakan *autoclave* denga temperatur proses 240°C. bahan baku utama penelitian ini bisa dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Bahan baku jurnal ketiga

Jurnal	Sampel (gram)	Sulfuric Acid (ml)	Additional Elements	Sampel Information
(Ucyldiz, 2016)	40	120	-	Nikel Laterit (Limonit)

Pada penelitian ini dilakukan menggunakan *autoclave* berukuran 600 cm³, dengan larutan asam sulfat yang memiliki standar pengujian analitik, dan air sulingan untuk mengencerkan asam sulfat. Kemudian sampel di haluskan menjadi ukuran 305, 144, 84 dan 46 μ m.

3.3. Pengujian Karakterisasi Material

3.3.1. SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

Alat pengujian SEM-XRF yang digunakan merupakan tipe alat JEOL JSM-5600 *scanning electron microscope* yang dimiliki oleh JEOL Ltd., Tokyo, Jepang. SEM-XRF merupakan pengujian yang memiliki tingkat kompleksitas hasil yang lebih tinggi ketimbang mikroskop optic, secara skematis pada pengujian ini berkas electron yang tinggi akan terbentuk dan ditembakkan melalui nozel yang akan memindai spesimen. kemudian efek yang berbeda akan dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron yang ditembakkan dan electron yang dimiliki oleh sampel kemudian pantulan sinar X akan di terima oleh sensor sensor yang akan dibaca melalui seberapa besar gelombang pantulannya. Sinar-X analitik yang di terima memungkinkan analisis kualitatif dan kuantitatif dari spesimen. Dengan demikian, SEM-XRF memberikan informasi tentang topografi, morfologi, komposisi dan sifat kristalografi dari spesimen yang dianalisis. (Girao & Caputo, 2017)



Gambar 3.2 Alat SEM-XRF tipe JEOL JSM-5600 (Xiao, 2020)

3.3.2. XRF (*X-Ray Fluorencence*)

Alat pengujian pada penelitian ini menggunakan analisis komposisi fase tailing yang dilakukan dengan menggunakan

difraktometer Philips X'Pert Pro dan XPert HighScore Plus v2.2b software PANalytical Company. X-Ray Fluorescence (XRF, Philips PW1480).

Teknik fluoresensi sinar x (XRF) merupakan suatu Teknik analisis yang dapat menganalisa unsur-unsur pada suatu material. Teknik ini juga dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada Panjang gelombang dan jumlah sinar x yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembak sinar x. Pada dasarnya prinsip kerjanya adalah sinar X primer yang berasal dari sumber pengekstiasi / radioisotop ditembakkan, pancaran radiasi sinar X tersebut akan berinteraksi dalam proses efek foto listrik. Proses interaksi tersebut akan menghasilkan pantulan sinar X sekunder yang ditangkap oleh detektor kemudian dianalisis, dan akan diubah menjadi gelombang listrik. gelombang listrik tersebut kemudian akan diperkuat oleh preamplifier dan amplifier, dan diteruskan ke sistem analisator. Gelombang listrik akan ditampilkan dalam bentuk puncak-puncak spektra sinar X. Tinggi rendah puncak spektra sinar X memiliki karakteristik energi tertentu yang berbeda satu sama lain. (Mulyono, 2012)



Gambar 3.3 XRF, Philips PW1480 (Hosseini, 2017)

3.3.3. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa yang dimiliki sampel secara kualitatif digunakan uji alat X-ray diffraction (XRD) Rigaku Rint-2000 yang dimiliki oleh Rigaku

Corp, Tokyo, Jepang, seperti pada Gambar 3.17. Dalam pengujian XRD sampel yang akan diuji sebelumnya harus sudah dihancurkan terlebih dahulu. Sinar X yang ditembakkan merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV hingga 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10-1 – 10 nm, berfrekuensi 10¹⁷ – 10²⁰ Hz dan memiliki energi 10³ – 10⁶ eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia, dan keadaan lain yang memiliki orde sama.



Gambar 3.4 Alat X-ray diffraction (XRD) Rigaku Rint-2000 . (Ucyildiz, 2017)

3.3.4. ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry*)

Kemajuan pada teknik spektroskopi atom dengan ditemukannya sumber eksitasi baru berupa plasma memunculkan teknik analisis alternatif untuk menentukan kadar logam berat menggunakan Inductively Coupled Plasma (ICP). Pada penelitian ini menggunakan alat ICP-OES inductively coupled plasma Varian VISTA-PRO CCD . pada prosesnya alat ini menggunakan Sumber eksitasi pada ICP berupa plasma yang dihasilkan dari gelombang elektromagnetik pembangkit frekuensi radio melalui kumparan

induksi. Sumber eksitasi ini menghasilkan nyala api dengan suhu tinggi, yang lebih tinggi dibandingkan ICP-OES, sehingga meminimalkan suatu gangguan kimia serta meningkatkan sensitifitas metode. Teknik ini memiliki kemampuan pengukuran analitik yang lebih baik secara simultan, sensitivitas yang tinggi, dengan batas deteksi analit rendah sampai satuan ppb dan dapat dilakukan secara mudah dan cepat. Teknik ini banyak digunakan untuk analisis logam berat yang mempunyai nilai ekonomis tinggi dan langka seperti penentuan lantanida atau aktinida. Namun, teknik ini juga mulai digunakan untuk analisis logam berat yang umumnya ada di lingkungan perairan. (Pirdaus, 2018).



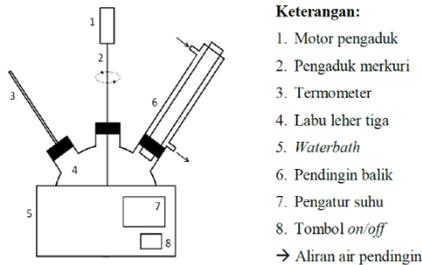
Gambar 3.5 inductively coupled plasma (ICP-OES, Varian VISTA-PRO CCD

3.4. Metode Percobaan

3.4.1. Metode Percobaan Pada Jurnal *Kinetics of nickel leaching from low-nickel matte in sulfuric acid solution under atmospheric pressure.*

Langkah pertama pada penelitian ini yaitu menghaluskan sampel nikel *matte* menjadi beberapa variasi ukuran partikel yaitu yaitu $-150+96$, $-96+75$, $-75+58$ dan $-58+48$ μm masing masing berjumlah 4 gram, larutan asam sulfat untuk proses *leaching*

digunakan sebanyak 800 ml yang di masukkan ke dalam tabung 3 leher. Tabung tersebut di letakkan di atas stirrer yang di lapisi oleh teflon. Proses *leaching* dilakukakn selama 1 jam. Selama proses *leaching* berlangsung akan diambil sampel sebanyak 2 ml setiap interval waktu yang di tentukan dan akan dilarutkan dalam tabung berukuran 100 ml untuk dilarutkan dan akan dimasukkan dalam alat uji *inductively coupled plasma-optical emission spectrometry* (ICP-OES) menggunakan tipe alat *Thermo Scientific iCAP 7200 Radial spectrometer* dan akan didapatkan kadar ekstraksi nikel selama selang waktu yang ditentukan dan hasil akhirnya akan menjadi kurva kenaikan ekstraksi nikel dalam proses *leaching* tersebut.



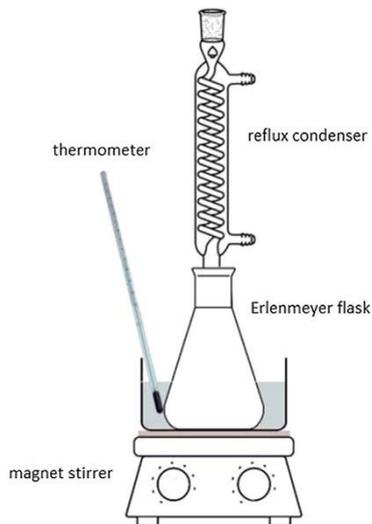
Gambar 3.6 Skema penelitian jurnal pertama (Xiao, 2020)

Proses *leaching* pada penelitian ini juga menggunakan variasi kecepatan pengadukan sebesar 250, 350 dan 450 rpm, serta variasi konsentrasi 1,2,3 dan 4 mol/L lalu memvariasikan temperatur proses 318, 328, 338 dan 348K.

3.4.2. Metode Percobaan Pada Jurnal *Leaching of nickel from a secondary source by sulfuric acid.*

Pada penelitian ini sampel dibagi menjadi 4 jenis berdasarkan ukuran partikelnya yaitu -600+420 mm, -420+250 mm, -250+180 mm, dan -180+125 mm. masing masing sampel dibuat sebanyak 20 gram yang akan di *leaching* ke dalam larutan

asam sulfat sebanyak 400 ml dengan kemurnian 97%. Sebelum proses *leaching* dilakukan, sampel akan di uji XRD untuk mengetahui fasa apa saja yang ada pada sampel menggunakan alat XRD *Philips X'Pert Pro diffractometer* dan untuk mengetahui komposisi awal dilakukan pengujian XRF menggunakan *alat X-ray fluorescence (XRF, Philips PW1480)* setelah itu proses *leaching* dilakukan selama 240 menit, dan selama proses berlangsung sampel larutan akan di ambil menggunakan flask selama interval waktu 30, 60, 120 dan 240 menit dan dimasukkan ke mesin ICP-OES Varian VISTA-PRO CCD untuk mengetahui kadar ekstraksi nikel yang dihasilkan selama proses.



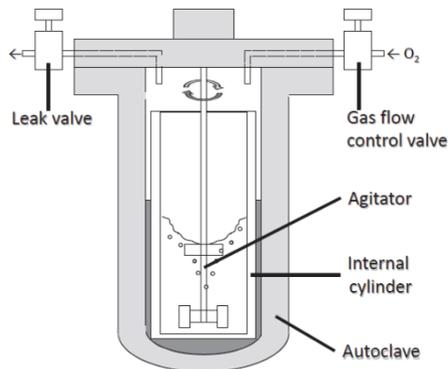
Gambar 3.7 Skema penelitian kedua (Hosseini, 2017)

Penelitian ini menggunakan kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm, penelitian ini juga meneliti tentang beberapa variabel seperti variabel konsentrasi asam sulfat yaitu 1,2,3 dan 4 mol/L, kemudian variasi ukuran partikel nikel laterit dan juga variasi temperatur proses *leaching* 25, 40, 60, dan 80°C. hasil *leaching* yang terbentuk akan di keringkan kemudian di analisis morfologi

yang terbentuk dengan pengujian SEM menggunakan alat Scanning electron microscope (SEM) (HITACHI S-4160 SEM). Di akhir proses, didapatkan kurva kurva hasil proses *leaching* yang menunjukkan persentase ekstraksi nikel yang terbentuk selama proses *leaching*.

3.4.3. Metode Penelitian Pada Jurnal *High Pressure Sulphuric Acid Leaching Of Lateritic Nickel Ore*.

Penelitian proses *leaching* ini menggunakan alat autoclave berkapasitas 600 ml dengan gelas liner yang ada didalam, skema penelitian ini ditunjukkan seperti pada gambar 3.9. pada *autoclave* tersebut akan dimasukkan 40 gram bijih nikel laterit yang sudah dikeringkan pada temperatur 105°C. Pada proses nya, larutan asam sulfat akan dimasukkan sebanyak 120 ml ke dalam *autoclave* yang sebelumnya sudah di encerkan menggunakan *distilled water*.



Gambar 3.8 Skema penelitian ketiga (Ucyildiz, 2017)

Penelitian pada proses *leaching* ini meneliti tentang temperatur proses yang optimal digunakan pada *leaching* bijih nikel laterit sehingga memberikan hasil yang baik. Temperatur proses yang divariasikan ialah sebesar 200, 210, 220, 230 dan 240°C. proses *leaching* terhitung dimulai pada saat temperatur didalam *autoclave* sudah mencapai temperatur target, rasio

asam/bijih yang digunakan sebesar 0,3 dan proses *leaching* dilakukan selama 1 jam, setelah akhir proses dilakukan pengujian ICP-OES untuk mengetahui hasil ekstraksi nikel yang diperoleh dan juga Sebagian sampel hasil *leaching* dikeringkan dan di uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk. Sebelum proses *leaching* berlangsung sampel nikel laterit sudah di uji menggunakan XRD untuk mengetahui fasa mineral penyusun. Terakhir, akan didapatkan kurva yang menunjukkan hasil ekstraksi nikel yang di peroleh melalui proses *leaching* dari pengujian ICP-OES tadi, kurva tersebut menunjukkan kenaikan ekstraksi nikel yang diperoleh selama temperatur proses yang sudah di tentukan.

3.5. Metode Pembahasan

Metode pembahasan yang digunakan dalam *Review paper* ini akan membahas tentang pengaruh temperatur proses, ukuran partikel nikel yang digunakan, konsentrasi larutan asam sulfat, dan pengaruh kecepatan pengadukan proses *leaching* nikel menggunakan media larutan asam sulfat terhadap presentase ekstraksi nikel yang terbentuk. Sampel nikel yang digunakan berasal dari nikel laterit dan nikel matte yang memiliki kadar rendah. Masing masing variabel dari pengaruh proses *leaching* menggunakan media asam sulfat ini ditentukan berdasarkan variabel yang sering dijadikan bahan penelitian maupun digunakan dalam dunia industri pengolahan nikel, karena sangat baik untuk pengoptimalan dan menaikkan faktor efektifitas dari proses ekstraksi nikel.

Data data sekunder yang digunakan dalam *Review paper* ini berupa data hasil karakterisasi menggunakan pengujian SEM-XRF, XRD, ICP-OES dan MLA yang menghasilkan output yang sama yaitu persentase ekstraksi nikel yang didapat dari masing masing proses, yang nantinya akan dibandingkan dari segi proses maupun hasil dari *leaching* nikel menggunakan media larutan asam sulfat.

Teknis analisis yang yang akan digunakan pada *Review paper* ini yaitu dengan membandingkan data sekunder yang

didapatkan dari hasil karakterisasi masing masing paper dengan teori yang ada dan memberikan analisis kritis berdasarkan data dan teori yang didapatkan dalam penelitian. *Paper* yang menjadi sumber bahan untuk di *Review* ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 3.4 Bahan *Paper* yang akan di *Review*

No.	Tahun	Nama Jurnal	Judul	Penulis
1.	2020	<i>Journal of Hydrometallurgy</i>	<i>Kinetics of nickel leaching from low-nickel matte in sulfuric acid solution under atmospheric pressure</i>	<i>Wanhai Xiao</i>
2.	2018	<i>Metalurgi</i>	<i>Kinetika dan Mekanisme Pelindian Nikel dari Bijih Limonit : Pengaruh Waktu dan Temperatur</i>	<i>Eni Febriana</i>
3.	2017	<i>Journal of Environmental Chemical Engineering</i>	<i>Leaching of nickel from a secondary source by sulfuric acid</i>	<i>Seyed Abolfazl Hosseini</i>

			<i>High Pressure Sulphuric Acid Leaching Of Lateritic Nickel Ore Atmospheric pressure leaching of nickel from a low-grade nickel- bearing ore Atmospheric pressure acid leaching of Caldag lateritic nickel ore Atmospheric acid leaching of nickel laterites: effect of temperature, particle size and mineralogy</i>	
4.	2017	<i>Journal of Physicochemical Problems of Mineral Processing</i>		<i>Ayşe Ucyildiz</i>
5	2017	<i>Physicochemical Problems of Mineral Processing</i>		<i>Sepideh Javanshir</i>
6	2016	<i>International Journal of Mineral Processing</i>		<i>Sait Kursunoglu</i>
7.	2014	<i>Journal of Chemaca</i>		<i>Jennifer MacCarthy</i>

8	2014	<i>Resources Processing 61</i>	<i>Recovery of Nickel and Cobalt from a Low Grade Laterite Ore</i>	<i>Altansukh</i>
9	2013	<i>Erzmetall: Journal for Exploration, Mining and Metallurgy</i>	<i>Sulphuric Acid Leaching of the Serbian Nickel Lateritic Ore</i>	<i>Srećko Stopić</i>
10.	2012	<i>Journal of Acta Montanistica Slovaca</i>	<i>kinetics of a lateritic nickel ore in sulphuric acid medium</i>	<i>Tevfik Agacayak</i>
11	2003	<i>Isij International - ISIJ INT.Vol 43</i>	<i>Yield of Nickel from Selectively Reduced Laterite Ore by Sulphuric Acid Leaching</i>	<i>Hadi Purwanto</i>

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi Bahan Penelitian

4.1.1. Karakterisasi Sampel Sebelum Proses *Leaching*

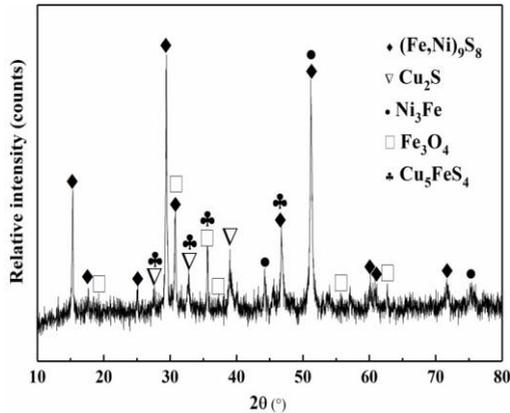
Pada penelitian yang dilakukan Xiao (2020) sampel yang berupa nikel *matte* berkadar rendah di uji menggunakan pengujian SEM-XRF dengan tipe alat JEOL JSM-5600 *scanning electron microscope* yang dimiliki oleh JEOL Ltd., Tokyo, Jepang, untuk mengetahui komposisi sampel nikel *matte* sebelum proses *leaching*, dan di dapatkan komposisi sampel sebagai berikut :

Tabel 4.1 Komposisi kimia (wt.%) sampel nikel *matte* untuk proses *leaching* (Xiao, 2020)

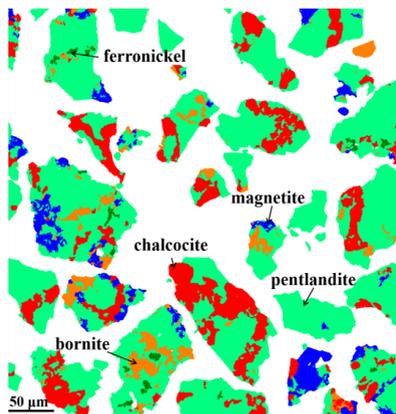
<i>Size Fraction</i> (μm)	Fe	Co	Ni	Cu	S
-150+96	28.5	0.4	25.8	19.1	26.1
-96+75	27.2	0.4	24.8	18.9	26.0
-75+58	27.2	0.4	24.3	18.9	24.2
-58+48	26.2	0.4	22.9	18.7	25.2

Kemudian dilakukan pengujian *X-ray diffraction* (XRD) dengan tipe alat *Rigaku Rint-2000 diffractometer* yang dimiliki Rigaku Corp., Tokyo, Jepang untuk mengetahui fasa apa saja yang ada pada sampel nikel *matte* berkadar rendah tersebut, seperti pada gambar 3.2. Pada gambar tersebut dapat terlihat bahwa mineral utama yang terkandung pada sampel di dominasi oleh pentlandite ((Fe, Ni)₉S₈), magnetite (Fe₃O₄), bornite (Cu₅FeS₄), ferronickel (Ni₃Fe) dan chalcocite (Cu₂S). Lalu untuk mengetahui komposisi berat dari masing masing mineral penyusun sampe nikel *matte* dilakukan pengujian tambahan berupa *mineral liberation analysis* (MLA) menggunakan tipe alat FEI MLA 650 ESEM *mineral*

liberation analyzer yang dimiliki FEI Co., Hillsboro, USA., dan didapatkan hasil pengujian MLA seperti pada gambar 3.3.



Gambar 4.1 Hasil pengujian XRD pada sampel nikel *matte* berkadar rendah (Xiao, 2020)



Gambar 4.2 Hasil pengujian *mineral liberation analysis* (MLA) pada sampel nikel *matte* (Xiao,2020)

Pada hasil pengujian *Mineral Liberation Analysis* (MLA) di dapatkan komposisi berat masing masing mineral penyusun sampel nikel *matte* sebagai berikut

Tabel 4.2 Hasil pengujian komposisi berat MLA (Xiao,2020)

Mineral	% by weight
Pentlandite ((Fe, Ni) ₉ S ₈)	66.2
Magnetite (Fe ₃ O ₄)	6.6
bornite (Cu ₅ FeS ₄)	8.7
ferronickel (Ni ₃ Fe)	2.8
chalcocite (Cu ₂ S)	14.5

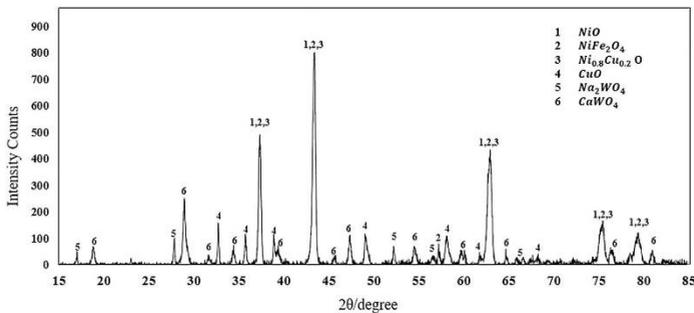
Pada penelitian yang dilakukan Hosseini pada tahun 2017 digunakan material berupa nikel dari proses ekstraksi nikel yang masih mengandung unsur nikel sebesar 29%. Untuk mengetahui komposisi yang lebih detail di lakukan pengujian XRF pada sampel *Tailing* tersebut dan pengujian XRD untuk di ketahui mineral penyusun daeu sampel tersebut. Data hasil XRF bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3. Komposisi sampel nikel dari hasil XRF (Hosseini, 2017)

<i>component</i>	<i>Amount (wt%)</i>
Na	1.89
Mg	0.15
Al	0.04
Si	0.65
Ca	1.8
Ti	0.05
Mn	0.03
Fe	3.25

Co	0.79
Ni	29.6
Cu	9.76
W	8.45
Ta	0.60

Dari hasil XRF tersebut kadar 2 logam utama yaitu Ni dan Fe yang didapat dari sampel mencapai 29% dan 3.25%, maka dari itu penelitian ini menggunakan produk tersebut agar nantinya proses ekstraksi nikel berjalan dengan optimal dan meminimalisir adanya logam-logam berharga seperti Nikel dan Fe yang terbuang. Sementara itu untuk mineral penyusun sampel dilakukan pengujian XRD seperti berikut:



Gambar 4.1. Hasil XRD sampel (Hosseini, 2017)

Pada hasil XRD tersebut, peak-peak NiO, NiFe₂O₄ dan Ni_{0.8}Cu_{0.2}O mendominasi sebagai komposisi mineral utama penyusun sampel, lalu terdapat juga peak mineral CuO, Na₂WO₄, dan CaWO₄ yang ada pada sampel tetapi memiliki peak dengan intensitas yang rendah.

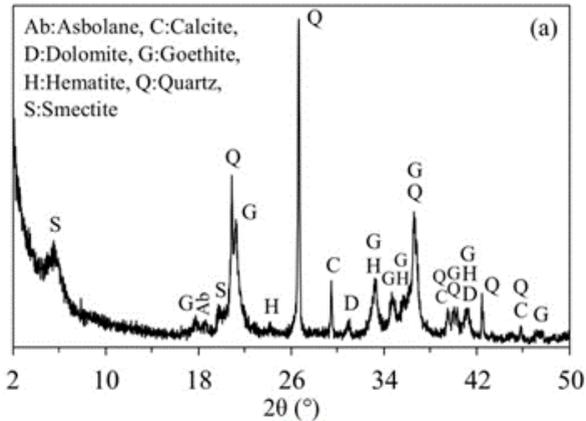
Pada penelitian lain oleh Ucyildiz tahun 2016 menggunakan sampel berupa nikel laterit yang didominasi dalam jenis limonit, penelitian ini diawali dengan mengkaraktirisasi sampel limonit agar diketahui komposisi kimia penyusun sampel

dan mineral apa saja yang terdapat pada sampel limonit tersebut. Data hasil pengujian komposisi kimia didapatkan seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.4 Tabel Komposisi kimia sampel limonit (Ucyildiz, 2016)

<i>Component</i>	<i>Amount (wt%)</i>
SiO ₂	29.44
Al ₂ O ₃	4.02
Fe ₂ O ₃	47.72
MgO	1.56
CaO	1.91
Cr ₂ O ₃	2.38
MnO	0.75
Ni	1.37
Co	0.076
S	0.03
<i>Loss on ignition</i>	10.20

Pada tabel di atas jumlah logam Fe dan silika memiliki persentase yang tinggi sementara MgO memiliki persentase yang rendah, hal tersebut menunjukkan karakteristik dari bijih nikel limonit sedangkan unsur logam Ni hanya 1.37% dalam sampel limonit. Untuk data mineral penyusun yang ada di dalam sampel limonit dilakukan pengujian XRD dan di dapatkan sebagai berikut:

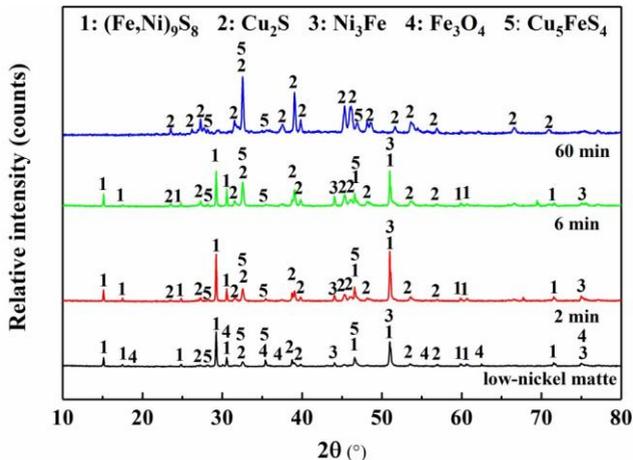


Gambar 4.2 Hasil XRD sampel limonit
(Ucylidiz, 2016)

Pada data XRD diatas secara mineralogi, sampel mengandung mineral utama seperti goethite dan kuarsa, sedangkan mineral seperti kalsit, dolomit, smektit, hematit, dan asbolane hanya memiliki peak yang cenderung rendah. Seperti terlihat pada Gambar diatas, tidak ada puncak difraksi sinar-X (XRD) yang menunjukkan bahwa mineral nikel secara terpisah, yang menunjukkan bahwa unsur nikel ditemukan dalam struktur atau teradsorpsi pada permukaan fase goethite, smectite dan atau asbolane, seperti juga diamati dalam bijih nikel laterit pada umumnya (Whittington dan Muir, 2000).

4.1.2. Karakterisasi Sampel Sesudah Proses *Leaching*

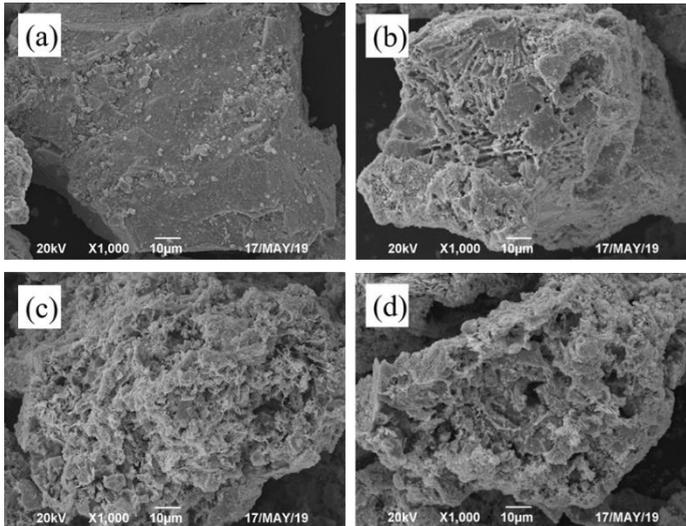
Pada penelitian yang dilakukan xiao (2020) juga menganalisis residu yang terbentuk akibat proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat. Hasil residu tersebut di karakterisasi menggunakan pengujian XRD dan di dapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4.3 Hasil pengujian XRD terhadap residu yang terbentuk pada proses *leaching*

Pada hasil uji alat XRD diatas sampel residu proses *leaching* diambil di interval waktu yang berbeda, yaitu pada 2 menit, 6 menit dan 60 menit proses *leaching*. Diketahui bahwa hasil XRD low nickel matte menunjukkan mineral mineral penyusun seperti pentlandite ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$), bornite (Cu_5FeS_4) dan chalcocite (Cu_2S) dan Magnetite (Fe_3O_4). Pada hasil XRD dalam 2 menit awal proses *leaching* diketahui mineral magnetit ialah mineral pertama yang di reduksi dalam proses *leaching* oleh asam sulfat maka dari itu pada hasil XRD di 2 menit awal sudah tidak terlihat mineral magnetit pada residu. Selanjutnya, peak puncak dari mineral pentlandite secara bertahap menghilang hingga proses *leaching* berlangsung selama 1 jam, sementara itu untuk mineral bornite dan chalcocite intensitasnya semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu proses *leaching*. Dari hal ini dapat diketahui bahwa mineral pentlandite dan feronikel secara selektif terlarut dalam larutan asam sulfat. Sedangkan mineral bornite dan Chalcocite tetap berada pada “lapisan film”. Pada 6 menit awal proses *leaching*

didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 50% dan fase mineral Ni_3Fe masih terlihat pada hasil XRD.

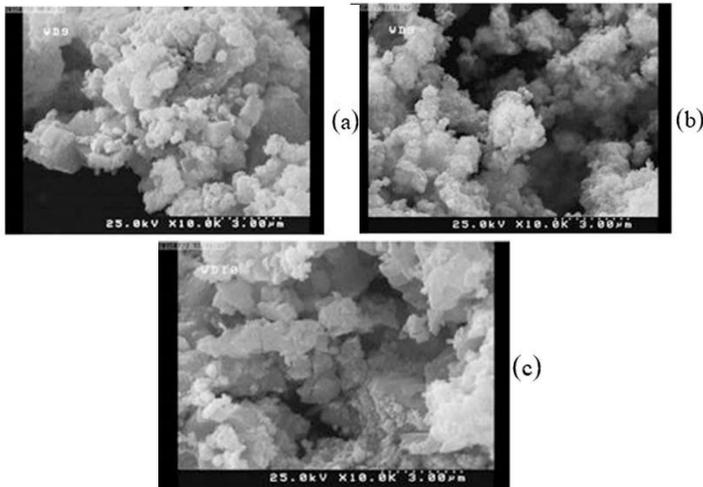


Gambar 4.4 Hasil Pengujian SEM dari sampel low nikel matte dengan ukuran partikel 75-96 μm dan residu dari proses leaching: (a) sampel low nikel matte, (b) residu selama 2 menit, 25.9% *yield* Ni, (c) residu selama 6 menit, 50% *yield* Ni, (d) residu selama 60 menit, 95.9 *yield* Ni. (Xiao, 2020)

Pada Gambar 4.4. di tampilkan gambar morfologi sampel *low nickel matte* sebelum dan sesudah proses *leaching*. Gambar hasil SEM menunjukkan sampel *low nickel matte* sebelum proses *leaching* memiliki morfologi yang cenderung datar, tetapi setelah dilakukan proses *leaching* terlihat ada perubahan morfologi dari sampel yaitu munculnya porositas pada permukaan sampel, makin lama proses *leaching* berlangsung maka semakin besar porositas yang terbentuk dan juga terlihat ukuran partikel dari sampel

menjadi mengecil yang dapat disimpulkan proses *leaching* berlangsung dengan baik.

Pada penelitian yang dilakukan Hosseini (2017) melakukan analisa terhadap hasil residu *leaching* yang terbentuk



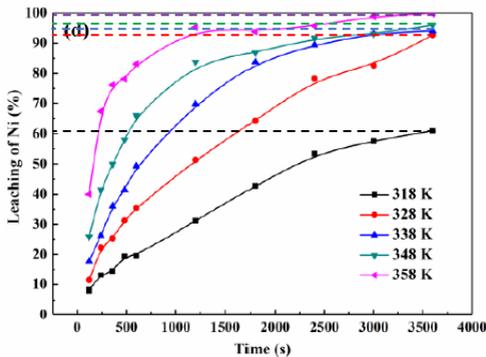
Gambar 4.5 Tampilan morfologi dari residu hasil proses leaching: (a) sebelum proses leaching, (b) 15 menit proses leaching, (c) 240 menit proses leaching pada 80°C (Hosseini, 2017)

Pada hasil SEM dapat terlihat perbedaan morfologi antara sampel nikel sebelum proses *leaching* dan sesudah proses *leaching*. Pada morfologi sampel sebelum *leaching* terlihat inti partikel sampel ialah padat dan bergerombol dan juga ukuran partikel masih terlihat besar. Setelah proses *leaching* berjalan setelah 15 menit dan 240 menit partikel permukaan sampel mulai terurai dan terlihat menyebar kemudian semakin lama waktu *leaching* partikel sampel akan semakin mengecil hingga ke inti. Hal tersebut sesuai dengan teori SCM yaitu asam akan lebih dulu menyerang lapisan film terluar dan kemudian baru menyerang inti partikel.

4.2. Data dan analisis pengaruh proses *leaching* menggunakan asam sulfat

4.2.1. Pengaruh temperatur pada proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat terhadap *yield* Ni

Pada penelitian yang di lakukan xiao (2020), dia melakukan proses *leaching* nikel *matte* kadar rendah menggunakan asam sulfat dengan memvariasikan temperatur *leaching* di 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C, dan 85°C. pada penelitian ini menggunakan konsentrasi asam sulfat sebesar 4 mol/L, ukuran partikel nikel *matte* -96+75(μm), dan Liquid-to-solid ratio larutan asam sulfat sebesar 200 mL/g. kemudian, setelah dilakukan penelitian, didapatkan hasil *leaching* Ni menggunakan asam sulfat sebagai berikut

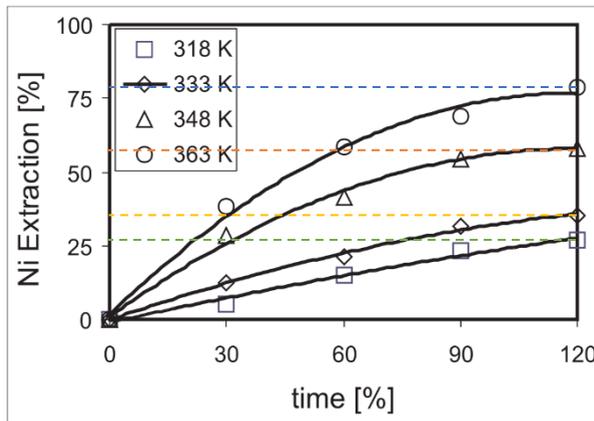


Gambar 4.6 Hasil *recovery* nikel dengan variasi temperatur pada penelitian Xiao (2020)

Pada hasil penelitian proses *leaching* menggunakan asam sulfat dengan variasi temperatur tersebut, bisa dilihat perbedaan hasil *yield* nikel di masing masing temperatur variasi. Pada temperatur 45°C didapatkan *yield* nikel sebesar 61%, pada temperatur 55°C didapatkan *yield* nikel sebesar 92%, pada temperatur *leaching* 65°C di dapatkan *yield* unsur nikel sebesar 94%, pada temperatur 75°C didapatkan *yield* nikel 96% sedangkan

pada variasi temperatur paling tinggi yaitu 85°C didapatkan hasil *yield* unsur nikel paling baik sebesar 99%.

Penelitian yang dilakukan Srećko Stopić (2003) juga menganalisa tentang pengaruh temperatur proses *leaching* nikel yang menggunakan asam sulfat. Pada penelitian yang dilakukan, dia menggunakan bijih nikel laterit yang berasal dari deposit alam yang dimiliki daerah Rudjinci, Serbia. Selanjutnya, bijih nikel laterit akan dilarutkan dalam 200 ml larutan asam sulfat yang ada dalam gelas reaktor. Temperatur proses *leaching* yang di variasikan dalam penelitian ini ialah sebesar 45°C, 60°C, 75°C, dan 90°C dengan konsentrasi asam sulfat yang digunakan sebesar 0.2 mol/L. dan dilakukan proses *leaching* selama 120 menit. Kemudian, hasil proses *leaching* di uji menggunakan pengujian XRF dan di dapatkan hasil *yield* berupa grafik sesuai variasi temperatur sebagai berikut :

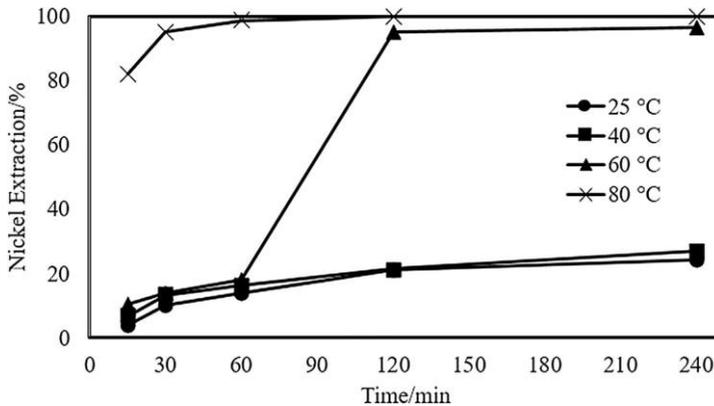


Gambar 4.7 Hasil *recovery* nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Srećko Stopić (2003)

Pada hasil penelitian pengaruh temperatur pada proses *leaching* nikel laterit ini, didapatkan hasil yang berbeda di masing masing variasi temperatur. Seperti pada variasi temperatur *leaching* 90°C didapatkan hasil *yield* nikel sebesar 78%, pada

variasi temperatur *leaching* 75°C didapatkan *yield* nikel sebesar 62%, sedangkan pada variasi temperatur 60°C didapatkan *yield* nikel sebesar 37%, dan pada variasi temperatur *leaching* 40°C didapatkan hasil *yield* nikel yang paling rendah sebesar 28%.

Penelitian lain tentang pengaruh temperatur pada proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat juga diteliti oleh Hosseini (2017). Penelitian tersebut menggunakan nikel laterit sebanyak 20 gram, dilarutkan dalam 400 ml larutan asam sulfat dengan konsentrasi asam sulfat 4 mol/L, kecepatan pengadukan pada tabung reaktor sebesar 500 rpm, dan dalam penelitian ini variabel penting yang di teliti ialah temperatur pada proses *leaching*. Variasi temperatur yang digunakan ialah 25°C, 40°C, 60°C dan 80°C. kemudian, setelah proses *leaching* selama 2 jam berlangsung data sampel diambil dan diuji menggunakan pengujian *Inductively Coupled Plasma* (ICP) untuk mengetahui berapa efisiensi nikel yang ter ekstraksi. setelah pengujian selesai didapatkan hasil *yield* berupa grafik sesuai variasi temperatur sebagai berikut:

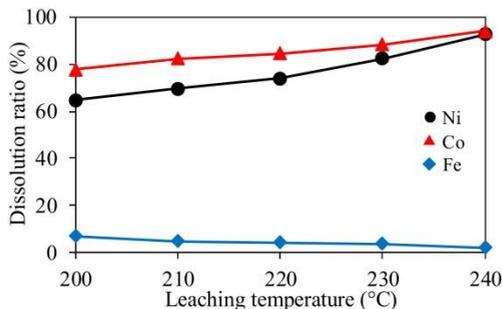


Gambar 4.8 Hasil *recovery* nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Hosseini (2017)

Pada gambar grafik diatas bisa terlihat bahwa pengambilan data terjadi pada interval waktu 15, 30, 60, 120, dan 240 menit. lalu kenaikan paling signifikan ekstraksi nikel terjadi pada saat 60 menit ke 120 menit proses. Kemudian, pada grafik tersebut menunjukkan kenaikan temperatur proses juga menaikkan hasil nikel yang ter ekstraksi, seperti pada variasi temperatur 80°C memiliki persentase hasil nikel yang ter ekstraksi paling tinggi di antar variasi yang lain. Pada 30 menit awal nikel yang ter ekstraksi sidah mencapai 90% dan pada saat 120 menit nikel yang terekstraksi mencapai 99% dan persentase tersebut berjalan konstan di 99% nikel yang ter ekstraksi sampai 240 menit. kemudian pada variasi 60°C terjadi lonjakan paling signifikan pada saat 60 menit awal proses *leaching* nikel yang ter ekstraksi hanya mencapai 18% tetapi pada saat 120 menit nikel yang ter ekstraksi mencapai 90% dan pada hasil akhir di 240 menit tidak terjadi kenaikan persentase nikel yang ter ekstraksi hanya berjalan konstan di 90%. Untuk variasi temperatur 40°C dan 25°C didapatkan hasil yang sama pada pengambilan data di 120 menit awal proses *leaching* yaitu sebesar 20% nikel yang ter ekstraksi dan saat pengambilan data akhir di 240 menit variasi temperatur 40°C mengalami kenaikan menjadi 22% nikel yang ter ekstraksi dan untuk variasi 25°C juga mengalami kenaikan menjadi 21% nikel yang ter ekstraksi.

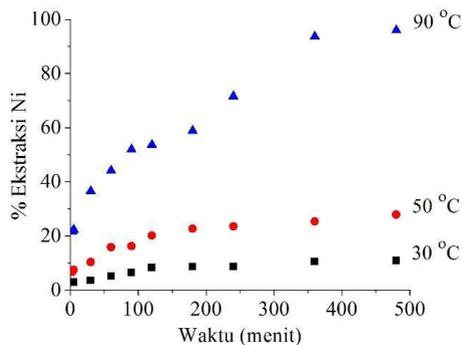
Penelitian lain tentang efek temperatur proses pada proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat yang di teliti oleh Ucyildiz (2016) menggunakan alat *autoclave* dengan bahan baku nikel yaitu nikel laterit menghasilkan perolehan ekstraksi nikel yang cenderung meningkat seiring kenaikan temperatur proses *leaching*. Penelitian ini memvariasikan temperatur proses yang tinggi karena menggunakan *autoclave* yaitu sebesar 200°, 210°, 220°, 230° and 240 °C. rasio larutan asam sulfat dan bijih nikel yang digunkan sebesar 0.3 kemudian proses *leaching* tersebut akan berjalan selama 1 jam, dan kemudian hasil akhir larutan akan dimasukkan pada mesin ICP-OES untuk menganalisis unsur yang terbentuk, lalu akan di dapat hasil ekstraksi nikel pada proses

leaching tersebut seperti pada gambar 4.7. terlihat kenaikan ekstraksi unsur nikel pada temperatur 240°C mencapai 92.8%. sementara pada temperatur 230°C didapatkan ekstraksi nikel 78%. Pada temperatur 220°C didapatkan 70% ekstraksi nikel, pada temperatur proses 210°C didapatkan persentase perolehan nikel sebesar 67% dan hasil ekstraksi nikel terendah didapatkan pada temperatur 200°C hanya sebesar 65%. Sementara itu diperlihatkan juga hasil ekstraksi dari unsur lain pada proses *leaching* ini, yaitu unsur Co dan Fe. Pada unsur Co persentase ekstraksinya juga mengalami kenaikan yang setara dengan kenaikan temperatur proses, tetapi berbeda dengan unsur Fe yang mengalami penurunan persentase selama proses *leaching* yang menggunakan temperatur tinggi. Terlihat pada temperatur 240°C ekstraksi unsur Fe dan Co menghasilkan nilai 2% dan 94.3%, lalu pada temperatur 230°C unsur Fe dan Co menghasilkan 37% dan 85.6%, pada temperatur 220°C ekstraksi Fe dan Co memiliki hasil 5.1% dan 82.8% sementara pada temperatur 210°C dihasilkan ekstraksi unsur Fe dan Co sebesar 7.8% dan 81.2%, dan terakhir pada temperatur proses 200°C unsur Fe dan Co mengahsil nilai ekstraksi sebesar 8.7% dan 78.8%.



Gambar 4.9 Hasil ekstraksi nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Ucyildiz (2016)

Penelitian mengenai proses ekstraksi nikel menggunakan metode *leaching* juga di teliti oleh febriana (2018). Penelitian tersebut menganalisa tentang pengaruh temperatur proses yang digunakan selama proses *leaching* berlangsung agar didapatkan hasil yang lebih optimal dan efisien. Pada penelitian tersebut menggunakan nikel laterit yang di dominasi dalam bentuk limonit yang berasal dari Halmahera. Penelitian pada proses *leaching* ini menggunakan asam sulfat sebagai *reagen*, asam sulfat yang digunakan memiliki konsentrasi sebesar 1 molar, ukuran partikel nikel yang akan di *leaching* juga di atur agar memiliki ukuran sebesar 150+200 mesh, lalu kecepatan pengadukannya yang digunakan sebesar 400 rpm. Kemudian pengaruh variabel temperatur yang ingin di analisis di variasikan menjadi 30, 50, dan 90 °C yang nantinya akan di *leaching* selama 480 menit. kemudian selama proses *leaching* berlangsung sampel larutan hasil akan diambil berkala kemudian di uji menggunakan pengujian XRF dan diperoleh hasil ekstraksi nikel yang sudah dalam bentuk kurva seperti pada Gambar 4.8 berikut:

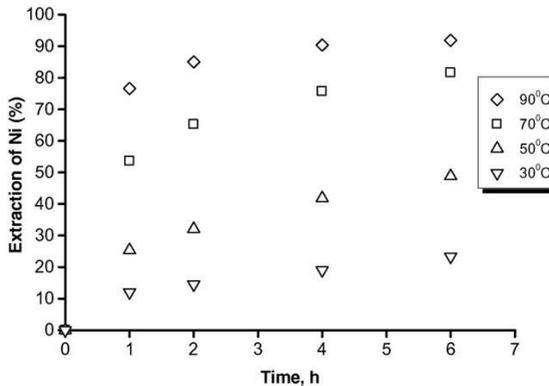


Gambar 4.10 Hasil ekstraksi nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Febriana (2018)

Pada gambar kurva hasil penelitian Febrinan tersebut, terlihat adanya kenaikan hasil ekstraksi nikel seiring dengan

kenaikan temperatur, dalam kurva tersebut juga menunjukkan pengambilan sampel dengan interval waktu yang ditentukan, bisa terlihat semakin lama proses *leaching* berlangsung maka hasil ekstraksi nikel yang diperoleh juga semakin tinggi. Pada hasil akhir proses *leaching* selama 480 menit di dapatkan ekstraksi nikel tertinggi sebesar 95,9% yang didapatkan pada temperatur proses 90°C, untuk temperatur proses 50°C didapatkan 27.8% ekstraksi nikel dan pada temperatur proses 30°C didapatkan hasil ekstraksi nikel terendah yaitu hanya sebesar 10.8%.

Penelitian tentang pengaruh temperature pada proses *leaching* juga dilakukan oleh kursonoglu (2016), dia mem variasikan temperature proses *leaching* 30, 50, 90, dan 70°C menggunakan sampel nikel laterit dengan konsentarsi asam sulfat 2 M, ukuran partikel nikel 0.053 mm dan kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm. Untuk mengetahui *yield* nikel yang di dihasilkan dalam larutan *leaching* dilakukan pengujian ICP-OES, dan dihasilkan kurva kenaikan *yield* ekstraksi Ni sebagai berikut:

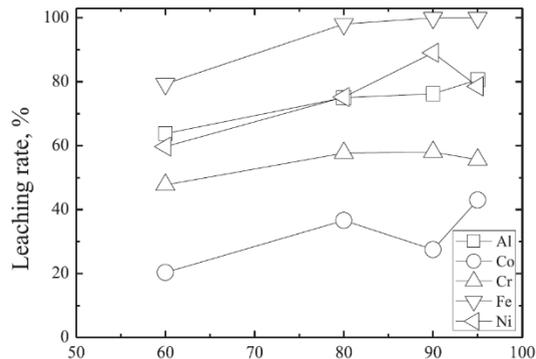


Gambar 4.11 Hasil ekstraksi nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Kursonoglu (2016)

Pada penelitian tersebut didapatkan *yield* ekstraksi unsur Ni sebesar 23,3% nikel, kobalt 37,9% dan besi 7,94% diekstraksi pada 30 °C setelah 6 jam proses *leaching*. Sebagai perbandingan,

ekstraksi meningkat secara konstan menjadi 91,9% untuk nikel, 93,5% untuk kobalt dan 80,5% untuk besi pada 90 ° C setelah proses *leaching* selama 6 jam.

Penelitian lain tentang pengaruh temperature pada proses *leaching* juga di lakukan oleh Altansukh (2014), pada penelitian yang dilakukan menggunakan nikel laterit sebanyak 100 gram, penelitian tersebut juga menggunakan konsentrasi asam sulfat sebesar 2M, kecepatan pengadukan 500 rpm, dan variasi temperatur *leaching* yang di gunakan oalah sebesar 60, 80, 90 dan 95°C. kemudian setelah proses *leaching* dilakukan pengujian ICP-OES untuk mengetahui komposisi unsur nikel yang dihasilkan, lalu didapatkan hasil ICP-OES yang sudah beruba grafik *yield* dari unsur Ni seperti berikut:

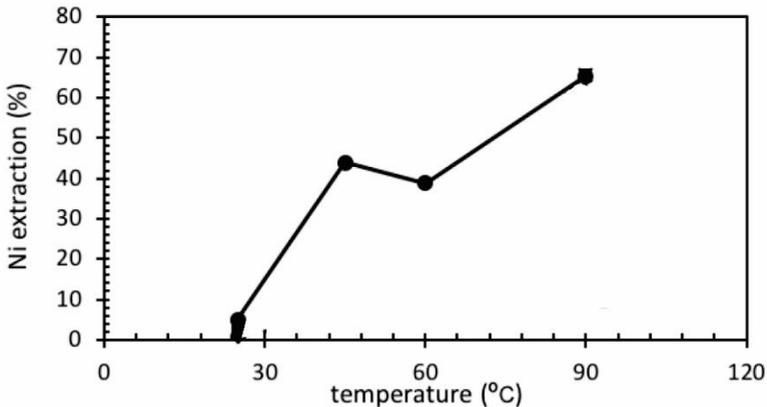


Gambar 4.12 Hasil ekstraksi nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Altansukh (2014)

Pada penelitian Altansukh, menunjukkan bahwa proses *leaching* logam meningkat dengan meningkatnya temperatur. Proses *leaching* besi (Fe) meningkat secara drastis dengan meningkatnya suhu dari 60 °C menjadi 95 °C. Sebagian besar besi (> 99% Fe) dan aluminium (80% Al) dari sampel dilarutkan dalam 2 mol / L H₂SO₄ pada suhu di atas 80 °C, sedangkan proses

leaching tertinggi dari nikel (90% Ni) dan kobalt (40% Co) sebagai logam yang diamati pada 90 °C dan 95 °C,

Penelitian Javanshir (2016) juga meneliti tentang pengaruh temperatur proses terhadap presentasi *yield* unsur Ni. Pada penelitian ini digunakan sampel berupa nikel laterit dan variasi temperatur proses yang digunakan ialah 45, 60, dan 90°C. Untuk mendukung proses *leaching* digunakan konsentrasi asam sulfat 5M, kecepatan pengadukan 300 rpm dan solid/liquid 0.1 g/cm³. Untuk mengetahui *yield* unsur Ni yang dihasilkan dilakukan pengujian ICP-OES untuk mengetahui persentase nikel dalam larutan, dan di dapatkan grafik hasil *yield* unsur Ni seperti berikut:

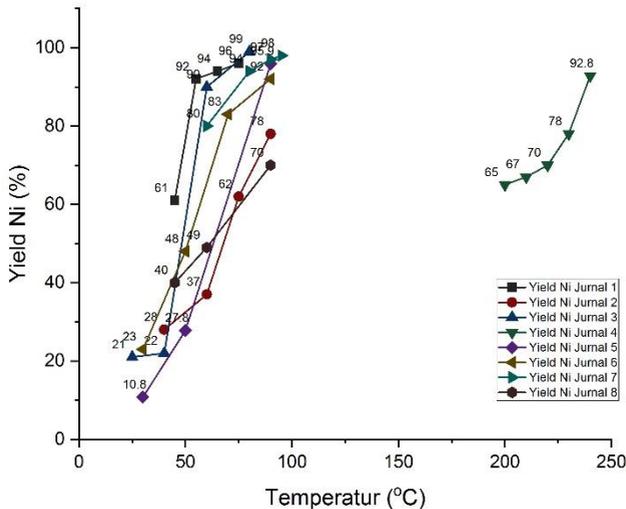


Gambar 4.13 Hasil ekstraksi nikel laterit dengan variasi temperatur pada penelitian Javanshir (2016)

Proses *leaching* dilakukan selama 3 jam dan didapatkan hasil *yield* dari unsur Ni pada larutan *leaching*. Pada variasi 45°C didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 49%, pada temperature 60°C didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 40% dan pada variasi 90°C didapatkan *yield* unsur sebesar 70%

Hasil dari data data diatas mengungkapkan bahwa temperatur *leaching* menjadi faktor utama dalam jalannya proses *leaching* bijih nikel rendah. Secara khusus, temperatur yang lebih

tinggi meningkatkan gerakan antar molekul dan mengurangi viskositas larutan asam sulfat, yang dapat mengoptimalkan proses ekstraksi nikel. Selain itu, koefisien perpindahan massa, konstanta laju reaksi dan difusi antar partikel semuanya meningkat dengan meningkatnya temperatur proses.



Gambar 4.14 Grafik pengaruh temperatur proses terhadap kenaikan *yield* unsur Ni pada proses *leaching* menggunakan asam sulfat

Temperatur proses pada *leaching* secara konstan akan berpengaruh pada jalannya laju reaksi, secara sederhana laju reaksi selama proses *leaching* akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur proses. Hal tersebut disebabkan makin tingginya temperatur proses yang digunakan maka kecepatan gerak partikel - partikel pereaksi dan energi kinetik partikel akan ikut meningkat, sehingga menyebabkan banyak partikel partikel yang memiliki energi kinetik di atas energi pengaktifannya (Havlik, 2008). Hal ini

di dukung dengan adanya persamaan Arrhenius (1889) tentang pengaruh temperatur terhadap energi aktivasi dan laju reaksi yang terjadi.

$$\ln K = \ln A - \frac{E}{RT} \dots \dots \dots (4.1)$$

Pada persamaan 4.1 diatas K sebagai nilai konstanta laju reaksi, A ialah faktor frekuensi, E adalah energi aktivasi dan T ialah temperatur proses yang digunakan.

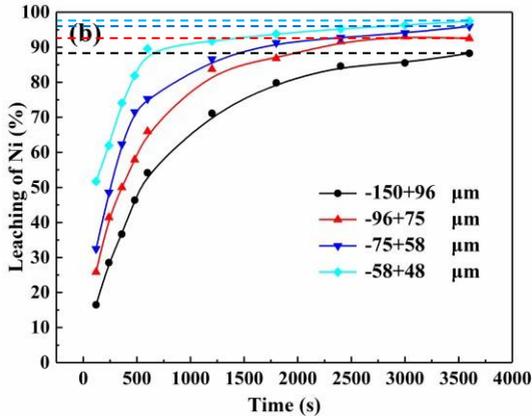
Energi aktivasi sendiri ialah energi yang harus dicapai agar suatu reaksi kimia dapat berlangsung, energi aktivasi juga bisa di definisikan sebagai energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia dapat berlangsung. Persamaan Arrhenius menjelaskan bahwa hubungan energi aktivasi dengan laju reaksi adalah berbanding terbalik. Semakin besar energi aktivasi yang dibutuhkan maka laju reaksinya semakin melambat karena energi minimum yang dibutuhkan agar suatu reaksi berlangsung sangat besar. Semakin kecil harga $\ln K$ maka harga $1/T$ rata-rata semakin besar. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur maka energi aktivasinya akan semakin kecil dan semakin sedikit waktu yang di perlukan sehingga akan memperbesar nilai laju reaksi. Hal ini sesuai dengan teori yang disebutkan bahwa energi aktivasi berbanding terbalik dengan laju reaksi.

Kenaikan temperatur pada proses *leaching* juga menaikkan laju transfer ion $^{+}$ dan Ni^{2+} pada lapisan awal atau biasa disebut dengan lapisan film dan dapat meningkatkan konstanta laju reaksi, yang nanti akan menghasilkan ekstraksi nikel yang lebih tinggi (Gharabaghi, 2013). Selain itu, pada penelitian lain juga didapatkan hasil bahwa dengan meningkatnya temperatur proses *leaching*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai hasil ekstraksi nikel akan berkurang. Pada temperatur proses *leaching* yang lebih tinggi dan rentang waktu *leaching* tertentu proses ekstraksi nikel akan lebih cepat meningkat, tetapi dengan meningkatkan waktu *leaching* lebih lama, efek temperatur akan terus menurun (Abdel-Aal, 2005).

Pada penelitian (ucyildiz, 2017) menunjukkan pada perubahan temperatur 200°C menjadi 240°C dapat meningkatkan disolusi Ni dan Co akan tetapi dengan kenaikan temperatur tersebut didapatkan perolehan disolusi Fe yang menurun atau cenderung rendah, yang kemudian menghasilkan rasio Fe/Ni terlarut yang juga rendah hal tersebut terjadi karena meningkatnya hidrolisis unsur Fe didalam larutan *leaching* dan rendahnya kadar hematit yang ada dalam larutan (Whittington, 2000).

4.2.2. Pengaruh ukuran partikel pada proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat terhadap *yield* Ni

Pada penelitian xiao (2020), dia melakukan proses *leaching* nikel *matte* menggunakan asam sulfat dan salah satu variabel yang dia variasikan pada penelitiannya ialah ukuran partikel nikel *matte*. Dalam penelitiannya dia memvariasikan ukuran partikel nikel *matte* sebesar $-150+96 \mu\text{m}$, $-96+75 \mu\text{m}$, $-75+58 \mu\text{m}$, dan $-58+48 \mu\text{m}$. Penelitian ini juga menggunakan variabel tetap berupa *stirring speed* 350 rpm, konsentrasi asam sulfat sebesar 4 mol/L, temperatur proses *leaching* 348K dan *liquid-to-solid ratio* larutan asam sulfat sebesar 200 mL/g. Kemudian, untuk mengetahui hasil dari pengaruh ukuran partikel pada proses *leaching*, sampel di uji menggunakan pengujian XRF, sampel proses diambil berdasarkan interval waktu 0 sampai 3600 detik atau 1 jam dan di dapatkan hasil *yield* nikel sebagai berikut :

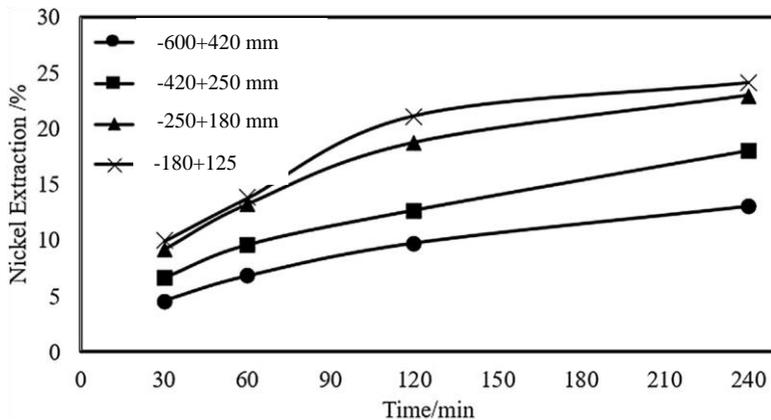


Gambar 4.15 Hasil *recovery* nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Xiao (2020)

Pada pengujian sampel hasil *leaching*, didapatkan hasil *yield* nikel seperti pada gambar 4.3. Pada gambar tersebut proses *leaching* yang dilakukan selama 1 jam memberikan hasil *yield* nikel pada variasi ukuran partikel $-150+96 \mu\text{m}$ sebesar 88%, pada variasi ukuran partikel $-96+75 \mu\text{m}$ didapatkan *yield* nikel sebesar 93%, sedangkan pada variasi ukuran partikel $-75+58 \mu\text{m}$ hasil *yield* nikel cenderung meningkat sebesar 96% dan pada variasi ukuran partikel $-58+48 \mu\text{m}$ di dapatkan *yield* nikel sebesar 98%.

Penelitian oleh Hosseini (2017) meneliti tentang apa saja faktor faktor yang mempengaruhi proses *leaching* nikel laterit menggunakan asam sulfat, dan salah satu yang menjadi konsentrasi penelitian tersebut ialah ukuran partikel nikel laterit yang digunakan dalam proses *leaching*. Pada penelitian tersebut memvariasikan ukuran partikel sebesar $-600 +420 \text{ mm}$, $-420 +250 \text{ mm}$, $-250 +180 \text{ mm}$ dan $-180 +125 \text{ mm}$, kemudia variabel tetap yang digunakan ialah temperatur proses yang dipakai sebesar 25°C , konsentrasi asam sulfat yang digunakan ialah 4 mol/L , kecepatan pengadukan 500 rpm dan proses *leaching* dilakukan selama kurang lebih 240 menit. setelah itu, sampel hasil *leaching* diambil dan di uji menggunakan metode

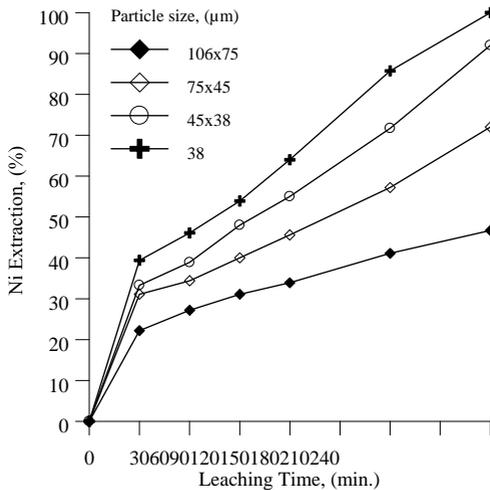
pengujian *Inductively Coupled Plasma* (ICP) untuk mengetahui berapa efisiensi nikel yang ter ekstraksi. setelah pengujian selesai didapatkan hasil *yield* berupa grafik sesuai variasi ukuran partikel sebagai berikut:



Gambar 4.16 Hasil *recovery* nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Hosseini (2017)

Pada data grafik hasil pengujian di atas terdapat kenaikan hasil ekstraksi nikel seiring dengan makin kecilnya ukuran partikel nikel yang di gunakan pada proses dan juga pada data menunjukkan pengambilan sampel terjadi pada interval 30, 60, 120 dan 240 menit dari data tersebut dapat terlihat adanya kenaikan nikel yang terus meningkat seiring lamanya waktu proses *leaching* yang digunakan. Seperti pada variasi ukuran partikel $-600 +420$ mm pada 240 menit proses *leaching* didapatkan 10% nikel yang ter ekstraksi, pada variasi $-420 +250$ mm didapatkan 18% nikel yang terekstraksi, untuk variasi ukuran partikel $-250 +180$ mm didapatkan nikel yang ter ekstraksi sebesar 23% dan pada ukuran partikel $-180 +125$ mm didapatkan ekstraksi nikel yang paling rendah diantara variasi yang lain sebesar 25%

Penelitian tentang pengaruh ukuran partikel pada proses *leaching* nikel menggunakan *reagent* asam sulfat yang dilakukan Tevfik (2012), memvariasikan ukuran partikel nikel laterit sebesar -106+75, -75+45, -45+38 dan -38 μm . Pada penelitian tersebut menggunakan konsentrasi asam sulfat sebesar 2 mol/L, kecepatan pengadukan 200 rpm, dan temperatur proses sebesar 80°C yang berjalan selama 240 menit. selama proses *leaching* berlangsung sampel larutan akan di ambil berdasarkan interval waktu tertentu yang kemudian akan di uji menggunakan alat ICP-OES untuk mengetahui persentase ekstraksi nikel yang didapat selama proses, dan dari hasil data ICP-OES didapatkan gambar kurva persentase seperti berikut:

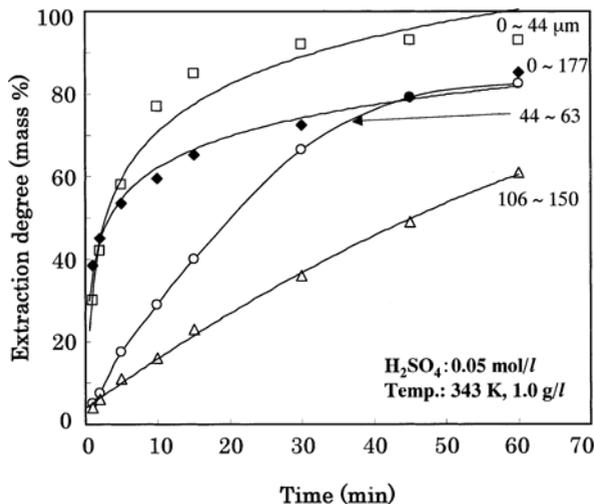


Gambar 4.17 Hasil *recovery* nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Tevfik (2012)

Setelah proses *leaching* selama 240 menit didapatkan hasil ekstraksi nikel sebesar 100% pada proses *leaching* menggunakan ukuran partikel -38 μm sedangkan persentase ekstraksi nikel terendah didapatkan sebesar 46.7% dengan ukuran partikel sebesar

-106+75 μm , sedangkan untuk ukuran partikel -75+45 μm , -45+38 μm menghasilkan persentase ekstraksi nikel sebesar 65% dan 92%.

Penelitian yang dilakukan Purwanto (2004) tentang ukuran partikel yang optimal digunakan selama proses *leaching* menggunakan asam sulfat dengan membandingkan ukuran partikel nikel dengan laterit 0–44, 0–177, 44–63, 106–150 μm . Proses *leaching* yang berlangsung menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 0.05 mol/L, 1 gram bijih nikel per liter larutan dan temperatur proses 343K yang akan di *leaching* selama 60 menit. Data sampel akan diambil selama proses *leaching* berlangsung dengan interval waktu tertentu yang nantinya akan di masukkan ke alat pengujia ICP-OES dan hasil akhirnya akan berupa grafik seperti berikut:

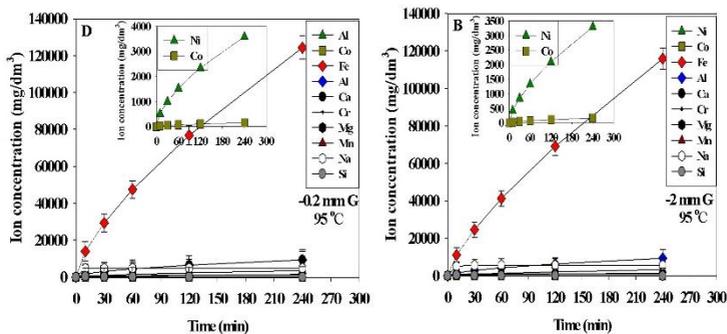


Gambar 4.18 Hasil *recovery* nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Purwanto (2004)

Pada proses *leaching* tersebut bisa dilihat bahwa hasil akhir selama 70 menit proses ukuran partikel kecil akan menghasilkan ekstraksi nikel yang lebih tinggi ketimbang ukuran partikel yang besar, pada data di atas ukuran partikel 0-44 μm

memberikan hasil ekstraksi nikel yang paling tinggi sementara hasil terendah didapatkan ukuran partikel 105-150 μm karena pada variasi ukuran tersebut cenderung memiliki rata rata ukuran partikel yang lebih besar jika di dibandingkan dengan variasi 0-177 μm yang rata rata ukuran partikelnya masih lebih kecil.

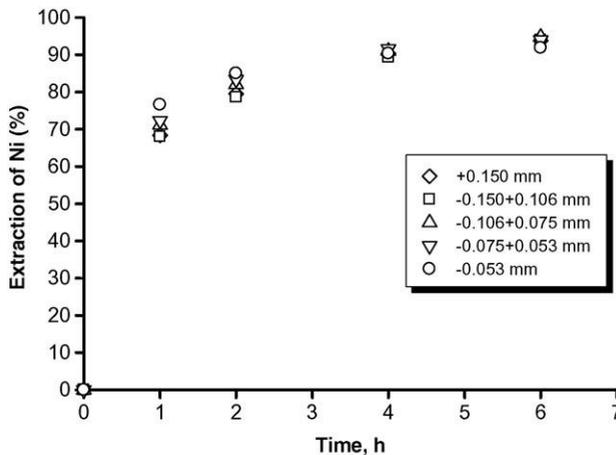
Penelitian MacCarthy (2014) memvariasikan ukuran partikel nikel laterit sebesar 0.2 dan 2 mm yang kemudian di analisa efek yang diberikan pada proses *leaching* tersebut. Proses *leaching* dilakukan menggunakan larutan asam sulfat dengan keadaan larutan dalam pH 1, temperatur proses 95°C dan kecepatan pengadukan sebesar 600 rpm. yang akan di *leaching* selama 4 jam. Lalu sampel larutan hasil akan di Analisa menggunakan alat ICP-OES untuk mengetahui persentase ekstraksi yang di dapatkan dan data hasil akhir penelitian yang didapatkan ialah sebagai berikut:



Gambar 4.19 Hasil *recovery* nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian MacCarthy (2014)

Berdasarkan data diatas pengaruh ukuran partikel 2 mm menghasilkan ekstraksi nikel yang semula 330 menjadi 3300 mg/dm³ ;a;u pada ukuran partikel 0.2 mm didapatkan hasil ekstraksi nikel yang semula 340 menjadi 3600 mg/dm³. Hasil tersebut menandakan bahwa ukuran partikel 0.2 mm memberikan hasil yang lebih optimal, walaupun hasil akhir kedua variasi ukuran partikel tersebut tidak terpaut jauh.

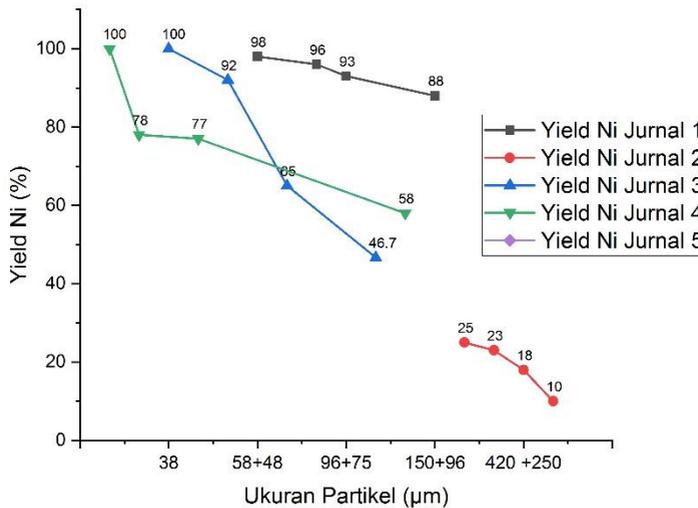
Penelitian tentang pengaruh ukuran partikel pada proses *leaching* juga dilakukan oleh kursonoglu (2016), dia memvariasikan ukuran partikel proses *leaching* sebesar $+150$, $-0.150 + 0.106$, $-0.106 + 0.075$, $-0.075 + 0.053$, -0.053 mm menggunakan sampel nikel laterit dengan konsentrasi asam sulfat 2 M, temperature proses 90°C dan kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm. Untuk mengetahui *yield* nikel yang di hasilkan dalam larutan *leaching* dilakukan pengujian ICP-OES, dan dihasilkan kurva kenaikan *yield* ekstraksi Ni sebagai berikut:



Gambar 4.20 Hasil *recovery* nikel dengan variasi ukuran partikel pada penelitian Kursonoglu (2016)

Setelah dilakukan proses *leaching* selama 2 jam, didapatkan *yield* unsur Ni terbaik ada pada proses *leaching* yang menggunakan ukuran partikel terkecil yaitu 0.053 mm yang menghasilkan 87% unsur Ni yang ter ekstraksi. Sedangkan hasil terendah ada pada proses *leaching* yang menggunakan ukuran partikel terbesar yaitu 0.150 mm dengan hasil *yield* Ni sebesar 78%.

Berdasarkan rata rata penelitian tersebut terlihat kenaikan persentasi ekstraksi nikel sebanding dengan penurunan ukuran partikelnya. Pada proses *leaching*, ukuran partikel nikel akan mempengaruhi seberapa besar luas permukaan sampel nikel yang akan melakukan kontak dengan larutan asam sulfat, yang nantinya mempengaruhi proses difusi antara larutan asam dan logam nikel. Penurunan ukuran partikel sampel nikel akan menyebabkan luas permukaan total yang akan terkontak dengan larutan asam lebih besar. Hal tersebut akan meningkatkan persentase nikel yang ter ekstraksi lebih besar (Wanta, 2018).



Gambar 4.21 Grafik pengaruh ukuran partikel terhadap kenaikan *Yield* unsur Ni pada proses *leaching* menggunakan asam sulfat

Pada umumnya, ukuran partikel yang semakin kecil akan memberikan area kontak yang lebih besar antara logam dengan larutan asam. Ukuran partikel yang kecil akan meningkatkan

efektivitas proses *leaching* secara keseluruhan karena tingkat laju reaksinya yang tinggi dan meningkatkan kemungkinan luas permukaan logam yang akan direduksi oleh asam (Merrit,1971). Saat proses *leaching* dimulai, laju reaksi akan terus meningkat sampai ukuran dari laju reaksi tersebut mencapai hasil yang tertinggi yang bisa dicapai reaksi tersebut. Selanjutnya, laju reaksi akan mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya reaksi yang terjadi di permukaan logam dan hilangnya fase awal dari logam. Setiap reaksi yang terjadi pada proses *leaching* terjadi dengan spontan dan di pengaruhi dengan gaya kinetik dari masing masing logam (Havlik,2011). Proses *leaching* dan kinetik dari nikel laterit sangat bergantung dengan berbagai macam parameter salah satunya ialah ukuran partikel. Kinetik sendiri dapat dikarakteristikan sebagai *shrinking model core (SCM)* yang laju reaksinya dipengaruhi oleh difusi melalui lapisan pada permukaan partikel, difusi pada *ash-layer* dalam partikel dan reaksi yang terjadi di permukaan pada inti partikel yang tidak bereaksi. Penelitian sebelumnya telah menilai bahwa difusi menjadi parameter yang mengendalikan laju rekasi pada proses *leaching* nikel laterit, maka dari itu penelitian terhadap efek dari ukuran partikel menajdi sangat penting dalam peningkatan proses *leaching* ekstraksi nikel. Kinetika proses *leaching* ini kebanyakan menggunakan *shrinking core model (SCM)* dengan difusi reaktan melalui *ash-layer* sebagai langkah untuk mengendalikan laju reaksinya. Untuk ukuran partikel yang lebih besar ($>200 \mu\text{m}$) ditunjukkan bahwa tingkat *yield* nya lebih rendah dibandingkan dengan ukuran partikel $100\text{-}120 \mu\text{m}$, ini disebabkan oleh radius yang diberikan *ash-layer* lebih luas karena bentuk ukuran partikel yang lebih besar akan menghambat penyerapan *leaching* agent terhadap feed yang masuk dan menghambat absorpsi dari produk juga. Sementara itu, untuk ukuran partikel yang lebih kecil, yang berarti memiliki luas permukaan untuk menyerap *leaching* agent lebih luas yang seharusnya meningkatkan laju reaksi. Tetapi dengan meningkatnya laju reaksi dan molekul logam yang lebih kompleks yang terbentuk pada permukaan produk yang bereaksi

menyebabkan terjadinya hambatan sterik pada desorpsi produk (Petrus, 2017).

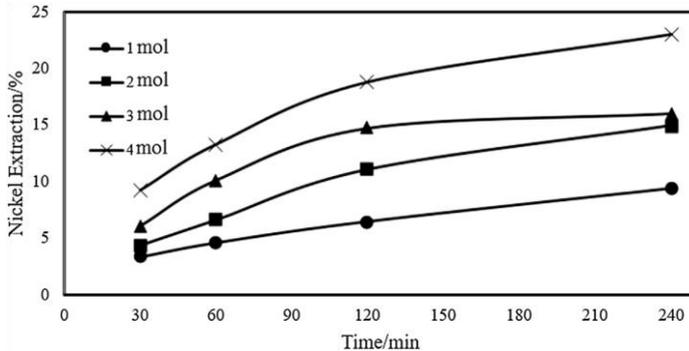
Alasan presentasi disolusi nikel yang lebih tinggi dengan ukuran partikel yang lebih kecil karena luas permukaan spesifik logam akan semakin luas. Semakin luas permukaan spesifik dari permukaan logam akan semakin tinggi ekstraksi nikel. (Tevfik, 2012). jika melihat pada laju reaksi nya, zat yang berbentuk serbuk atau ukurannya sangat kecil akan mempunyai luas permukaan yang lebih luas jika dibandingkan dengan logam lain yang berbentuk butiran atau kepingan, sehingga bidang kontak akan tersedia lebih banyak untuk bertumbukan dengan larutan asam dan hal ini dapat memaksimalkan daerah absorpsi logam nikel dan juga meminimalisir daerah yang tidak terkena larutan asam, sehingga proses *leaching* berjalan dengan lebih efisien dan lebih banyak logam nikel yang terlarut dalam larutan *leaching*. akibatnya, logam yang memiliki ukuran partikel lebih kecil akan mengalami laju reaksi yang lebih cepat daripada logam yang bebrbentuk butiran atau kepingan.

Faktor lain yang penting dari efek ukuran partikel dari proses *leaching* ialah laju reaksi juga dikendalikan oleh luas permukaan kontak antara logam dan larutan asam. Laju reaksi dikendalikan oleh difusi melalui lapisan awal yang mengelilingi partikel nikel, ketebalan lapisan awal ini tergantung pada ukuran partikelnya. beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi proses *leaching* secara bertahap mengalami kenaikan seiring dengan penurunan ukuran partikel. efek tersebut dapat dikaitkan dengan meningkatnya lapisan awal di permukaan sampel (Xiao, 2020). dengan mengurangi ukuran partikel, area kontak partikel dengan larutan asam pada proses *leaching* akan meningkat dan oleh karena itu ion H^+ pada larutan asam akan dengan mudah memasuki logam nikel. selain itu, luas permukaan per berat sampel akan mengalami peningkatan dengan penurunan ukuran partikel dan lebih banyak senyawa nikel yang bereaksi. penurunan ukuran partikel juga akan dapat menyebabkan penurunan jalur difusi asam ke dalam partikel logam nikel sehingga proses reduksi dapat lebih

mudah terjadi, oleh karena itu ukuran partikel yang kecil cenderung dipilih sebagai ukuran yang sesuai untuk proses *leaching* nikel (Hosseini, 2017). secara umum, ukuran partikel sampel nikel memiliki peran penting dalam mempengaruhi tingkat kelarutan nikel pada proses *leaching*. dalam proses *leaching*, ukuran partikel yang lebih kecil akan memiliki laju ekstraksi yang lebih cepat dan juga ekstraksi nikel yang dibantu dengan larutan katalis mengalami kenaikan yang signifikan dengan penurunan ukuran partikel. Semakin halus ukuran partikel, semakin besar luas permukaan geometris dan permukaan kontak antara larutan asam dan partikel logam nikel. Selain itu dengan penurunan ukuran partikel, luas permukaan per unit berat sampel akan meningkat dan lebih banyak senyawa nikel yang ter ekstraksi (Gharabaghi, 2013).

4.2.3. Pengaruh konsentrasi asam sulfat pada proses *leaching* nikel terhadap *yield* Ni

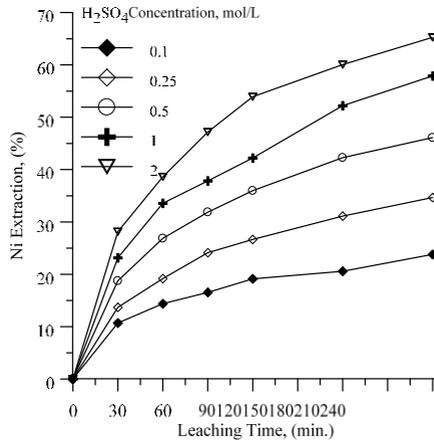
Penelitian Hosseini (2017) yaitu meneliti skema proses *leaching* nikel agar berlangsung efisien, dia meneliti berbagai macam variabel dalam proses *leaching*, salah satunya ialah konsentrasi larutan asam sulfat yang digunakan selama proses *leaching* berlangsung. Penelitian tersebut menggunakan nikel laterit sebanyak 20 gram, dilarutkan dalam 400 ml larutan asam sulfat dengan kecepatan pengadukan pada tabung reaktor sebesar 500 rpm, temperatur proses yang digunakan sebesar temperatur ruangan yaitu 25°C, ukuran partikel nikel laterit yang digunakan sebesar -250+180 mm dan variabel penting dalam penelitian ini yaitu konsentrasi asam sulfat yang digunakan pada proses *leaching* menggunakan variasi konsentrasi sebesar 1 mol/L, 2 mol/L, 3 mol/L dan 4 mol/L. kemudian, setelah proses *leaching* selama 4 jam berlangsung data sampel diambil dan diuji menggunakan pengujian *Inductively Coupled Plasma* (ICP) untuk mengetahui berapa efisiensi nikel yang ter ekstraksi. setelah pengujian selesai didapatkan hasil *yield* berupa grafik sesuai variasi temperatur sebagai berikut:



Gambar 4.22 Hasil *recovery* nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Hosseini (2017)

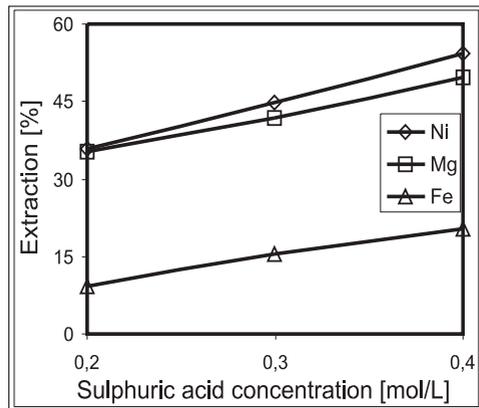
Berdasarkan data grafik diatas, umumnya terjadi kenaikan persentase ekstraksi nikel yang didapat seiring dengan tingginya konsentrasi asam yang digunakan tetapi, pada grafik menunjukkan adanya fase konstan yang terjadi selama proses berlangsung seperti pada data variasi konsentrasi 3 mol/L, pada 2 jam awal proses terjadi kenaikan yang signifikan dari 6% nikel yang terekstraksi di awal proses menjadi 14% nikel yang ter ekstraksi akan tetapi setelah melewati waktu 2 jam kenaikan persentase ekstraksi nikel tidak terjadi dan pada akhir proses selama 4 jam jumlah presentase ekstraksi nikel yang didapat sebesar 14%. Pada variasi konsentrasi 4 mol/L terjadi kenaikan yang sangat signifikan dari awal proses sampai akhir proses selama 4 jam *leaching* didapatkan hasil akhir sebesar 24% nikel yang ter ekstraksi, hasil tersebut merupakan hasil yang paling baik di antara variasi konsentrasi yang digunakan. Pada variasi konsentrasi 2 mol/L didapatkan hasil akhir ada 12.6% nikel yang ter ekstraksi selama 4 jam proses *leaching* berlangsung, kemudian pada variasi 1 mol/L didapatkan hasil akhir yang paling rendah diantara variasi lain hanya sebesar 8% nikel yang ter ekstraksi selama 4 jam proses *leaching*.

Pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat pada proses *leaching* nikel diteliti oleh Tevfik (2012) menggunakan variasi konsentrasi asam sulfat 0.1 mol/L, 0.25 mol/L, 0.5 mol/L, 1 mol/L dan 2 mol/L yang nanti akan di *leaching* selama 240 menit menggunakan kecepatan pengadukan 200 rpm, ukuran partikel $-106\ \mu\text{m}$ dan temperatur proses sebesar 60°C . kemudian selama proses *leaching* berlangsung, akan diambil sampel larutan pada interval waktu tertentu untuk mengetahui kenaikan ekstraksi nikel yang diperoleh, sampel yang didapat kemudian dimasukkan ke alat uji ICP-OES untuk di analisa, dan hasil akhirnya akan didapatkan seperti pada gambar 4.13. Pada gambar tersebut terlihat semakin tinggi persentase ekstraksi nikel yang didapat maka semakin tinggi konsentrasi asam yang di gunakan, pada konsentrasi asam tinggi yaitu 2 mol/L didapatkan ekstraksi nikel sebesar 65.27% sementara konsentrasi asam sulfat yang rendah seperti 0.1 mol/L hanya menghasilkan ekstraksi nikel sebesar 23.8%. pada variasi konsentrasi yang lain juga menunjukkan bahwa konsentrasi yang tinggi akan menghasilkan persentase nikel yang tinggi juga seperti pada 0.25 mol/L, 0.5 mol/L, 1 mol/L menghasilkan persentase ekstraksi nikel sebesar 33,1%, 46,8% dan 57,1%.



Gambar 4.23 Hasil recovery nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Tefvik (2012)

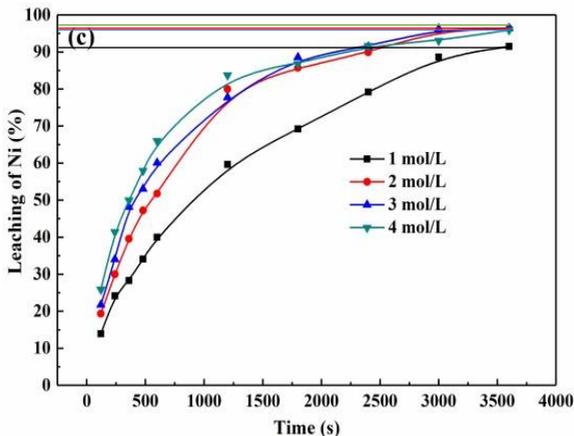
Srećko Stopić (2003) melakukan penelitian tentang proses *leaching* nikel laterit menggunakan asam sulfat yang salah satu variabel penting dalam penelitian tersebut ialah variabel proses konsentrasi larut asam sulfat. Pada penelitian ini menggunakan nikel laterit yang berasal dari cadangan alam di Serbia, kemudian proses *leaching* dilakukan dalam kondisi temperatur 60°C selama 2 jam. Lalu, pada variabel penelitian ini yaitu konsentrasi larutan asam sulfat digunakan variasi konsentrasi larutan sebesar 0.2 mol/L, 0.3 mol/L, dan 0.4 mol/L. Kemudian, setelah dilakukan proses *leaching* sampel di uji menggunakan pengujian XRF dan di dapatkan data hasil *yield* nikel yang sudah di jadikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 4.24 Hasil *recovery* nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Srećko Stopic (2003)

Berdasarkan data pada grafik hasil penelitian Srećko Stopic (2003) bisa dilihat adanya kenaikan hasil *yield* dari nikel seiring dengan naiknya konsentrasi asam sulfat yang digunakan. Tren kenaikan *yield* ini juga terjadi pada unsur Fe dan Mg yang ada pada kandungan nikel laterit. Hasil *yield* nikel tertinggi terdapat pada konsentrasi 0.4 mol/L yaitu sebesar 56% *yield*, sedangkan pada konsentrasi asam sulfat 0.3 mol/L didapatkan *yield* nikel sebesar 45%, dan pada konsentrasi asam sulfat 0.2 mol/L didapatkan hasil *yield* nikel terendah yaitu sebesar 33%. Sebagai pembandingan, dilakukan juga pengujian untuk mengetahui kadar unsur Fe dan Mg yang ada pada sampel hasil *leaching*. Kemudian didapatkan hasil sebagai berikut, untuk konsentrasi asam sulfat 0.4 mol/L didapatkan *recovery* Mg sebesar 48% dan untuk unsur Fe didapatkan *yield* sebesar 18%. Pada konsentrasi asam sulfat 0.3 mol/L didapatkan hasil *yield* Fe sebesar 15% dan *yield* Mg sebesar 50%. Sedangkan, pada konsenstrasi asam sulfat 0.2 mol/L didapatkan *yield* Fe sebesar 10% dan *yield* Mg sebesar 32%.

Pada penelitian lain oleh Xiao (2020) juga membandingkan pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat dalam proses *leaching* nikel terhadap nilai *yield* unsur nikel yang didapatkan. Pada penelitian ini menggunakan *raw* material berupa nikel matte sebanyak 4 gram, kecepatan pengadukan pada tabung reaktor sebesar 350 rpm, ukuran partikel nikel $-96+75 \mu\text{m}$, temperatur *leaching* yang digunakan sebesar 75°C dan variabel penting dalam penelitian ini yaitu pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat di variasikan sebesar 4 mol/L, 3mol/L, 2 mol/L dn 1 mol/L. Setelah proses *leaching* berlangsung dilakukan pengujian XRF pada sampel hasil *leaching* untuk mengetahui hasilnya, dan di dapatkan data hasil *yield* nikel yang sudah di jadikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:

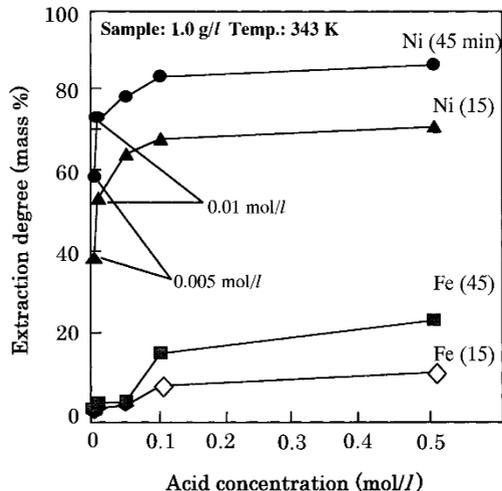


Gambar 4.25 Hasil *recovery* nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Xiao (2020)

Berdasarkan data hasil penelitian di atas dapat dilihat bahwa pada kenaikan konsentrasi asam sulfat yang tinggi utamanya di detik detik awal seperti di detik ke 1200 konsentrasi tinggi dari asam sulfat sangat berpengaruh pada perolehan nikel yang ter ekstraksi sedangkan pada detik ke 3600 atau 1 jam

perolehan nikel pada masing masing konsentrasi tinggi terbilang seimbang di kisaran 90% nikel yang ter *yield*. Pada hasil akhir proses *leaching* yang berlangsung selama 1 jam, didapatkan hasil *yield* Nikel pada variasi konsentrasi asam sulfat 4 mol/L sebesar 97%, hasil akhir yang sama didapatkan pada variasi konsentrasi 2 mol/L dan 3 mol/L yaitu terdapat 95% nikel yang ter *yield*, sedangkan pada konsentrasi asam sulfat 1 mol/L didapatkan nilai nikel yang ter *yield* sebesar 91%.

Penelitian Purwanto (2002) tentang efek konsentrasi asam sulfat terhadap proses *leaching* nikel laterit, yang pada penelitian ini mevariasikn konsentrasi larutan asam sulfat sebesar 0.005, 0.01, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 dan 0.5 mol/L yang akan di *leaching* selama 15 menit dan 45 menit dengan temperatur proses 343K, kemudian hasil sampel larutan setelah proses *leaching* di masukkan ke alat uji dan didapatkan kurva sebagai berikut seperti berikut

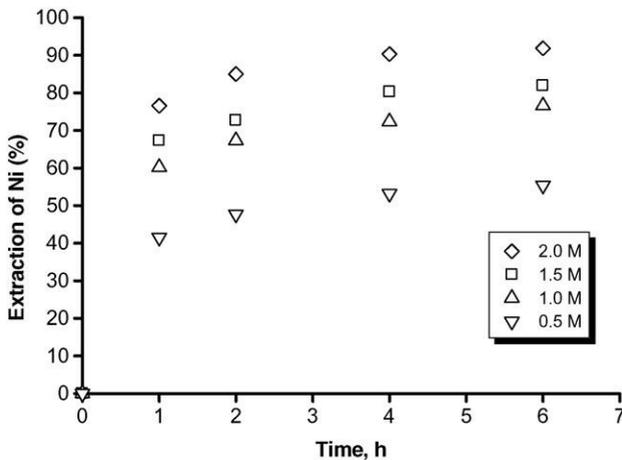


Gambar 4.26 Hasil *recovery* nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Purwanto (2002)

Pada data tersebut bisa terlihat bahwa konsentrasi 0.005 mol/L menghasilkan Fe yang sangat rendah akan tetapi setelah

penambahan konsentrasi menjadi 0.1 mol/L meningkatkan ekstraksi Fe yang sangat tinggi, hal tersebut menjadi lebih meningkat dalam keadaan asam yang memiliki konsentrasi tinggi, pada ekstraksi nikel juga berlangsung demikian, pada data tersebut variasi konsentrasi 0.5 mol/L di rentan waktu 15 maupun 45 menit menghasilkan ekstraksi nikel dan Fe yang paling tinggi di antar variasi yang lain.

Penelitian tentang pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat pada proses *leaching* juga dilakukan oleh kursonoglu (2016), dia mem variasikan konsentrasi larutan asam sulfat sebesar 0.5, 1, 1.5 dan 2 Molar, menggunakan sampel nikel laterit dengan temperature proses 90°C dan kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm. Untuk mengetahui *yield* nikel yang di dihasilkan dalam larutan *leaching* dilakukan pengujian ICP-OES, dan dihasilkan kurva kenaikan *yield* ekstraksi Ni sebagai berikut:

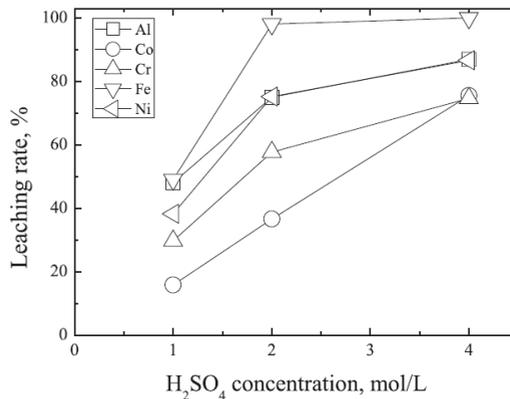


Gambar 4.27 Hasil *recovery* nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Kursonoglu (2016)

Pada penelitian proses *leaching* yang dilakukan selama 6 jam didapatkan hasil *yield* unsur Ni, pada konsentrasi 0.5 M

didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 53%, pada konsentrasi 1M didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 77% dan pada konsentrasi 1.5M dan 2M didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 82% dan 93%

Penelitian lain tentang pengaruh konsentrasi asam sulfat pada proses *leaching* juga di lakukan oleh Altansukh (2014), pada penelitian yang dilakukan menggunakan nikel laterit sebanyak 100 gram, penelitian tersebut juga menggunakan temperatur proses sebesar 80°C, kecepatan pengadukan 500 rpm, dan variasi konsentrasi asam sulfat yang di gunakan ialah 1M, 2M dan 4M. kemudian setelah proses *leaching* dilakukan pengujian ICP-OES untuk mengetahui komposisi unsur nikel yang dihasilkan, lalu didapatkan hasil ICP-OES yang sudah berupa grafik *yield* dari unsur Ni seperti berikut:

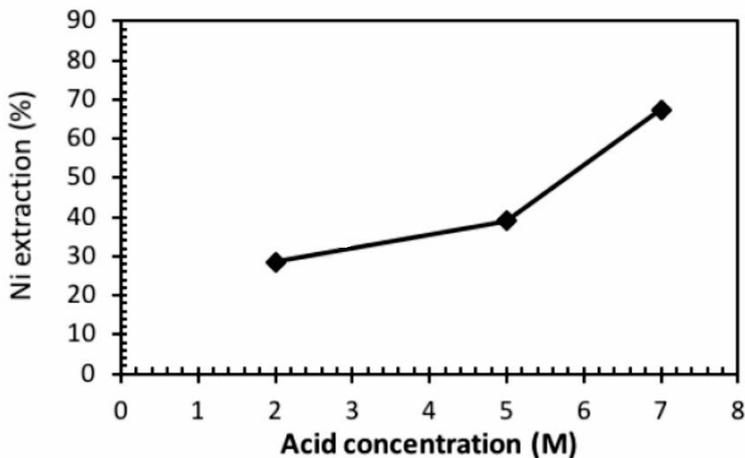


Gambar 4.28 Hasil *recovery* nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Altansukh (2014)

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar.4.25 peningkatan konsentrasi asam sulfat tampaknya mempengaruhi Proses *leaching* banyak logam. Pada konsentrasi H₂SO₄ terendah (2 mol/L) Proses *leaching* besi (Fe) mencapai hampir 97% yang konstan hingga 4 mol / L konsentrasi H₂SO₄. Proses *leaching* dari logam lain

tampaknya cepat sedangkan konsentrasi H_2SO_4 meningkat hingga 4 mol/L Hasil yang disajikan pada Gambar. 4.25 menunjukkan bahwa dalam 1 mol/L H_2SO_4 , disolusi Ni dan Co mencapai 38% dan 15% dan meningkat menjadi 75%, 35% dan 85%, 72% dalam 2 mol / L dan 4 mol / L H_2SO_4 masing-masing.

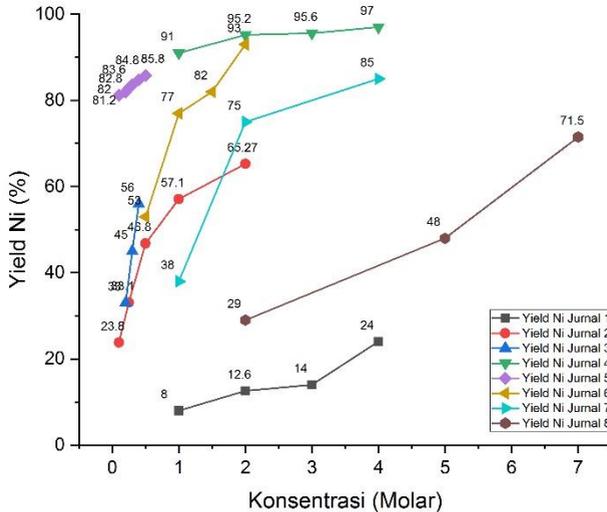
Penelitian Javanshir (2016) juga meneliti tentang pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap presentasi *yield* unsur Ni. Pada penelitian ini digunakan sampel berupa nikel laterit dan variasi konsentrasi yang digunakan ialah 2M, 5M, dan 7M. untuk mendukung proses *leaching* digunakan temperatur proses 90°C , kecepatan pengadukan 300 rpm dan solid/liquid 0.1 g/cm^3 . Untuk mengetahui *yield* unsur Ni yang dihasilkan di lakukan pengujian ICP-OES untuk mengetahui persentase nikel dalam larutan, dan di dapatkan grafik hasil *yield* unsur Ni seperti berikut:



Gambar 4.29 Hasil *recovery* nikel dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat pada penelitian Javanshir (2016)

Didapatkan hasil pada penitian yang dilakukan selama 2 jam ialah *yield* unsur Ni pada konsentrasi 2M sebesar 29.3%, sedangkan pada konsentrasi asam sulfat 5M didapatkan *yield* unsur

Ni sebesar 48% dan pada konsentrasi asam sulfat 7M didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 71.4%



Gambar 4.30 Grafik pengaruh konsentrasi larutan terhadap kenaikan *yield* unsur Ni pada proses *leaching* menggunakan asam sulfat

Hasil hasil diatas menunjukkan proses *leaching* nikel sangat tergantung pada konsentrasi asam yang digunakan. Hampir semua kenaikan konsentrasi asam yang digunakan selama proses *leaching* akan menaikkan persentase ekstraksi nikel Peningkatan konsentrasi asam dari 1 hingga 4 mol menyebabkan meningkatnya peningkatan aktivitas ion H^+ yang akan menghasilkan lebih banyak nikel dalam bentuk larutan.

Faktor konsentrasi asam pada jalannya proses *leaching* menjadi salah satu bagian penting yang menentukan perolehan

ekstraksi nikel. Salah satunya ialah evaluasi ekperimental yang dilakukan Xiao (2020), pada penelitiannya yang menggunakan konsentrasi asam 4 mol/L menunjukkan bahwa ada lebih sedikit gelembung hidrogen sulfida yang tercipta jika di dibandingkan dengan konsentrasi larutan yang lebih rendah, gelembung hidrogen sulfida akan lebih sedikit terbentuk jika durasi dari proses *leaching* ini ikut di perpanjang. Reaksi yang berlangsung pada proses leching nya berlangsung sangat cepat dalam 1200 detik pertama, ketika waktu dari reaksi *leaching* mencapai 1800 detik, efisiensi proses *leaching* nikel mencapai 90% dengan menggunakan 4 mol/L H₂SO₄. hala ini mengungkapkan bahwa variabel konsentrasi asam sulfat ialah salah satu metode yang sangat efektif untuk meningkatkan efisiensi proses *leaching* nikel (Xiao,2020).

Dari data hasil proses *leaching* diatas rata rata memberikan hasil yang sama tentang pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat bahwa tingginya konsentrasi dari asam sulfat pada saat proses *leaching* akan sebanding dengan naiknya ekstraksi nikel dan juga sebanding dengan laju reaksi yang terjadi, dalam hal ini larutan asam sulfat yang memiliki konsentrasi tinggi akan dapat lebih cepat melarutkan feed nikel dibandingkan dengan asam sulfat dengan konsentrasi rendah, hal tersebut sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi konsentrasi pelarut maka semakin banyak sampel yang dapat dalam larutan reagen (Zhang, 2013). Seperti yang ada pada tinjauan pustaka bahwa faktor yang mempengaruhi koefisien energi aktivasi dan laju reaksi ialah temperatur, luas permukaan dan konsentrasi. Pada laju reaksi sering kali didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi reaktan per satuan waktu, untuk satuan laju reaksi sendiri ialah M/s (molar per detik). pada proses reaksi sendiri, reaksi kimia akan berlangsung dari arah reaktan menuju produk hal tersebut berarti, selama reaksi kimia berlangsung reagen akan selalu digunakan dalam proses ini reagen yang dimaksud ialah asam sulfat dan reagen akan terus dikonsumsi bersamaan dengan terbentuknya produk hasil reaksi. Hal tersebut mendasari bahwa, laju reaksi dapat diteliti dari sisi pengurangan konsentrasi larutan asam sulfat maupun peningkatan konsentrasi

produk. Seperti yang disebutkan diatas bahwa laju suatu reaksi kimia sangat dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi larutan asam sulfat yang digunakan pada proses leaching, semakin besar konsentrasi asam sulfat yang digunakan, laju reaksi yang dihasilkan akan semakin besar. selain itu, laju reaksi juga dapat dipengaruhi oleh nilai konstanta laju reaksi (k). konstanta laju reaksi (k) ialah perbandingan antara laju reaksi dengan konsentrasi asam sulfat. nilai k akan semakin besar jika reaksi berlangsung dengan nilai konsentrasi larutan yang semakin besar. kaitan antara kenaikan konsentrasi larutan asam sulfat dan meningkatnya proses *leaching* didukung oleh hukum laju reaksi (*The Rate Law*) yang menunjukkan hubungan antara laju reaksi (v) terhadap konstanta laju reaksi (k) dan konsentrasi larutan (dalam proses ini digunakan asam sulfat) yang dipangkatkan dengan bilangan tertentu (orde reaksi). seperti pada persamaan berikut :



$$v = k [A]^x [B]^y \dots\dots\dots(4.3)$$

x dan y sendiri ialah bilangan perpangkatan (orde reaksi) yang dapat ditentukan melalui eksperimen. nilai x dan y sendiri berbeda dengan nilai koefisien reaksi a dan b . Bilangan perpangkatan x dan y dapat memperlihatkan bahwa pengaruh konsentrasi larutan A dan B terhadap laju reaksi sangatlah besar jika menurut hukum laju reaksi. orde total (orde keseluruhan) atau biasa di sebut tingkat reaksi ialah jumlah orde reaksi larutan secara keseluruhan pada proses reaksi dan dalam hukum laju reaksi, orde total ialah $x+y$ yang membuktikan bahwa kenaikan konsentrasi larutan mengambil peran penting dalam meningkatnya proses *leaching* yang pada akhirnya meningkatkan perolehan ekstraksi nikel.

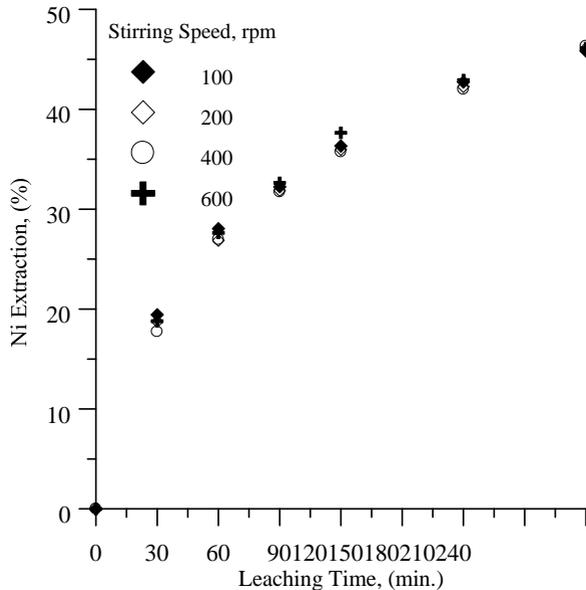
Meningkatnya hasil ekstraksi nikel pada proses *leaching* juga terjadi karena konsentrasi asam akan mempengaruhi aktivitas dari ion H^+ menjadi meningkat yang menghasilkan lebih banyak nikel yang terlarut (Havlik, 2008). menurut prinsip Le Chatelier

dengan meningkatnya konsentrasi asam, reaksi logam Ni dengan asam sulfat akan meningkatkan hasil nikel yang terlarut dalam larutan *leaching*, karena itu konsentrasi asam yang tinggi dipilih untuk menjadi acuan pada proses *leaching* nikel (Gharabaghi, 2013). seperti yang disebutkan diatas bahwa konsentrasi larutan asam akan mempengaruhi aktivitas ion H^+ pada proses *leaching*, aktivitas ion H^+ yang tinggi dalam proses *leaching* ini akan memberikan efek logam nikel akan terlarut maksimal dalam larutan *leaching*, reaksi tersebut terjadi karena ion H^+ dari asam sulfat akan lebih aktif dalam menyerap elektron dari logam nikel. ketika ion proton menyerap, maka logam nikel akan mereduksi ion H^+ tersebut, karena kedudukan logam Ni yang berada di kiri ion H^+ dalam deret volta akan terjadi reaksi reduksi secara spontan, dan karena banyaknya elektron dari logam Ni yang terserap oleh ion H^+ akan membuat logam ni akan terlarut secara maksimal pada larutan *leaching*.

4.2.4. Pengaruh kecepatan pengadukan pada tabung reaktor dalam proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat terhadap *yield* Ni

Penelitian Tevfik (2012) memvariasikan kecepatan pengadukan yang digunakan selama proses *leaching* menggunakan asam sulfat sebesar 100,200,400 dan 600 rpm. Pada proses *leaching* tersebut digunakan asam sulfat dengan konsentrasi 0.5 mol/L, temperatur proses 60°C dan digunakan nikel laterit yang sudah dihaluskan menjadi ukuran partikel sebesar $-106 \mu m$. Kemudian selama proses *leaching* berlangsung selama 240 menit larutan sampel akan diambil kemudian di masukkan ke alat uji ICP-OES untuk diketahui persentase nikel yang diperoleh selama proses, dan hasil akhirnya akan berupa gambar kurva seperti pada gambar 4.17. Pada kurva tersebut bisa terlihat kurva yang paling stabil kenaikan ekstraksi nikelnya berada pada kecepatan pengadukan 200 rpm. jika dilihat pada hasil akhir proses *leaching* yang dilakukan selama 240 menit kecepatan pengadukan 600 rpm memberikan hasil yang paling baik tetapi kenaikan kurva nya yang

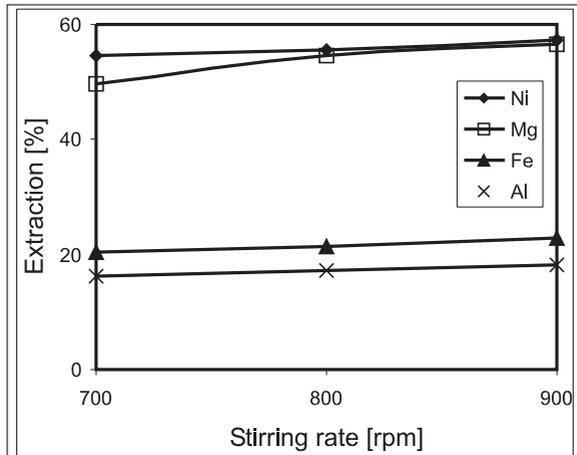
cenderung tidak stabil, di 30 menit awal kecepatan pengadukan 100 rpm memberikan hasil yang paling baik jika dibandingkan dengan hasil variasi lain. Dengan hasil tersebut maka diambil kecepatan pengadukan yang mempunyai kenaikan yang paling stabil terhadap persentase ekstraksi nikel yaitu berada pada 200 rpm.



Gambar 4.31 Hasil *recovery* nikel dengan variasi kecepatan pengadukan dalam tabung reaktor larutan asam sulfat pada penelitian Tevfik (2012)

Penelitian yang dilakukan oleh Srećko (2003) membandingkan antara 3 variasi rasio kecepatan pengadukan pada tabung reaktor dalam proses *leaching* nikel laterit menggunakan asam sulfat. Variasi kecepatan pengadukan pada tabung reaktor yang digunakan ialah 700 rpm, 800 rpm, dan 900 rpm. Variabel tetap yang digunakan pada penelitian ini berupa temperatur proses sebesar 60°C, waktu *leaching* selama 2 jam, dan konsentrasi asam sulfat yang di gunakan sebesar 0.4 mol/L. Setelah

proses *leaching* berlangsung dilakukan pengujian XRF pada sampel hasil *leaching* untuk mengetahui hasilnya, dan di dapatkan data hasil *yield* nikel yang sudah di jadikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:

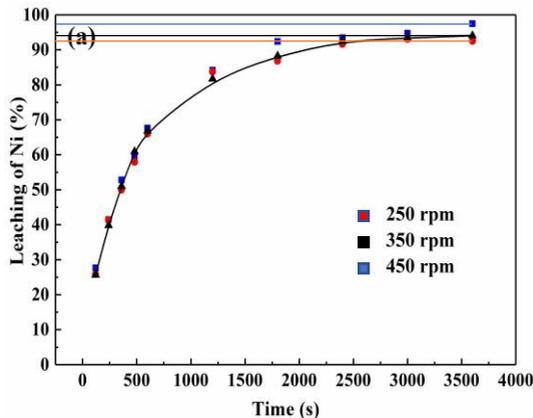


Gambar 4.32 Hasil *recovery* nikel dengan variasi kecepatan pengadukan dalam tabung reaktor larutan asam sulfat pada penelitian Srećko Stopić (2003)

Pada gambar diatas dapat dilihat adanya sedikit kenaikan pada hasil ekstraksi Nikel seiring bertambahnya kecepatan pengadukan pada tabung reaktor *leaching* selama 2 jam. Didapatkan hasil akhir proses *leaching* pada variasi 700 rpm sekitar 54.6% nikel yang terekstraksi, sedangkan pada kecepatan pegadukan 800 rpm didapatkan hasil 55.2% nikel yang terekstraksi dan pada kecepatan pengadukan tabung reaktor 900 rpm mendapatkan hasil ekstraksi Nikel yang paling tinggi di antara variasi lain yaitu 57%. Untuk perbandingan, dilakukan juga pengujian pada unsur Mg, Fe dan Al untuk mengetahui seberapa efisien proses *leaching* yang dilakukan. Pada kecepatan pengadukan 700 rpm didapatkan hasil persentase ekstraksi yaitu Mg 50%, Fe 20% dan Al 17.2%. Sedangkan pada kecepatan

pengadukan 800 rpm didapatkan hasil ekstraksi Mg 54.2%, Fe 21.2 % dan Al 17.8%. Lalu, pada kecepatan pengadukan tabung reaktor sebesar 900 rpm didapatkan hasil ekstraksi Mg 56.8%, Fe 22.% dan Al 18%. Bisa terlihat jika membandingkan kenaikan presentasi ekstraksi unsur Ni, Fe, Mg dan Al, Nikel mempunyai kenaikan presentasi ekstraksi yang paling besar dibandingkan Fe, Mg dan Al. dan kenaikan paling rendah terjadi pada unsur Aluminium yang kenaikannya presentasi ekstraksi nya tidak signifikan.

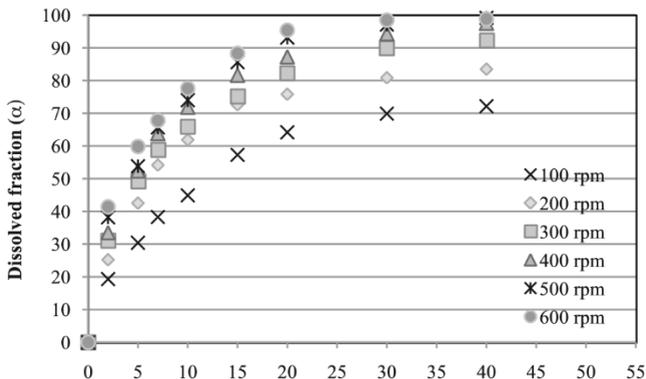
Penelitian lain tentang pengaruh kecepatan pengadukan pada tabung reaktor proses *leaching* menggunakan asam sulfat juga diteliti oleh Xiao (2020), dia memfokuskan penelitiannya untuk mengetahui pengaruh pada kecepatan pengadukan tabung reaktor dan menggunakan variasi kecepatan sebesar 250 rpm, 350 rpm, dan 450 rpm. Penelitian dilakukan dalam tabung reaksi menggunakan temperatur proses 75°C, ukuran partikel -96+75 μm , dan konsentrasi asam sulfat 4 mol/L



Gambar 4.33 Hasil *recovery* nikel dengan variasi kecepatan pengadukan dalam tabung reaktor larutan asam sulfat pada penelitian (Xiao, 2020)

Nilai *yield* terbaik didapatkan pada variasi kecepatan pengadukan 450 rpm yang menghasilkan 97% nikel ter *yield*, pada variasi pengadukan 250 rpm didapatkan hasil *yield* yang paling rendah diantara variasi lainnya yaitu sebesar 93% nikel yang ter *yield* dan pada kecepatan pengadukan 350 rpm didapatkan hasil *yield* nikel sebesar 94%.

Penelitian yang dilakukan Gharabaghi (2013) tentang efek kecepatan pengadukan pada proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat memberikan hasil yang sama seperti pada penelitian sebelumnya yaitu kecepatan pengadukan yang tinggi akan memberikan efek ekstraksi nikel yang semakin baik, akan tetapi pada penelitian ini memperlihatkan ada batas kestabilan pada kecepatan pengadukan yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan nikel laterit sebanyak 15 gram, asam sulfat sebesar 4 mol/L, temperatur proses sebesar 25°C, ukuran partikel nikel yang digunakan $-250\ \mu\text{m}$, variasi kecepatan pengadukan yang digunakan pada penelitian ini ialah sebesar 100, 200, 300, 400, 500 dan 600 rpm dan di lakukan proses *leaching* selama 40 menit. kemudian sampel di ambil dan dilakukan pengujian ICP-OES, di dapatkan gambar grafik hasil proses *leaching* sebagai berikut :

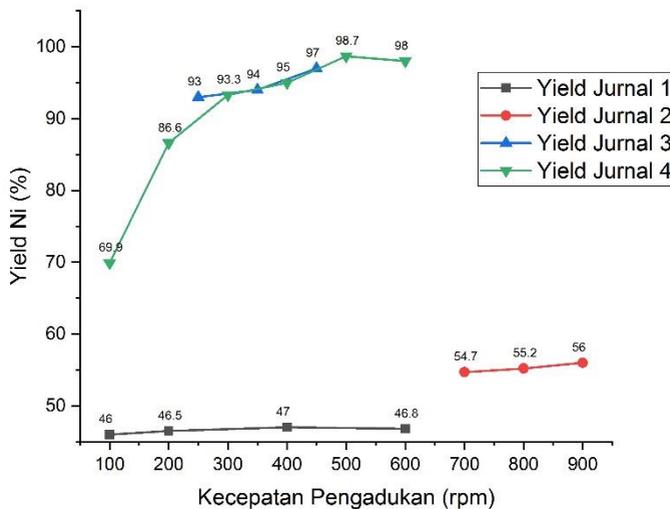


Gambar 4.34 Hasil *yield* nikel dengan variasi kecepatan pengadukan dalam tabung reaktor larutan asam sulfat pada penelitian (Gharabaghi, 2013).

Hasil ekstraksi logam nikel selama 30 menit pada proses *leaching* dapat dilihat pada grafik diatas, bahwa hasil ekstraksi nikel untuk kecepatan pengadukan 100, 200, 300 ialah sebesar 69.9%, 86.6%, dan 93.3%. kemudian untuk variasi kecepatan pengadukan 400 rpm di dapatkan hasil 95%. Untuk kecepatan pengadukan 500 dan 600 rpm didapatkan hasil ekstraksi logam nikel yang sama yaitu mencapai 98.7%. Pada penelitian ini ditunjukkan bahwa meningkatkan kecepatan laju agitasi di atas 500 rpm atau lebih tidak akan memengaruhi proses ekstraksi nikel yang terjadi pada *leaching*. Hal ini membuktikan bahwa pada kecepatan pengadukan 500 rpm ada suspensi yang cukup dari partikel logam nikel yang ada pada larutan. Suspensi yang dimaksud ialah kemampuan asam sulfat untuk mengandung partikel padat dari logam nikel sudah mencapai batas, atau dengan kata lain campuran heterogen antara zat cair asam sulfat dan zat padat logam nikel yang dilarutkan dalam asam sulfat sudah menacapai batas cukup dari kemampuan zat cair untuk melarutkan. Hal ini bisa terjadi karena partikel pada dalam proses *leaching* mengandung ukuran yang lebih besar dari 1 mikrometer sehingga cukup besar untuk terjadinya batas kelarutan. Karena hal tersebut, kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm banyak digunakan pada penelitian proses *leaching* karena dapat membuktikan dengan efektif menghilangkan lapisan film dan membantu mempercepat proses difusi larutan asam ke dalam logam nikel sehingga mempercepat proses *leaching* (Gharabaghi, 2013).

Kecepatan pengadukan atau proses agitasi akan mempengaruhi tumbukan antar molekul yang terjadi pada proses *leaching*. Semakin tinggi kecepatan proses agitasi yang digunakan maka tumbukan antar molekul yang terjadi akan semakin besar juga, sehingga laju reaksi akan meningkat dan hasil *yield* logam akan semakin tinggi (Valiz, 2001). Maka dari itu pada penelitian penelitian tersebut membuktikan bahwa kecepatan pengadukan yang tinggi akan dapat memberikan hasil ekstraksi yang semakin baik, akan tetapi ada beberapa variasi kecepatan pengadukan yang

memberikan hasil yang tidak sesuai dengan teori tersebut. Hal ini membuktikan bahwa ada batas kecepatan pengadukan yang memberikan batas maksimal untuk nikel larut. Pada saat itu kelarutan nikel akan bersifat tetap dan jika kecepatan pengadukan di naikkan akan menghilangkan efek dari kecepatan pengadukan terhadap proses ekstraksi nikel.



Gambar 4.35 Grafik pengaruh kecepatan pengadukan terhadap kenaikan *yield* unsur Ni pada proses *leaching* menggunakan asam sulfat

Proses agitasi atau pengadukan pada proses *leaching* berperan penting dalam hal meminimalisir ketebalan lapisan film yang ada pada partikel logam nikel, lapisan film sendiri merupakan lapisan awal pada partikel logam yang bersentuhan dengan larutan asam dan ketebalan lapisan film ini akan sangat

mempengaruhi jalannya proses difusi dalam *leaching* dan juga proses agitasi akan memaksimalkan area antarmuka antara fase gas dan fase cair jika terbentuknya fase gas pada proses *leaching* (Havlik, 2008).

Menurut Webber(1972) ketebalan lapisan film pada partikel logam akan mempengaruhi proses adsorpsi dan difusi, tergantung besarnya pengadukan yang terjadi pada proses *leaching*. jika, proses pengadukan yang terjadi relatif kecil maka lapisan film yang mengelilingi partikel logam akan menebal sehingga proses difusi akan berlangsung melambat. apabila dilakukan proses pengadukan dengan kecepatan yang cukup maka kecepatan difusi pada lapisan film akan meningkat. semakin cepatnya pengadukan pada proses *leaching* akan meningkatkan proses difusi antara asam sulfat dan partikel logam nikel sehingga dapat bercampur lebih cepat dan kontak yang terjadi dapat lebih cepat pula sehingga proses adsorpsi berlangsung lebih cepat. akan tetapi, terlalu cepatnya kecepatan pengadukan akan memberikan efek asam sulfat menjadi tidak sempat untuk membuat ikatan dengan partikel logam nikel. akibatnya hanya sedikit logam nikel yang mampu membentuk ikatan dengan asam sulfat (Isna, 2011).

Pada penelitian Tevlik (2012), efek kecepatan pengadukan pada proses *leaching* dianggap tidak terlalu mempengaruhi persentase ekstraksi nikel, akan tetapi efek kecepatan pengadukan dalam proses *leaching* berguna dalam memberikan stabilitas larutan asam agar proses ekstraksi nikel tetap berjalan, maka dari itu digunakan kecepatan pengadukan 200 rpm yang cenderung lebih rendah tetapi memberikan hasil ekstraksi nikel yang tidak terlalu jauh dari kecepatan pengadukan 400 dan 600 rpm yang memiliki hasil ekstraksi nikel sedikit lebih baik dari 200 rpm (Tevlik, 2012). kenaikan kecepatan pengadukan dalam proses *leaching* digunakan untuk menghilangkan efek difusi dari partikel eksternal (difusi melalui boundary layer dari larutan asam), proses pengadukan dalam *leaching* ini diharapkan dapat mempermudah proses kelarutan nikel didalam media asam. proses pengadukan juga dapat meminimalisirkan pembentukan sendimen yang tidak

diinginkan dalam larutan asam karena jika endapan lain selain produk di dalam larutan terbentuk akan memperlambat jalannya proses *leaching* dan konsumsi dari asam akan semakin meningkat (Srećko Stopić, 2013).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari *literatur Review* ini adalah :

1. Pengaruh temperatur pada proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat akan mempengaruhi jalannya laju reaksi yang terjadi antara partikel logam nikel dan asam sulfat. Hal tersebut terjadi karena makin tingginya temperatur proses yang di gunakan maka kecepatan gerak partikel partikel pereaksi dan energi kinetik partikel akan ikut meningkat, sehingga menyebabkan banyak partikel partikel yang memiliki energi kinetik di atas energi pengaktifannya. Pada *Review* ini didapatkan hasil ekstraksi nikel yang paling baik yaitu sebesar 99% dengan temperatur proses yang digunakan ialah 85oC pada penelitian Xiao (2020)
2. Pengaruh ukuran partikel yang semakin kecil pada proses *leaching* nikel menggunakan asam sulfat akan memberikan area kontak yang lebih besar antara logam dengan larutan asam. Ukuran partikel yang kecil akan meningkatkan efektivitas proses *leaching* secara keseluruhan karena tingkat laju reaksinya yang tinggi dan meningkatkan kemungkinan luas permukaan logam yang akan direduksi oleh asam sulfat. Pada *Review* ini didapatkan hasil ekstraksi nikel yang paling baik yaitu sebesar 100% dengan ukuran partikel yang digunakan ialah 38 μm dan 44 μm pada penelitian Purwanto (2004) dan Tefik (2012).
3. Kenaikan konsenstrasi asam pada proses *leaching* nikel menggunakan media asam sulfat dapat meningkatkan hasil ekstraksi nikel pada proses *leaching*. Hal tersebut terjadi karena konsentrasi asam akan mempengaruhi aktivitas dari ion H^+ menjadi meningkat dan lebih aktif sehingga menghasilkan lebih banyak nikel yang terlarut. Pada

Review ini didapatkan hasil ekstraksi nikel yang paling baik yaitu sebesar 97% dengan konsentrasi larutan asam sulfat sebesar 4 mol/L pada penelitian Xiao (2020).

4. Menurut teori yang ada pengaruh kecepatan pengadukan yang tepat akan memberikan hasil yang maksimal pada proses *leaching*, kenaikan persentase ekstraksi nikel biasanya menggunakan kecepatan pengadukan yang tinggi. Akan tetapi kecepatan pengadukan yang sangat tinggi akan menghilangkan efek dari kecepatan pengadukan pada proses *leaching*, maka dari itu kecepatan pengadukan yang digunakan harus tepat sesuai dengan kondisi proses *leaching* yang digunakan. Apabila dilakukan proses pengadukan dengan kecepatan yang cukup maka kecepatan difusi pada lapisan film akan meningkat. Semakin cepatnya pengadukan pada proses *leaching* akan meningkatkan proses difusi antara asam sulfat dan partikel logam nikel sehingga dapat bercampur lebih cepat dan kontak yang terjadi dapat lebih cepat pula sehingga proses adsorpsi berlangsung lebih cepat. Pada *Review* ini didapatkan hasil ekstraksi nikel yang paling baik yaitu sebesar 94% dengan kecepatan pengadukan sebesar 450 rpm pada penelitian Xiao (2020).

5.2. Saran

Demi menunjang kemajuan ilmu pengetahuan dalam bidang pengolahan mineral khususnya dalam proses *leaching* maka langkah baiknya penulis memberikan masukan dan saran untuk penelitian kedepannya. Adapun saran *literature Review* dari penulis adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian tentang zat katalisator yang tepat pada proses *leaching* menggunakan media asam sulfat sehingga dapat membantu mempercepat proses *leaching*.

2. Perlu adanya pengujian XRD pada produk awal dan akhir *leaching* agar mengetahui senyawa yang terbentuk selama proses *leaching*.
3. Perlu adanya penelitian tentang fase gas yang terbentuk selama proses *leaching* agar dapat membantu analisa tentang kinetika proses *leaching*.
4. Perlu adanya penelitian tentang padatan sulfur yang terbentuk karena proses *leaching*.

5.3. Kritik

Demi menunjang kemajuan penelitian khususnya tentang proses *leaching* menggunakan asam sulfat maka alangkah baiknya penulis memberikan pandangan dan kritik untuk penelitian kedepannya sehingga bisa memberikan informasi yang membantu penelitian kedepan,. Adapun kritik *literature Review* dari penulis adalah sebagai berikut:

1. Kebanyakan *paper* yang ada tidak memberikan data pengujian akhir, tetapi memberikan data yang sudah di olah menjadi bentuk grafik, sehingga analisis yang dihasilkan oleh penulis hanya terbatas pada data pada grafik.
2. Pengujian senyawa (XRD) pada akhir proses sangat jarang dilakukan, padahal untuk memvalidasi hasil yang didapatkan sangat baik untuk mengetahui senyawa apa yang terbentuk sehingga bisa memperdalam analisis yang dibuat oleh penulis.
3. Penggunaan proses *leaching* secara umum dalam dunia industri saat ini memang tidak sebanyak penggunaan *pyrometallurgy*, akan tetapi melihat perkembangan teknologi penggunaan logam nikel yang semakin penting sehingga membutuhkan produk logam nikel dengan kadar yang baik maka dapat dipastikan bahwa beberapa tahun ke depan proses *leaching* akan lebih memberikan ke efektifan proses ekstraksi logam nikel. Untuk meningkatkan ke

efektivan proses pengolahan logam nikel, proses *leaching* akan berada pada proses setelah *pyrometallurgy*, sehingga produk logam nikel yang hanya memiliki kadar 30% akan dilanjutkan pengolahannya menggunakan proses *leaching* sehingga bisa menghasilkan produk logam nikel dengan kadar lebih dari 70%

4. Kebaharuan yang dihasilkan pada *literature Review* ini ialah tentang pengoptimalan proses *leaching*, sehingga nantinya di dapatkan metode yang efektif dan optimal untuk di terapkan di industri pengolahan nikel.
5. Pada proses *leaching* sendiri memiliki berbagai macam kelebihan yang sangat baik untuk pengolahan nikel salah satunya mampu mengolah *ore* nikel dengan kadar rendah menjadi nikel dengan kadar yang tinggi, akan tetapi permasalahan utama dari proses *hydrometallurgy* sendiri ialah limbah asamnya yang saat ini belum optimal proses *recycle* nya, sehingga pada *literature Review* ini memiliki tujuan untuk mengoptimalkan proses *leaching* sehingga pada proses yang optimal nantinya akan menghasilkan produk logam nikel yang banyak dengan kadar yang tinggi tetapi dengan menggunakan asam sulfat yang sedikit mungkin. Sehingga penggunaan asam yang nantinya akan menjadi limbah yang sulit ter *recycle* tersebut juga akan semakin rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Ucyildiz, I. G. (2016). High Pressure Sulphuric Acid *Leaching* Of Lateritic Nickel Ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 75–488.
- Aaltonen, K, K., & R, M. (2003). *World Patent Patent No. 03/004709*.
- Agacayak, T., & Zedef, V. (2012). Dissolution kinetics of a lateritic nickel ore in sulphuric acid medium. *Acta Montanistica Slovaca*, 33-41.
- Altansukh, B. (2014). Recovery of Nickel and Cobalt from a Low Grade Laterite Ore. *Resources Processing Vol. 61*, 100-109.
- Arroyo, J., & Neudorf, D. (2001). *Patent No. 6,261,527*.
- Astuti, W., Hirajima, T., Sasaki, K., & Okibe, N. (2016). Comparison of effectiveness of citric acid and other acids in *leaching* of low-grade Indonesian saprolitic ores. *Minerals Engineering*, 1-16.
- Bergman, R. A. (2003). Nickel production from low-iron laterite ores: Process descriptions. *CIM Bulletin*, 127–138.
- C., M. R. (1971). *The Extractive Metallurgy of Uranium*. Colorado: Johnson Publishing Company.
- Dalvi, D. A., Bacon, D. W., & Osborne, M. R. (2004). The Past and the Future of Nickel Laterites. *Trade Show & Investors Exchange*, 1-27.
- Das, G., & Acharya, S. (1996). Jarosites: A Review. *Miner. Process. Extr. Metall. Rev*, 185–210.
- Dutrizac, J. (1999). The effectiveness of jarosite species for precipitating sodium jarosite. *Jom 1999*, 30–32.
- Eni Febriana, A. T. (2018). Kinetika dan Mekanisme Pelindian Nikel dari Bijih Limonit : Pengaruh Waktu dan Temperatur. *METALURGI*, 61-68.
- Fan, X., Xing, W., Dong, H., Zhao, J., Wu, Y., Li, B., . . . Wu, X. (2013). Factors Research on the Influence of *Leaching* Rate of Nickel and Cobalt from Waste Superalloys with

- Sulfuric Acid. *International Journal of Nonferrous Metallurgy*, 63-67.
- Gandoman, F. H., Firouz, Y., Hosen, M. S., Kalogiannis, T., Joris Jaguement, M. B., & Mierlo, J. V. (2019). Reliability assessment of NMC Li-ion battery for electric vehicles application. *IEEE*, 1-6.
- Gustiana, H. S., Bendiyasa, I. M., Petrus, H. T., Mufakhir, F. R., & Astuti, W. (2018). Pelindian Nikel dari Bijih Limonit Low-Grade Pomalaa Menggunakan Pelarut Asam Asetat. *Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia* (pp. 1-7). Yogyakarta: Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Habashi, F. (2005). A Short History of Hydrometallurgy. *Journal of Hydrometallurgy*, 15–22.
- Hadi Purwanto, T. S.-i. (2003). Recovery of Nickel from Selectively Reduced Laterite Ore by. *ISIJ International*, 181–186.
- Hannan, M., Hoque, M., Hussain, A., Yusof, Y., & Ker, P. (2018). State-of-the-art and energy management systems of Li-ion batteries in EV applications: Issues and recommendations. *IEEE Access*, 19362–19378.
- Henokh, V. S., Pintowantoro, S., & Abdul, F. (2020). Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Sulfat pada Proses *Leaching* Ferronickel Mini Blast Furnace terhadap Komposisi Kimia, *Yield*, dan Senyawa NiSO₄.6H₂O. *Jurnal Teknik ITS*.
- Hoatson, D. M., Jaireth, S., & Jaques, A. L. (2006). Nickel sulfide deposits in Australia: Characteristics, resources, and potential. *Ore Geology Review*, 177-241.
- Horiba, T. (1939–1950). Li-ion battery systems. *Proc. IEEE*, 2014.
- Hosseini, S. R. (2017). *Leaching* of nickel from a secondary source by sulfuric acid. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3922–3929.

-
- Javanshir, S. (2016). Atmospheric pressure *leaching* of nickel from a low-grade nickel-bearing ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 890-900.
- Jennifer MacCarthy, A. N.-M. (2014). Atmospheric acid *leaching* of nickel laterites: Atmospheric acid lea. *CHEMECA*.
- K, Q., D, X., W, S., A, N., T, H., J, A.-M., & DJ, R. (2013). Column *leaching* of nickel laterite agglomerates: Effect of feed size. *Journal of Hydrometallurgy*, 144-149.
- Keong, T. (2003). *Bioleaching* of Heavy Metals from Electronic Scrap Materials (ESM) by *Aspergillus niger* and *Penicilium Simplicissimum*. *Thesis of National University Singapore*.
- Khoo, J. Z., Haque, N., Woodbridge, G., McDonald, R., & Bhattacharya, S. (2016). A life cycle assessment of a new laterite processing technology. *Journal of Cleaner Production*, 1-36.
- Komnitsas, K., Petrakis, E., Pantelaki, O., & Kritikaki, A. (2018). Column *Leaching* of Greek Low-Grade Limonitic Laterites. *Minerals 2018*, 1-14.
- Kursunoglu, S. (2016). Atmospheric pressure acid *leaching* of Caldag lateritic nickel ore. *International Journal of Mineral Processing*, 1-8.
- Kusuma, G. D. (2012, Juli). Pengaruh Reduksi Roasting dan Konsentrasi *Leaching* Asam Sulfat Terhadap Recovery Nikel dari Bijih Limonite. Depok: Universitas Indonesia.
- Leppinen, J., Riihimäki, T., & Ruonala, M. (2011). *Patent No. CA2819224A1*.
- MacCarthy, J., Nosrati, A., Skinner, W., & Addai-Mensah, J. (2014). Atmospheric acid *leaching* of nickel laterites: Effect of Temperature, Partile Size and Mineralogy. *Chemeca*, 1-14.
-

-
- Manomenova, V. L., Rudneva, E. B., Voloshin, A. É., Soboleva, L. V., Vasil'ev, A. B., & Mchedlishvili, a. B. (2005). Growth of a-NiSO₄.6H₂O Crystals at High Rates. *Crystallography Reports*, 877-882.
- McDonald, R., & Whittington, B. (2008). Atmospheric acid leaching of nickel laterites *Review Part I. Sulphuric acid technologies. Journal of Hydrometallurgy*, 35-55.
- Merritt, R. C. (1971). *The Extractive Metallurgy of Uranium*. Colorado: Johnson Publishing Company.
- Miettinen, V., J. M., Kolehmainen, E., Kravtsov, T., & Rintala, L. (2019). Iron Control in Atmospheric Acid Laterite Leaching. *Minerals 2019*, 1-13.
- Mudd, G. M. (2009). Nickel Sulfide Versus Laterite : The Hard Sustainability Challenge Remains. *Proc. "48th Annual Conference of Metallurgists"*. Sudbury, Ontario, Canada: Canadian Metallurgical Society.
- Nosrati, A., Quast, K., Xua, D., WilliamSkinner, Robinson, D. J., & Addai-Mensah, J. (2014). Agglomeration and Column Leaching behaviour of nickel laterite ores: Effect of ore mineralogy and particle size distribution. *Journal of Hydrometallurgy*, 29-39.
- Petrus, H. B., Wanta, K. C., Setiawan, H., Perdana, I., & Astuti, a. W. (2018). Effect of pulp density and particle size on indirect bioleaching of Pomalaa nickel laterite using metabolic citric acid. *Materials Science and Engineering* (p. 285). Yogyakarta: IOP Publishing.
- Setiawan, I. (2017). Karakteristik Nikel Laterit Indonesia pada Pemanasan dari 600 C Sampai dengan 1000 C. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* (pp. 58-66). Pamulang: Universitas Pamulang.
- Solar, M. (2008). Selection of optimum ferronickel grade for smelting nickel laterites. *CIM Bulletin*, 1-8.
- Srećko Stopić, B. F. (2003). Sulphuric Acid Leaching of the Serbian Nickel. *ERZMETALL* 56, 198-203.
-

-
- Supriyatnaa, Y. I., Sihotang, I. H., & Sudibyoa. (2019). Preliminary Study of Smelting of Indonesian Nickel Laterite Ore using an Electric Arc Furnace. *The 6th International Conference on Advanced Materials Science and Technology* (pp. 127–131). Elsevier Ltd.
- Swinbourne, D. R. (2014). Modelling of Nickel Laterite Smelting to Ferronickel. *High Temperature Processing Symposium* (pp. 28-32). Melbourne: Swinburne University of Technology.
- Takeo, N. (2005). *Atlas of Eh-pH Diagrams*. Jepang: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.
- Tevfik Agacayak, V. Z. (2012). Dissolution kinetics of a lateritic nickel ore in sulphuric acid medium. *Ročník 17*, 33-41.
- Tszeferis, P. (1994). *Leaching* of a Low grade Energy hematitic Laterite Ore Using Fungi and Biologically Produced Acid metabolites. *International Journal Miner*, 267-284.
- TT, C., JE, D., E, K., & R, O. (2004). Mineralogical characterisation of nickel laterites from New Caledonia and Indonesia. *International Laterite Nickel Symposium, Minerals, Metals, and Materials Society*, 79-99.
- Valix, M., & Cheung, W. (2002). Effect of sulfur on the mineral phases of laterite ores at high temperature reduction. *Minerals Engineering*, 523-530.
- Valix, M., Usai, F., & Malik, R. (2001). Fungal Bio-leaching of Low Grade Laterite Ores. *Minerals Engineering*, 197-203.
- Wang, K., Li, J., McDonald, R., & Browner, R. (2017). Iron, aluminium and chromium co-removal from atmospheric nickel laterite leach solutions. *Minerals Engineering*, 1-11.
- Warner, A. E. (2007). World Nonferrous Smelter Survey, Part IV: Nickel: Sulfide. *JOM*, 58–72.
- Whittington, B. I., & Muir, D. (2000). *Pressure Acid Leaching of Nickel Laterites: A Review*. Malaysia: OPA (Overseas Publisher Association) N.V.
- Xiao, X. L. (2020). Kinetics of nickel leaching from low-nickel matte in sulfuric acid. *Hydrometallurgy*, 1-28.
-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran dari *paper* yang di *Review*

1. Xiao, dkk., 2020



2. Febriana, dkk., 2018



7. Tefvik Agacayak, dkk., 2012



8. Hadi Purwanto, dkk., 2003.



9. Tabel Data Temperatur dari masing masing *paper*

No.	Nickel Type	Reagent Solution	Feed (gram)	Time (min)	H ₂ SO ₄ Concentration (mol/L)	Particle Size	Stirring Speed (rpm)	Temperature (°C)	Leaching Product		Researcher
									Yield Ni	Yield Fe	
1.	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	350	85	99%	100%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	350	75	96%	100%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	350	65	94%	100%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	350	55	92%	100%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	350	45	61%	100%	Xiao, 2020
2.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	700	90	78%	-	Srecko Stopic, 2013
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	700	75	62%	-	Srecko Stopic, 2013
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	700	60	37%	-	Srecko Stopic, 2013
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	700	45	28%	-	Srecko Stopic, 2013
3.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-180+128 mm	500	80	99%	-	Hosseini, 2017
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-180+128 mm	500	50	90%	-	Hossaini, 2017
	Nickel Laterite	H₂SO₄	20	240	4	-180+128 mm	500	40	22%	-	Hosseini, 2017
4.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-180+128 mm	500	25	21%	-	Hossaini, 2017
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	40	60	0.3	144-305 μm	350	240	92%	2%	Ucydiz, 2017
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	40	60	0.3	144-305 μm	350	230	78%	2%	Ucydiz, 2017
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	40	60	0.3	144-305 μm	350	220	70%	2%	Ucydiz, 2017
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	40	60	0.3	144-305 μm	350	210	67%	2%	Ucydiz, 2017
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	40	60	0.3	144-305 μm	350	200	65%	2%	Ucydiz, 2017
5.	Limonit	H ₂ SO ₄	5	480	1	150-200	400	90	96%	-	Febriana, 2018
	Limonit	H ₂ SO ₄	5	480	1	150-200	400	50	28%	-	Febriana, 2018
	Limonit	H ₂ SO ₄	5	480	1	150-200	400	30	11%	-	Febriana, 2018
6.	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	360	2	0.053 mm	500	90	92%	-	Kursonoglu, 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	360	2	0.053 mm	500	70	83%	-	Kursonoglu, 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	360	2	0.053 mm	500	50	48%	-	Kursonoglu, 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	360	2	0.053 mm	500	30	23%	-	Kursonoglu, 2016
7.	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	100	120	2	-	500	95	98%	-	Altunsohk 2014
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	100	120	2	-	500	90	97%	-	Altunsohk 2014
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	100	120	2	-	500	80	94%	-	Altunsohk 2014
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	100	120	2	-	500	60	80%	-	Altunsohk 2014
8.	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	180	5	-	300	90	70%	-	Javanshir 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	180	5	-	300	60	49%	-	Javanshir 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	180	5	-	300	45	40%	-	Javanshir 2016

10. Tabel data Ukuran Partikel dari masing masing *paper*

No.	Nickel Type	Reagent Solution	Feed (gram)	Time (min)	H ₂ SO ₄ Concentration (mol/L)	Particle Size	Stirring Speed (rpm)	Temperature (°C)	Leaching Product		Researcher
									Yield Ni	Yield Fe	
1.	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-58+148 μm	350	75	98%	93%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-75-58	350	75	96%	93%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96-75	350	75	93%	93%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-150+96 μm	350	75	88%	93%	Xiao, 2020
2.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-180 +125 mm	500	25	25%	-	Hosseini, 2017
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-250 +180 mm	500	25	23%	-	Hosseini, 2017
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-420 +1250 mm	500	25	18%	-	Hosseini, 2017
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-600 +420 mm	500	25	10%	-	Hosseini, 2017
3.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	2	-38 μm	200	80	100%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	2	-45+38	200	80	92%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	2	-75+45 μm	200	80	65%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	2	-106-75 μm	200	80	46%	-	Tevfik, 2012
4.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.05	0-44 μm	500	70	100%	-	Purwanto, 2004
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.05	44-63 μm	500	70	78%	-	Purwanto, 2004
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.05	0-44 μm	500	70	77%	-	Purwanto, 2004
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.05	106-150 μm	500	70	58%	-	Purwanto, 2004
5.	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	5	240	1	0.2 mm	600	95	99%	-	MacCarthy, 2014

11. Tabel data Ukuran Partikel dari masing masing *paper*

No.	Nickel Type	Reagent Solution	Feed (gram)	Time (min)	H ₂ SO ₄ Concentration (mol/L)	Particle Size	Stirring Speed (rpm)	Temperature (°C)	Leaching Product		Researcher
									Yield Ni	Yield Fe	
1.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	4	-250 -180 mm	500	25	24%	-	Hosseini, 2017
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	3	-250 180 mm	500	25	14%	-	Hosseini, 2017
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	2	-250 180 mm	500	25	13%	-	Hosseini, 2017
2.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	240	1	-250 -180 mm	500	25	8%	-	Hosseini, 2017
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	2	-106 µm	200	60	66%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	1	-106 µm	200	60	57%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	0.5	-106 µm	200	60	47%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	0.25	-106 µm	200	60	33%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	0.1	-106 µm	200	60	24%	-	Tevfik, 2012
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.4	200-160 µm	700	60	56%	18%	Sreško Stojić, 2013
Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.3	200-160 µm	700	60	45%	18%	Sreško Stojić, 2013	
Nickel laterite	H₂SO₄	20	120	0.2	200-160 µm	700	60	33%	18%	Sreško Stojić, 2013	
4.	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 µm	350	75	97%	92%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	3	60	4	-96/75 µm	350	75	95.3%	92%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	2	60	4	-96/75 µm	350	75	95%	92%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	1	60	4	-96/75 µm	350	75	91%	92%	Xiao, 2020
5.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.5	0-44 µm	500	70	86%	21%	Purwanto, 2004
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.4	0-44 µm	500	70	85%	21%	Purwanto, 2004
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.3	0-44 µm	500	70	83%	21%	Purwanto, 2004
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.2	0-44 µm	500	70	82%	21%	Purwanto, 2004
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	1	60	0.1	0-44 µm	500	70	80%	21%	Purwanto, 2004
6.	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	360	2	0.053 mm	500	90	93%	-	Kursonglu, 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	360	1.5	0.053 mm	500	90	82%	-	Kursonglu, 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	360	1	0.053 mm	500	90	77%	-	Kursonglu, 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	360	0.5	0.053 mm	500	90	53%	-	Kursonglu, 2016
7.	Nickel Laterit	H₂SO₄	100	120	4	-	500	95	85%	-	Altansukh 2014
Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	100	120	2	-	500	95	75%	-	Altansukh 2014	
Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	100	120	1	-	500	95	38%	-	Altansukh 2014	
8.	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	180	7	-	300	90	71.5%	-	Javanshir 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	180	5	-	300	90	48%	-	Javanshir 2016
	Nickel Laterit	H ₂ SO ₄	10	180	2	-	300	90	29%	-	Javanshir 2016

12. Tabel data kecepatan pengadukan dari masing masing *paper*

No.	Nickel Type	Reagent Solution	Feed (gram)	Time (min)	H ₂ SO ₄ Concentration (mol/L)	Particle Size	Stirring Speed (rpm)	Temperature (°C)	Leaching Product		Researcher
									Yield Ni	Yield Fe	
1.	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	0.5	- 106 μm	200	60	46%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	0.5	- 106 μm	100	60	45%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	0.5	- 106 μm	400	60	48%	-	Tevfik, 2012
	Nickel Laterite	H ₂ SO ₄	5	240	0.5	- 106 μm	600	60	47.8%	-	Tevfik, 2012
2.	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	700	90	54%	22%	Srecko Stopic, 2013
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	800	90	55%	22%	Srecko Stopic, 2013
	Nickel laterite	H ₂ SO ₄	20	120	0.2	200-160 μm	900	90	57%	22%	Srecko Stopic, 2013
3.	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	450	75	97%	92%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	350	75	94%	92%	Xiao, 2020
	Nickel Matte	H ₂ SO ₄	4	60	4	-96+75 μm	250	75	93%	92%	Xiao, 2020
4.	Nickel Lateritw	H ₂ SO ₄	15	40	4	- 250 μm	600	25	98%		Gharabaghi, 2013
	Nickel Lateritw	H ₂ SO ₄	15	40	4	- 250 μm	600	25	98.7%		Gharabaghi, 2013
	Nickel Lateritw	H ₂ SO ₄	15	40	4	- 250 μm	600	25	95%		Gharabaghi, 2013
	Nickel Lateritw	H ₂ SO ₄	15	40	4	- 250 μm	600	25	93%		Gharabaghi, 2013
	Nickel Lateritw	H ₂ SO ₄	15	40	4	- 250 μm	600	25	86%		Gharabaghi, 2013
	Nickel Lateritw	H ₂ SO ₄	15	40	4	- 250 μm	600	25	70%		Gharabaghi, 2013

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pembuatan laporan Tugas Akhir yang berjudul “*Review Proses Ekstraksi Nikel Menggunakan Metode Leaching Dengan Media Asam Sulfat*” ini, penulis mendapatkan banyak doa, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT berkat rahmat, barokah, pertolongan dan bimbinganNya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua saya Bapak Sigit dan Ibu Saryatun, kakak kakak saya mba Anis dan mba Gita yang selalu mendukung dan senantiasa mendoakan penulis agar bersemangat serta menjadi pribadi yang jauh lebih baik lagi.
3. Para partner saya dalam menyusun laporan tugas akhir Vito Valdano, Tetty Manik, Henokh Vidhi
4. Para anggota Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material Mas Beryl Widyarta, Kevin, Safira, Iqbal, Erick, Mahanaim, Nanta, Afni, Naufal Firdaus, Najib, Sumantri, Naufal, Amri, Fadel, Radite dan para teman kuli Sugiarto, Ghalib, Nanda, Arif, Bayu Murti, Handis, Wardhana, Daniel, Oska yang telah membantu dan menemani saya siang hingga malam dalam segala proses pengerjaan dan pembuatan laporan tugas akhir ini.
5. Teman Teman Antasena ITS Tim terutama divisi Creative Media dan Medfo HMMT
6. Teman teman kontrakan mbambet yang selalu mudah untuk memberikan uluran tangan saat dibutuhkan
7. Para sahabat SMA yang selalu menyemangati saya, teman teman Karbol Gilang, Riski, Furqan, Gilangtom, yang selalu menyemangati saya siang dan malam, teman teman Jogja Kendari Ramdan, Andika, Mega, Salni, Isaal, dan semua teman teman lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang sudah memberi semangat untuk bangkit.

8. Rumah saya MT18

Penulis menyadari ada pihak-pihak yang belum dapat dituliskan dalam halaman terima kasih ini dan memohon maaf yang sebesar-besarnya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca. Adapun terdapat kesalahan dalam penulisan, penulis meminta maaf sebesar besarnya.

Surabaya, 2020
Penulis

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kendari pada 18 Mei 1998. Penulis merupakan anak terakhir dari 3 bersaudara dari pasangan Sigit Pramono dan Saryatun. Riwayat pendidikan yang ditempuh oleh penulis yaitu SDN 12 Baruga Kota Kendari, SMP Negeri 1 Kendari, SMA Negeri 1 Kendari, dan kini melanjutkan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Jawa Timur.

Selama berkuliah di ITS, penulis aktif mengikuti kegiatan seperti melakukan kerja praktik, berbagai seminar, pelatihan, dan organisasi. Untuk organisasi, penulis aktif menjadi wakil ketua creative design di dalam tim riset mobil hemat energi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi yaitu Tim Antasena ITS, lalu diamanahi menjadi grader di laboratorium teknologi pengolahan mineral dan material. Penulis juga pernah menjabat sebagai Staff media dan informasi di ITS MA chapter dan HMMT 2017/2018, dan menjadi ketua biro media kreatif HMMT 2018/2019, dan selama berkuliah penulis juga mengikuti berbagai macam lomba nasional maupun internasional.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. Vale Indonesia, Sorowako, Luwu Timur, Sulawesi Selatan yang dilaksanakan pada periode Juli – Agustus 2019. Pada saat kerja praktik, penulis mendapatkan topik tentang “Pengaruh Kecepatan Rotasi, Kedalaman Feeding, dan Penggunaan Cooler Pada Proses Pembubutan Konvensional Terhadap Ke Efisienan Penggunaan Mata Pahat SNMG 120408-26/TN2000 Pada Divisi Machining Shop PT. Vale Indonesia tbk”. Sedangkan tugas akhir penulis berjudul “*Review* Proses Ekstraksi Nikel Menggunakan Metode *Leaching* Dengan Media Asam Sulfat”. Penulis dapat dihubungi melalui email: mohammadsatrioprambodo@gmail.com