

## UJI UKURAN PARTIKEL BIJIH NIKEL DAN KANDUNGAN ASAM SULFAT TERHADAP RENDEMEN NIKEL SULFAT PADA PROSES EKSTRAKSI

(Testing of particulate particles of nickel and sulphuric acid content exposed to nitric sulphate resistance in scale extraction processes )

**Dzulfilham Hamsar\***, Ikhwanul Muslimin Mansyur, Ruslan Kalla, Latri Wiyani

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumaharjo No.Km5 Panaikang, Panakukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia

### Inti Sari

Nikel adalah salah satu hasil tambang yang penggunaannya telah dikenal dalam dunia industri. Logam ini banyak digunakan karena memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, mudah dibentuk tetapi tetap kuat, serta katalisator dan konduktor yang baik. Untuk memanfaatkan nikel yang terdapat di wilayah Indonesia agar memiliki nilai ekonomis yang tinggi maka dilakukan pengolahan mineral dengan proses ekstraksi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel bijih nikel terhadap yield nikel sulfat dengan proses ekstraksi dan mengetahui konsentrasi  $H_2SO_4$  terbaik terhadap yield nikel sulfat dengan proses ekstraksi. Penelitian ini dilakukan dengan membagi ukuran partikel bijih nikel menjadi 4 ukuran berbeda, yaitu mesh 80, mesh 100, mesh 150, dan mesh 200. Masing-masing ditimbang sebanyak 15 g yang selanjutnya di larutkan menggunakan  $H_2SO_4$  yang memiliki 4 konsentrasi yang berbeda, yaitu 7N, 8N, 8N, dan 10N kemudian dilakukan proses ekstraksi selama 6 jam. Sampel residu hasil ekstraksi diambil dan di uji menggunakan pengujian XRF untuk mengetahui hasil ekstraksi nikel yang didapatkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada semakin kecil dan semakin halus ukuran partikel bijih nikel maka akan meningkatkan hasil ekstraksi bijih nikel, dan untuk pengaruh konsentrasi  $H_2SO_4$  diketahui bahwa kenaikan konsentrasi akan meningkatkan hasil ekstraksi bijih nikel. Hasil ekstraksi bijih nikel terbaik yang didapatkan pada ukuran partikel mesh 200 dengan konsentrasi  $H_2SO_4$  10N sebesar 96,66%.

### Abstract

*Nickel is one of the mining products whose use has been recognized in the industrial world. This metal is widely used because it has good resistance to corrosion, is easy to shape but remains strong, and is a good catalyst and conductor. To utilize the nickel found in Indonesia so that it has high economic value, the mineral is processed using an extraction*

**Kata Kunci:** Bijih Nikel, Leaching, Proses Ekstraksi

**Key Words :** Nickel Ore, Leaching, Extraction Process

**Published by**  
Department of Chemical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

**Address**  
Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)  
Makassar- Sulawesi Selatan

**Email :**  
jmpe@umi.ac.id

**\*Corresponding Author**  
dzulfilhamhamsar@gmail.com



**Journal History**  
Paper received : 06 Juli 2024  
Received in revised : 08 Agustus 2024  
Accepted : 19 Agustus 2024

---

*process. The aim of this research is to determine the effect of nickel ore particle size on nickel sulfate yield using the extraction process and to determine the best H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentration on nickel sulfate yield using the extraction process. This research was carried out by dividing the size of nickel ore particles into 4 different sizes, namely mesh 80, mesh 100, mesh 150, and mesh 200. Each was weighed at 15 g which was then dissolved using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> which had 4 different concentrations, namely 7N, 8N, 8N, and 10N then the extraction process was carried out for 6 hours. Residue samples from the extraction results were taken and tested using XRF testing to determine the nickel extraction results obtained. The results of this research show that the smaller and finer the nickel ore particle size will increase the nickel ore extraction yield, and for the effect of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentration it is known that increasing the concentration will increase the nickel ore extraction yield. The best nickel ore extraction results were obtained at a mesh particle size of 200 with a 10N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentration of 96.66%.*

---

## PENDAHULUAN

Logam memiliki peran penting dalam dalam kehidupan manusia, berbagai jenis logam memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing sebagai elemen utama ataupun elemen penyusun dalam pengaplikasiannya. Logam ditemukan di alam bukan dalam bentuk logam murni melainkan dalam bentuk mineral yang terbentuk akibat peristiwa alami. Salah satu logam yang tersedia dalam jumlah sangat banyak adalah Nikel. Nikel merupakan salah satu dari lima unsur logam yang paling umum dijumpai di bumi dan ditemui secara luas terutama di kerak bumi [1]. Nikel dapat ditemukan di alam dalam bentuk bijih nikel sulfida dan bijih nikel oksida atau yang sering dikenal sebagai nikel laterit. Masing-masing jenis bijih nikel memiliki komposisinya masing-masing tergantung pada proses pembentukan yang terjadi. Bijih nikel dunia yang ditambang mencapai volume sekitar 1.000.000 mt di tiap tahunnya dengan pengaplikasian nikel sejauh ini sudah mencapai 25.000.000 mt. Cadangan nikel dunia yang sudah terdata mencapai 100.000.000 mt dengan potensi sumber daya nikel sebesar 199.000.000 mt. Kelebihan dari logam nikel adalah ketangguhan, maleabilitas, dan sifat tahan korosinya yang sangat baik memungkinkan nikel untuk diaplikasikan pada lingkungan dengan temperatur yang sangat tinggi dan aplikasi sehari-hari lainnya [2].

Sumber logam nikel di alam terdapat dalam bentuk endapan bijih sulfida dan endapan bijih laterit. Endapan bijih sulfida biasanya terdapat di belahan bumi bagian utara, sementara endapan bijih laterit biasanya terdapat di belahan bumi beriklim tropis [3]. Indonesia sebagai salah satu negara beriklim tropis memiliki Cadangan bijih nikel laterit yang sangat besar. Sekitar 12% cadangan nikel di dunia terdapat di Indonesia dalam bentuk bijih nikel laterit. Endapan bijih nikel banyak terdapat di Indonesia bagian timur seperti pulau Sulawesi, pulau Maluku, dan pulau Papua [4]. Proses hidrometalurgi merupakan proses pengolahan mineral yang dilakukan pada suhu yang relatif rendah dengan cara pelindian menggunakan larutan kimia, sedangkan proses pirometalurgi merupakan proses pengolahan mineral yang dilakukan pada suhu tinggi. Meskipun proses tersebut masih dilakukan oleh seluruh industri pengolahan nikel sampai saat ini, kedua proses tersebut masih memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, seperti residu larutan kimia pada proses hidrometalurgi yang mencemari lingkungan dan polusi udara yang ditimbulkan pada proses pengolahan mineral secara modern [5].

Pelindian nikel menggunakan asam sulfat dan asam fosfat telah berhasil dilakukan. Perolehan persen ekstraksi tertinggi pada konsentrasi larutan yang rendah yaitu asam sulfat 10N sebesar 2,60% dan asam fosfat 10N sebesar 2,59%. Asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) memiliki kemampuan yang lebih baik dari pada asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dalam peningkatan persentase recovery nikel. Sedangkan, Waktu operasi pelindian nikel laterit yang paling berpengaruh pada kedua asam yang digunakan adalah 4 jam Dimana persentase recovery nikel yang diperoleh sebesar 2,60% [6]. Menurut [7], semakin halus ukuran biji nikel maka semakin besar luas permukaan sehingga laju reaksi Ekstraksi akan semakin cepat untuk berat total yang sama. Semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan partikel yang dapat melakukan kontak dengan pelarut semakin besar sehingga proses difusi dapat berjalan lebih cepat dan nikel yang ter-ekstraksi juga semakin banyak. Hal tersebut sudah menunjukkan bahwa penelitian ini sudah sesuai teori Dimana semakin kecil ukuran partikel yang digunakan dalam proses Ekstraksi maka semakin banyak kandungan mineral Ni yang ter ekstrak dan semakin tinggi nilai %Recovery yang dihasilkan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh [8] yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel terhadap %recovery nikel pada proses Ekstraksi menggunakan larutan  $H_2SO_4$  6N dengan suhu  $90^\circ C$  selama 4 jam dengan membagi ukuran patikel Bijih Nikel menjadi 4 ukuran yaitu 40 mesh, 70 mesh, 80 mesh, dan 100 mesh. Dimana hasil yang didapatkan semakin halus atau semakin kecil ukuran partikel maka semakin tinggi %recovery yang di hasilkan dan semakin banyak mineral nikel yang terekstrak dan terlepas dari pengotornya. %recovery yang diperoleh dengan menggunakan ukuran mesh 30, 70, 80, dan 100 secara berturut-turut yaitu 23,53% ; 26,47% ; 29,41% ; dan 35,29%

Penelitian tentang pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat pada proses *Ekstraksi* juga dilakukan oleh [9], dia mem-variasikan konsentrasi larutan asam sulfat sebesar 1N, 2N, 3N dan 4N, menggunakan sampel nikel laterit dengan temperature proses  $90^\circ C$  dan kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm. Untuk mengetahui *yield* nikel yang di hasilkan dalam larutan *leaching* dilakukan pengujian ICP-OES. Pada penelitian ini proses Ekstraksi yang dilakukan selama 6 jam didapatkan hasil *yield* unsur Ni, pada konsentrasi 1N didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 53%, pada konsentrasi 2N didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 77% dan pada konsentrasi 3N dan 4N didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 82% dan 93%. Penelitian [10] 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 2N, 5N, dan 7N. untuk mendukung proses *Ekstraksi* digunakan temperatur proses  $90^\circ C$ , kecepatan pengadukan 300 rpm dan solid/liquid 0.1 g/cm<sup>3</sup>. Untuk mengetahui *yield* unsur Ni yang dihasilkan di lakukan pengujian ICP-OES untuk mengetahui persentase nikel dalam larutan.

Didapatkan hasil pada penitian yang dilakukan selama 2 jam ialah *yield* unsur Ni pada konsentrasi 2N sebesar 29.3%, sedangkan pada konsentrasi asam sulfat 5N didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 48% dan pada konsentrasi asam sulfat 7N diapatkan *yield* unsur Ni sebesar 71.4% [11]. Dapat dilihat dari hasil penelitian yang telah di lakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya belum di dapatkan hasil yang optimal mengenai ukuran partikel dan konsentrasi asam sulfat yang terbaik terhadap proses ekstraksi [12].

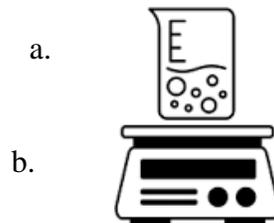
## METODE PENELITIAN

### Bahan

Bijih nikel sebagai bahan baku utama,  $H_2SO_4$  sebagai pelarut dan kertas saring.

### Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu seperangkat alat ekstraksi :



Gambar 1. Seperangkat alat ekstraksi

Keterangan:

- a. *Beaker Glass*
- b. *Hotplate & Magnetic Stirrer Scientific*

### Ekstraksi

Sampel Bijih Nikel di oven selama 3 jam. Setelah itu, sampel ditimbang sebanyak 15 gram ke dalam *beaker glass*, kemudian ditambahkan 75 mL  $H_2SO_4$  (7N, 8N, 9N, 10N) dan dipanaskan selama 6 jam diatas *hotplate* suhu  $75^\circ C$  sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan ditutup. Setelah itu, sampel disaring dan dibilas menggunakan *aquadest*. Hasil residu di oven dan di analisa XRF.

### Pembuatan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Dipipet sejumlah (sesuai perhitungan pengenceran) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat ke dalam labu ukur 500 mL kemudian tambahkan aquadest secara perlahan hingga garis batas. Dinginkan labu ukur, setelah labu ukur dingin homogenkan larutan asam sulfat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil analisa sebelum ekstraksi

Pada penelitian yang kami lakukan sampel yang berupa Bijih Nikel berkadar rendah di uji menggunakan pengujian ED-XRF dengan tipe alat EPSILON 4 yang dimiliki oleh Malvern Panalytical ALMELO, NETHERLANDS, untuk mengetahui komposisi sampel Bijih Nikel sebelum proses Ekstraksi, dan di dapatkan komposisi sampel sebagai berikut :

**Table 1.** Komposisi unsur pada sampel Bijih Nikel sebelum ekstraksi

Sample ID	Measurement	PARAMETERS(%)						
		Ni	Fe	Co	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Mesh 200	05/06/2024 10:04	1,69	12,03	0,04	24,03	41,44	1,49	0,58
Mesh 150	05/06/2024 10:07	1,69	11,98	0,04	24,23	41,45	1,48	0,57
Mesh 100	05/06/2024 10:10	1,70	11,93	0,04	24,40	41,46	1,45	0,55
Mesh 80	05/06/2024 11:39	1,70	11,90	0,04	24,56	41,43	1,43	0,54

Pada hasil pengujian ED-XRF menunjukkan bahwa sampel Bijih Nikel yang digunakan dalam penelitian ini didominasi oleh unsur SiO<sub>2</sub> dan MgO. Sedangkan untuk unsur Nikel yang terkandung dalam sampel sebesar 1,69%-1,70%.

### 2. Hasil analisa setelah ekstraksi

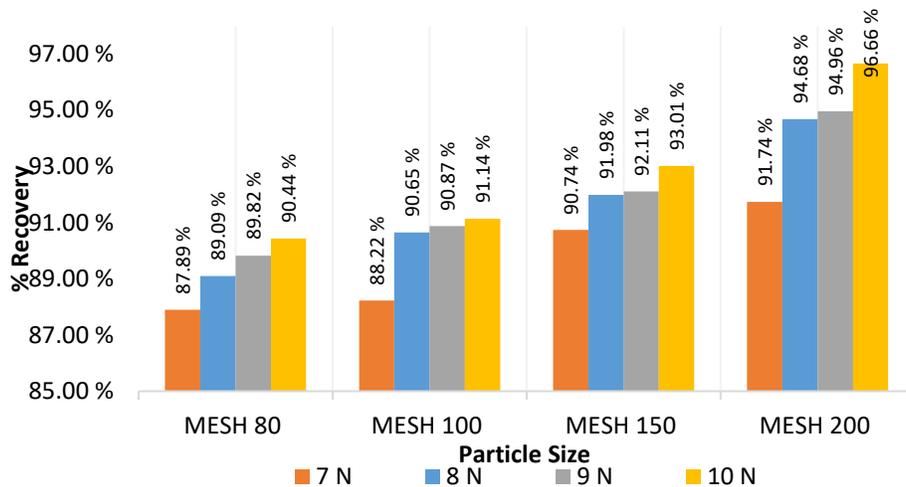
Pada penelitian ini selanjutnya kami lakukan analisis terhadap hasil residu yang terbentuk akibat proses Ekstraksi Bijih Nikel menggunakan asam sulfat. Hasil residu tersebut di karakterisasi menggunakan pengujian ED-XRF dan di dapatkan hasil sebagai berikut :

**Table 2.** Komposisi unsur pada sampel Bijih Nikel setelah ekstraksi

ID Sample	Particle Size	Concentration	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	%Nikel 1	%Nikel 2	%Recovery
80 X 7	MESH 80	7 N	15,00	12,28	1,7	0,25	87,89 %
100 X 7	MESH 100	7 N	15,00	13,00	1,7	0,23	88,22 %
150 X 7	MESH 150	7 N	15,00	10,70	1,7	0,22	90,74 %
200 X 7	MESH 200	7 N	15,00	10,53	1,7	0,20	91,74 %
80 X 8	MESH 80	8 N	15,00	12,02	1,7	0,23	89,09 %
100 X 8	MESH 100	8 N	15,00	12,49	1,7	0,19	90,65 %
150 X 8	MESH 150	8 N	15,00	10,19	1,7	0,20	91,98 %
200 X 8	MESH 200	8 N	15,00	10,43	1,7	0,13	94,68 %
80 X 9	MESH 80	9 N	15,00	13,80	1,7	0,19	89,82 %
100 X 9	MESH 100	9 N	15,00	12,20	1,7	0,19	90,87 %

150 X 9	MESH 150	9 N	15,00	11,80	1,7	0,17	92,11 %
200 X 9	MESH 200	9 N	15,00	10,70	1,7	0,12	94,96 %
80 X 10	MESH 80	10 N	15,00	13,10	1,7	0,19	90,44 %
100 X 10	MESH 100	10 N	15,00	12,50	1,7	0,18	91,14 %
150 X 10	MESH 150	10 N	15,00	11,10	1,7	0,16	93,01 %
200 X 10	MESH 200	10 N	15,00	7,10	1,7	0,12	96,66 %

### 3. Pengaruh variasi ukuran partikel terhadap ekstraksi Nikel



**Gambar 2.** Grafik hasil ekstraksi Bijih Nikel berdasarkan variasi ukuran partikel Bijih Nikel

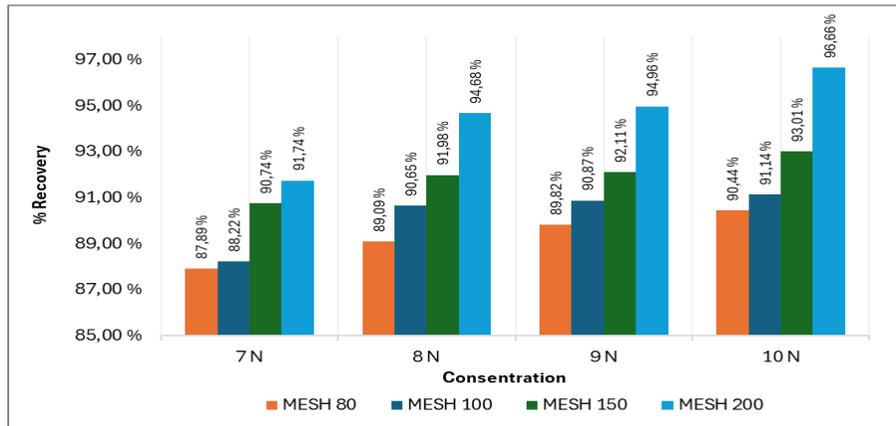
Adapun pemilihan ukuran partikel terkecil pada penelitian ini menggunakan 200 mesh, dikarenakan untuk saat ini dan pada penelitian sebelumnya belum ada alat screening yang lebih kecil dari 200 mesh.

Dalam penelitian ini, parameter ukuran partikel Bijih Nikel menggunakan pelarut  $H_2SO_4$  dengan variabel ukuran partikel Bijih Nikel yang divariasikan pada 80 mesh, 100 mesh, 150 mesh dan 200 mesh, bisa dilihat perbedaan hasil ekstraksi nikel di masing-masing variasi ukuran partikel. Pada kondisi ukuran partikel 80 mesh didapatkan ekstraksi nikel sebesar 90,44%, pada kondisi ukuran partikel 100 mesh didapatkan ekstraksi nikel sebesar 91,14%, pada kondisi ukuran partikel 150 mesh didapatkan ekstraksi nikel sebesar 93,01%, dan pada kondisi ukuran partikel 200 mesh didapatkan hasil ekstraksi nikel paling optimum sebesar 96,66%.

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 Ekstraksi secara keseluruhan karena tingkat laju reaksinya yang tinggi dan meningkatkan kemungkinan luas permukaan logam yang akan direduksi oleh asam [13]

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Tyassena yaitu proses Ekstraksi menggunakan larutan  $H_2SO_4$  6N dengan suhu  $900^\circ C$  selama 4 jam dengan membagi ukuran partikel menjadi mesh 40, 70, 80, dan 100 mendapatkan %recovery tertinggi sebesar 35,29% sedangkan pada hasil penelitian yang kita lakukan dengan ukuran partikel mesh 80, 100, 150 dan 200 mendapatkan %recovery paling optimal sebesar 96,66%.

#### 4. Pengaruh variasi Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terhadap ekstraksi Bijih Nikel



**Gambar 3.** Grafik hasil ekstraksi Bijih Nikel berdasarkan variasi Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Kemudian untuk parameter konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan ukuran partikel 200 mesh, variabel konsentrasi yang divariasikan yaitu 7N, 8N, 9N dan 10N. Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa persentase perolehan nikel yang terekstrak semakin meningkat seiring meningkatnya konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pada konsentrasi 7N didapatkan ekstraksi nikel sebesar 91,74%, pada konsentrasi 8N didapatkan ekstraksi nikel sebesar 94,68%, pada konsentrasi 9N didapatkan ekstraksi nikel sebesar 94,96%, dan pada konsentrasi 10N didapatkan hasil ekstraksi nikel paling optimum sebesar 96,66%.

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 [14]. Menurut prinsip Le Chatelier dengan meningkatnya konsentrasi asam, reaksi logam Ni dengan asam sulfat akan meningkatkan hasil nikel yang terlarut pada prose ekstraksi, karena itu konsentrasi asam yang tinggi dipilih untuk menjadi acuan pada proses ekstraksi nikel [15].

Seperti yang disebutkan diatas bahwa konsentrasi larutan asam akan mempengaruhi aktivitas ion H<sup>+</sup> pada proses ekstraksi, aktivisasi ion H<sup>+</sup> yang tinggi dalam proses ekstraksi ini akan memberikan efek logam nikel akan terlarut maksimal dalam larutan ekstraksi, reaksi tersebut terjadi karena ion H<sup>+</sup> dari asam sulfat akan lebih aktif dalam menyerap elektron dari logam nikel.

Pada penelitian yang dilakukan oleh [16] menggunakan sampel nikel laterit dengan temperature proses 90°C selama 6 jam dengan kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm, didapatkan hasil yield unsur Ni, pada konsentrasi 1N didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 53%, pada konsentrasi 2N didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 77%, pada konsentrasi 3N didapatkan *yield* unsur Ni sebesar 82% dan pada konsentrasi 4N didapatkan *yield* unsur Ni paling optimal sebesar 93%.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, ukuran partikel terbaik terhadap *yield* nikel sulfat yang dihasilkan adalah ukuran partikel Mesh 200 dengan recovery yang di dapatkan 96,66%. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terbaik terhadap *yield* nikel sulfat yang dihasilkan adalah 10N dengan recovery yang di dapatkan 96,66%. Pada hasil penelitian ini, diketahui bahwa ukuran partikel Bijih Nikel dan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> berpengaruh terhadap hasil nikel yang terekstrak. Peningkatan persentase perolehan nikel yang terekstrak akan terus naik mengikuti dengan peningkatan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan mengecilnya ukuran partikel Bijih Nikel yang digunakan. Pada kondisi ukuran partikel 80 mesh dengan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 7N, Nikel terekstrak sebesar 87,89% dan merupakan hasil ekstraksi terendah pada penelitian ini, dan hasil optimum yang diperoleh dari penelitian ini sebesar 96,66% Nikel yang terekstrak dengan kondisi ukuran partikel 200 mesh dan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada pemberi dana penelitian atau donatur. Ucapan terima kasih dapat juga disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] August, 2009. Nickel sulfide versus laterite: the hard sustainability challenge remains. Dalam: Proceedings of the 48th Conference. s.l.:Mudd, G. M., pp. 1-10.
- [2] Bergman, R. A., 2008. Nickel production from low-iron laterite ores: Process descriptions. Dalam: Materials Science, Engineering. Vol.12 :CIM Bulletin, pp. 127-138.
- [3] Dapo, Y., 2020. Studi Ekstraksi Nikel Dari Bijih Limonit Menggunakan Asam Oksalat. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- [4] Crundwell, F. K., Moats, M. S., Ramachandran, V., Robinson, T. G., and Davenport, W. G. 2011. Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum - Group Metals. Oxford: Elsevier.
- [5] Duke, J.M. 1990. Mineral Deposit Models: Nickel Sulfide Deposits Of The Kambalda Type. Canadian Mineralogist. Vol. 28. Pp. 379-388.
- [6] Elliot, R., Pickles, C. A., and Forster, J. 2016. Thermodynamics of the Reduction Roasting of Nickeliferous Laterite Ores. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. Vol. 4. Pp. 320-346.
- [7] Elliot, R., Pickles, C., and Peacey, J. 2017. Ferronickel Particle Formation During the Carbothermic Reduction of a Limonitic Laterite ore. Minerals Engineering. Vol. 100. Pp. 166-176.
- [8] Fan, X. Xing, W. Dong, H. Zhao, J. Wu, Yuedong. Tong, W., 2013. Factors Research on the Influence of Leaching Rate of Nickel and Cobalt from Waste Superalloys with sulfuric acid. International Journal of Nonferrous, pp. 63-67.
- [9] Fathoni, M. W. & Mubarak, M. Z., 2016. Studi Perilaku Pelindian Bijih Nikel Limonit dari Pulau Halmahera dalam Larutan Asam Nitrat. Metalurgi, Volume 30(3), pp. 115-124.
- [10] Habashi, F., 2008. A Short History of Hydrometallurgy. Hydrometallurgy, pp. 15-22.
- [11] Harris, C., Peacey, J., and Pickles, C. 2011. Selective Sulphidation Of a Nickeliferous Lateritic Ore. Minerals Engineering. Vol. 24. Pp. 651-660.
- [12] Henpristian, Y., Antoro, I.D., dan Oediyani, S. 2014. Pengaruh Waktu Reduksi dan Komposisi Pelet terhadap Persen Fe Metal dan Persen Fe Ni Spons dari Bijih Nikel. Vol. 29. ISSN. 126-3188-1205-214.
- [13] Hidayat, S., Yulianti, S., Anggreini, D. & Bahctiar, S., 2021. Analisis Selektivitas Pelindian Nikel Berbasis Bijih Nikel Laterit Menggunakan Asam Sulfat Dan Asam Posfat. Sumbawa: Universitas Teknologi Sumbawa.
- [14] Institue, N., 2017. Nickel : An Abundant Resource For The Future. Canada, NiPERA Inc..
- [15] Javansir, S., 2016. Atmospheric pressure leaching of nickel from a low-grade nickel-bearing ore. Dalam: Physicochemical Problems of Mineral Processing., pp. 890-900.
- [16] Keong, T. W., 2003. Bioleaching of Heavy Metals from Electronic Scrap Materials (ESM) by *Aspergillus niger* and *Penicillium Simplicissimum*. s.l.:Thesis of National University Singapore.