

KAJIAN EKSTRAKSI BIJIH NIKEL LIMONIT BULI DENGAN ASAM SULFAT DAN KARAKTERISASI RESIDU HASIL EKSTRAKSI

Tri Partuti¹

Johny Wahyuadi Soedarsono²

¹ Staf Dosen Jurusan Teknik Metalurgi FT. Untirta

² Staf Dosen Jurusan Teknik Metalurgi FT. UI

e-mail : partuti33@gmail.com

ABSTRAK

Ekstraksi bijih nikel limonit untuk mendapatkan kondisi optimum ekstraksi telah dilakukan. Karakterisasi bijih nikel limonit dari daerah Buli, Halmahera menunjukkan deposit termasuk jenis oksida. Unsur nikel ditemukan bergabung dengan magnesium silikat dalam fasa liebenbergite (7,67 wt%). Ekstraksi dengan asam sulfat dilakukan pada temperature 60 °C selama 4 jam. Kondisi optimum untuk ekstraksi bijih nikel limonit Buli adalah dengan ukuran partikel -100#, konsentrasi asam sulfat 30 vol%, volume asam sulfat sebanyak 200 ml dan pH filtrat pada kondisi asam (pH=2). Dengan volume asam sulfat sebanyak 200 ml, dapat mengekstraksi nikel sebesar 18,64% untuk 100 gram bijih limonit. Unsur nikel tidak ditemukan dalam residu hasil ekstraksi. Residu hasil ekstraksi mengandung fasa goethite (59,84 wt%), melanterite (22,99 wt%) dan kuarsa (17,17 wt%).

Kata kunci : Ekstraksi, Bijih Nikel Limonit, Karakterisasi Residu Hasil Ekstraksi

ABSTRACT

Limonite ore extraction to obtain the optimum extraction conditions have been conducted. Characterization of limonite ore from Buli, Halmahera shows that the deposit is oxide type. The element nickel magnesium silicate found associated with the phase liebenbergite (7.67 wt%). Extraction with sulfuric acid conducted at temperature of 60 °C for 4 hours. The optimum conditions for extraction of limonite Buli was with particle size -100 #, 30 vol% concentration of sulfuric acid, 200 ml of volume sulfuric acid and filtrate in acidic condition (pH = 2). 200 ml of sulfuric acid can extract nickel as much as 18.64% for 100 grams limonite ore. The element nickel is not found in the extracted residue. Phase extraction residue containing goethite (59.84 wt%), melanterite (22.99 wt%) and quartz (17.17 wt%).

Keywords : extraction, nikel limonite ore, characterization of residue from extraction

1. PENDAHULUAN

Indonesia kaya akan sumber daya nikel yang bertumpu pada deposit laterit. Penyebaran deposit laterit ada di beberapa lokasi seperti Kalimantan, Sulawesi, Kepulauan Maluku dan Papua [1]. Berdasarkan mineralogi fasa pembentukan bijih nikel, maka deposit nikel laterit dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu oksida, silikat dan clay. Perbedaan ini terjadi dikarenakan topografi setiap daerah di Indonesia tidak sama, misalnya di daerah Sampala, bijih nikel merupakan deposit jenis oksida atau disebut juga deposit limonit, dimana nikel umumnya bergabung dalam fasa goethite dengan kandungan logam nikel yang rendah (*low grade*), yaitu 0,8-1,5 %. Deposit jenis silikat dapat ditemukan di daerah Sorowako, Bahodopi dan Pomalaa Timur. Sedangkan deposit kombinasi antara oksida-silikat tersebar di daerah Gag Island dan Weda bay [2]. Berdasarkan banyaknya cadangan nikel yang berada dalam bijih laterit, yaitu sekitar 72% dari sumber daya nikel dunia setelah berkurangnya cadangan bijih nikel sulfida, maka bijih limonit dapat menjadi sumber bahan baku utama untuk memperoleh logam nikel di masa mendatang.

Proses pengolahan nikel laterit umumnya dilakukan dengan cara pirometalurgi, pirohidrometalurgi atau hidrometalurgi. Proses pirometalurgi dilakukan dengan menggunakan temperatur tinggi untuk mengubah atau mereduksi mineral yang ada dalam bijih menjadi logamnya atau mineral intermediate yang sesuai untuk proses pemurnian selanjutnya. Namun proses pirometalurgi mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya prosesnya menimbulkan pencemaran, biaya operasional yang tinggi serta tahapan proses yang banyak menyebabkan proses berjalan lebih lama. Kelemahan ini menyebabkan industri beralih dengan menggunakan proses hidrometalurgi yang lebih ekonomis [3]. Proses hidrometalurgi adalah suatu proses kimia basah untuk memisahkan atau mengekstraksi logam yang diinginkan dari bijih secara selektif ke dalam fasa cair atau pelarutnya. Proses ekstraksi nikel dari bijih limonit melalui jalur hidrometalurgi yang sudah diterapkan secara komersil adalah proses Caron. Pada proses ini, bijih direduksi terlebih dahulu sebelum di *leaching* dengan ammonium karbonat pada tekanan atmosfer, kemudian *recovery* nikel dari larutan *leaching* diperoleh dengan menguapkan larutan tersebut sehingga terbentuk endapan nikel karbonat, dan setelah melalui beberapa proses tambahan maka kadar nikel yang diperoleh sekitar 77-90% Ni. Beberapa reagen yang pernah diteliti untuk mengekstraksi nikel dari bijih limonit adalah asam sulfat, *ferric chloride*, larutan *chlorination* dari air laut [4].

Beberapa penelitian mengenai proses hidrometalurgi menunjukkan bahwa konsentrasi asam sulfat dan ukuran partikel [5], kandungan magnesium dalam bijih [6] serta pelarut air [7] dapat mempengaruhi proses ekstraksi nikel dari bijih laterit, sedangkan pengaruh pH terhadap filtrat hasil ekstraksi dapat mempengaruhi proses purifikasi nikel [8].

Tujuan utama pengolahan bijih nikel laterit adalah mengekstraksi nikel dari bijihnya, maka hanya sedikit sekali perhatian terhadap residu hasil ekstraksi yang kemungkinan masih mengandung senyawa besi untuk dapat diproses kembali untuk mendapatkan logam besi. Pada penelitian ini, selain ekstraksi menggunakan asam sulfat dengan parameter ukuran partikel, konsentrasi dan volume asam sulfat yang dibutuhkan serta kondisi pH filtrat, juga akan dilakukan karakterisasi residu hasil ekstraksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bijih Nikel Limonit Buli

Kadar nikel yang ada dalam bijih nikel limonit Buli sebesar 0,59 %, besi 40,23 %, kobalt 0,08 %, kalsium 0,05 %, magnesium 1,42 % dan unsur Si 3,61%. Fasa yang ada dalam bijih nikel limonit Buli adalah fasa goethite $[\text{FeO}(\text{OH})]$ dan liebenbergite $[\text{Ni}_{1,16}\text{Mg}_{0,84}\text{SiO}_4]$ dengan struktur tipe olivine. Nikel di dalam bijih tersebut berikatan dengan magnesium silikat (Gambar 1). Fasa goethite dan liebenbergite memiliki sistem kristal dan space group yang sama yaitu orthorombik dan Pbnm. Parameter kisi untuk goethite adalah $a = 4,6188 \text{ \AA}$, $b = 9,9528 \text{ \AA}$ dan $c = 3,0236 \text{ \AA}$. Sedangkan untuk liebenbergite parameter kisinya adalah $a = 4,7366 \text{ \AA}$, $b = 10,114$ dan $c = 5,9322 \text{ \AA}$. Fraksi berat goethite adalah 92,33 % dan liebenbergite adalah 7,67 % [9].

2.2. Proses Ekstraksi Padat-Cair

Proses hidrometalurgi dapat dilakukan dengan cara ekstraksi padat-cair atau *leaching*. Pelindian merupakan proses difusi yang berhubungan dengan transfer massa dari satu fasa ke fasa lain dan sebagai gaya pendorong dari proses difusi ini adalah perbedaan konsentrasi antara zat bagian permukaan padatan yang berbatasan dengan cairan [10]. Kecepatan difusi dapat digunakan untuk menentukan kecepatan pelindian, sesuai dengan persamaan (1) berikut:

$$\frac{ds}{dt} = D.A. \frac{dc}{dx} \dots\dots\dots (1)$$

dimana ds/dt adalah jumlah pelarut yang mendifusi pada permukaan per satuan waktu, D adalah koefisien difusi, A adalah luas permukaan dan dc/dx adalah gradient konsentrasi. Persamaan (1) dapat menunjukkan bahwa kecepatan difusi pelindian dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu konsentrasi pelarut, ukuran partikel dan temperatur.

2.2.1. Pengaruh Ukuran Partikel

Luas permukaan padatan ditentukan oleh ukuran partikel, dimana semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan kontak padatan semakin besar dan kecepatan pelindian meningkat. Tetapi, jika ukuran partikel terlalu kecil akan menyebabkan viskositas larutan meningkat dan kecepatan pelindian menurun, seperti yang dijelaskan dalam persamaan (2) Hukum Stokes berikut ini :

$$U_t = \frac{g D_p^2 (\rho_p - \rho_l)}{18 \mu} \dots\dots\dots (2)$$

dimana D_p adalah diameter partikel, U_t adalah terminal velocity, ρ_p adalah densitas partikel, ρ_l adalah densitas larutan, μ adalah viskositas larutan dan g adalah gravitasi.

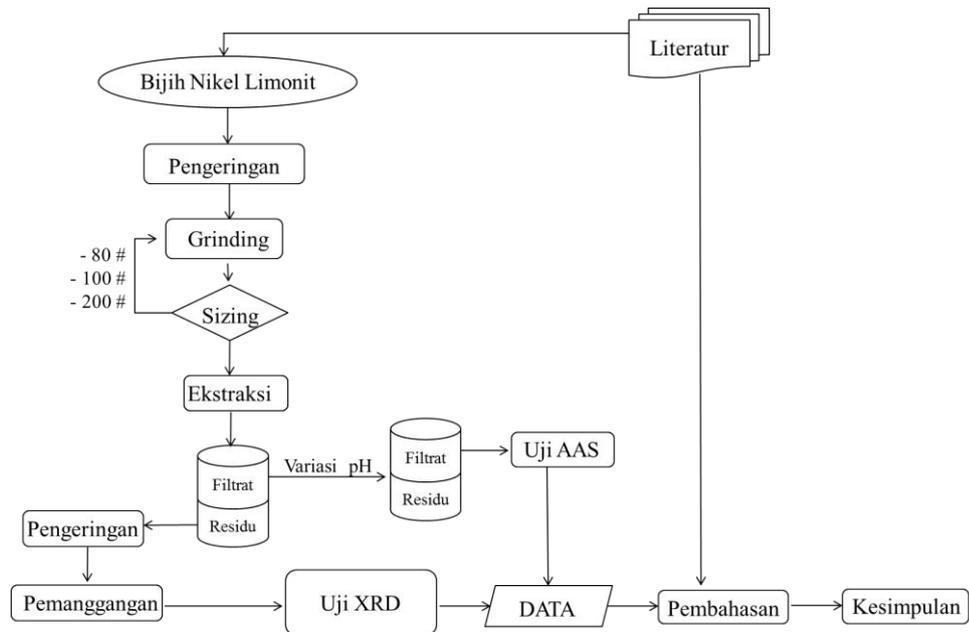
2.2.2. Pengaruh Unsur Magnesium

Kandungan magnesium yang terdapat dalam bijih limonit dapat mempengaruhi kebutuhan asam sulfat saat pelindian. Semakin tinggi kadar magnesium dalam bijih limonit, maka asam sulfat yang dibutuhkan lebih banyak. Hal ini karena magnesium tidak terhidrolisis saat pelindian berlangsung. Keefektifan asam sulfat terhadap logam nikel, besi dan magnesium dapat dilihat dari nilai entalpi pembentukan (ΔH_f°), dimana $\Delta H_f^\circ \text{NiSO}_4 (-2.682,8 \text{ kJ/mol}) < \Delta H_f^\circ \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 (-2.581,9 \text{ kJ/mol}) < \Delta H_f^\circ \text{MgSO}_4 (-1.278,2 \text{ kJ/mol})$. Semakin negative nilai ΔH_f° maka semakin mudah reaksi terjadi.

2.2.3. Pengaruh pH pelarut

Pelarut yang digunakan untuk proses pelindian harus memenuhi beberapa kriteria, seperti mampu mengekstraksi logam secara selektif, tidak menyebabkan korosi pada peralatan yang digunakan, pelarut mudah diperoleh kembali (di daur ulang) dan harganya ekonomis. Pemilihan asam sulfat sekiranya sudah memenuhi kriteria di atas untuk digunakan sebagai pelarut pada proses pelindian bijih nikel limonit.

Pada suasana asam, nikel dalam bentuk senyawa oksida cenderung berada sebagai ion Ni^{2+} dalam larutan, seperti yang terlihat pada diagram Pourbaix untuk nikel (Gambar 1).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

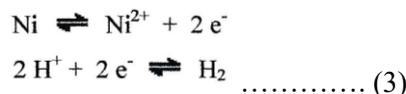
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh Ukuran Partikel

Ekstraksi nikel baik dilakukan untuk ukuran partikel -100 mesh. 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 terekstraksi juga semakin banyak. Untuk ukuran partikel yang selbih kecil (-200 #), tidak memberikan hasil yang lebih baik, karena viskositas larutan semakin meningkat dan mengakibatkan pergerakan partikel didalam larutan semakin berkurang (velocity rendah) dan kecepatan difusi juga semakin berkurang, serta kadar nikel yang terlarut juga semakin sedikit (Gambar 3).

4.2. Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat

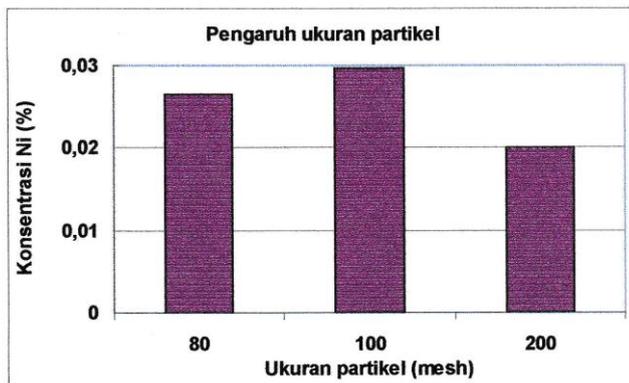
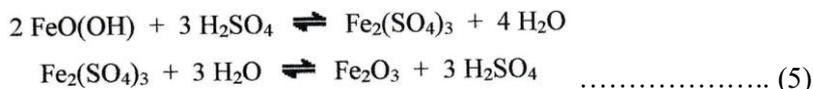
Kecepatan ekstraksi juga dipengaruhi oleh konsentrasi asam sulfat, dimana semakin tinggi konsentrasi pelarut maka kecepatan ekstraksi semakin meningkat (Gambar 4). Hal ini dapat dijelaskan dengan bantuan diagram Pourbaix, dimana untuk konsentrasi asam sulfat yang tinggi, ketersediaan ion H^+ di dalam larutan juga besar. Hal ini ditunjukkan oleh semakin tingginya nilai beda potensial di dalam larutan. Ion H^+ ini dapat menerima elektron yang dihasilkan oleh oksidasi Ni dengan persamaan reaksi (3). Jadi semakin banyak ion H^+ maka semakin banyak pula electron yang dapat diterima oleh ion H^+ , sehingga semakin tinggi konsentrasi asam sulfat semakin banyak nikel yang dapat terekstraksi.



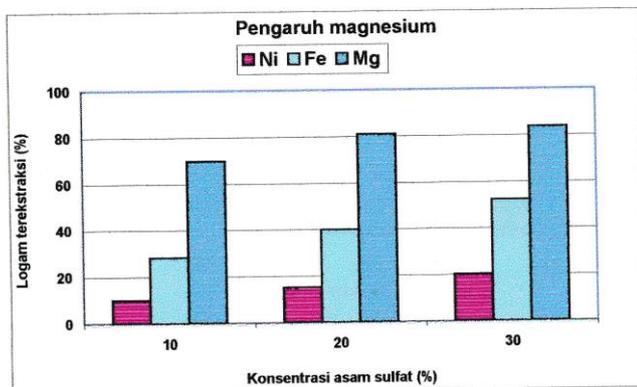
Pelarut asam sulfat ternyata tidak hanya mengekstraksi nikel saja, melainkan juga unsur-unsur lain yang ada dalam bijih limonit seperti besi dan magnesium. Magnesium tidak terhidrolisis saat proses pelindian sebagaimana persamaan reaksi (4), sehingga kehadiran magnesium tersebut mempengaruhi banyaknya volume asam sulfat yang dibutuhkan selama ekstraksi. Gambar 4 menunjukkan bahwa untuk semua variasi konsentrasi asam sulfat, magnesium yang lebih banyak terekstraksi dibandingkan nikel dan besi.



Jika dilihat dari entalpi pembentukan ΔH_f° NiSO_4 (-2.682,8 kJ/mol) < ΔH_f° $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (-2.581,9 kJ/mol) < ΔH_f° MgSO_4 (-1.278,2 kJ/mol), maka di dalam larutan mula-mula akan terbentuk akan terbentuk NiSO_4 , kemudian $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ dan diikuti oleh pembentukan MgSO_4 . Hidrolisis $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ dapat meregenerasi asam sulfat, sehingga asam sulfat hasil regenerasi inilah yang akhirnya digunakan oleh magnesium untuk membentuk endapan MgSO_4 dan mengakibatkan persentase ekstraksi magnesium (antara 70-80%) pada semua variasi konsentrasi asam sulfat selalu lebih besar daripada nikel dan besi. Hidrolisis $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ terlihat pada persamaan reaksi (5) berikut ini.



Gambar 3. Pengaruh ukuran partikel terhadap ekstraksi nikel



Gambar 4. Pengaruh magnesium terhadap kebutuhan asam sulfat

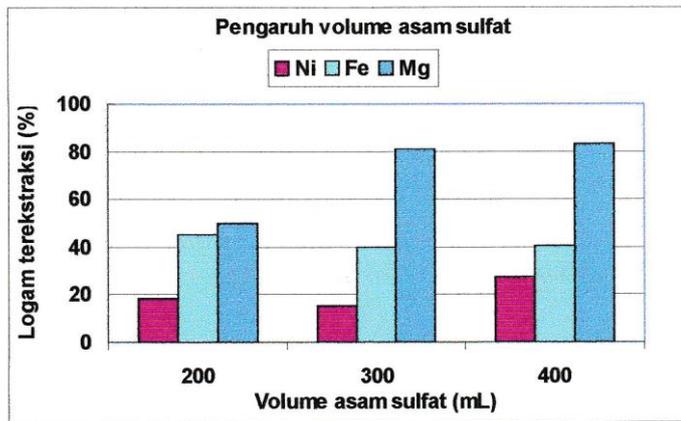
4.3. Pengaruh Volume Asam Sulfat

Penggunaan asam sulfat sebanyak 200 ml dapat mengekstraksi nikel sebanyak 18,64%, besi 45,0% dan magnesium 50% (Gambar 5). Semakin banyak asam sulfat yang digunakan mengakibatkan impuritas di dalam larutan semakin besar, karena yang terekstraksi tidak hanya nikel saja, melainkan unsur lain seperti besi dan magnesium pun ikut terlarut.

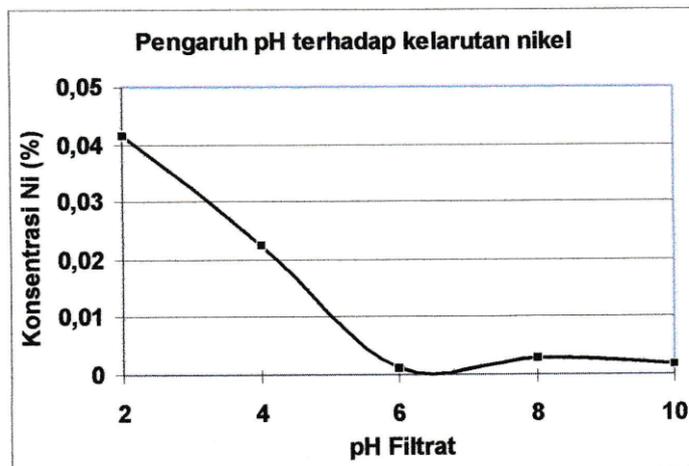
4.4. Pengaruh pH larutan filtrat

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui kondisi pH yang efektif untuk mendapatkan nikel dengan konsentrasi tinggi di dalam filtrat dengan cara mengendapkan ion logam lain seperti besi dan magnesium dengan menambahkan suatu basa ammonium hidroksida.

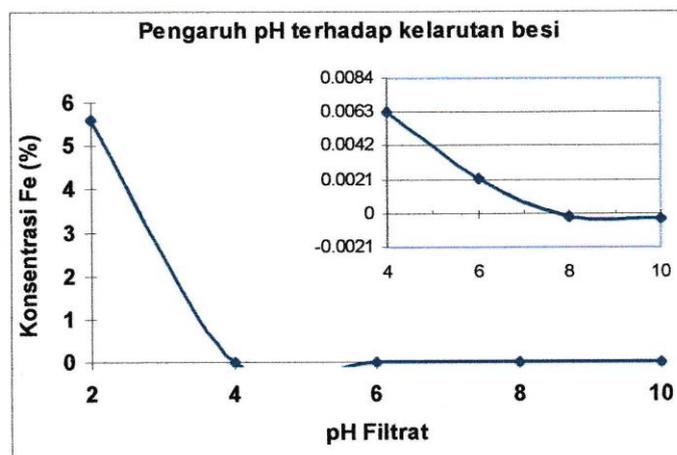
Konsentrasi nikel tertinggi (0,042 %) adalah pada pH 2, setelah filtrat ditambahkan ammonium hidroksida sehingga dapat mengendapkan besi (Gambar 6). Penambahan ammonium hidroksida hingga kondisi pH 10 dapat mengendapkan hampir sebagian besar besi yang ada. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 7, dimana dengan pengukuran AAS, konsentrasi besi yang terdeteksi sangat kecil.



Gambar 5. Pengaruh volume asam sulfat terhadap ekstraksi nikel

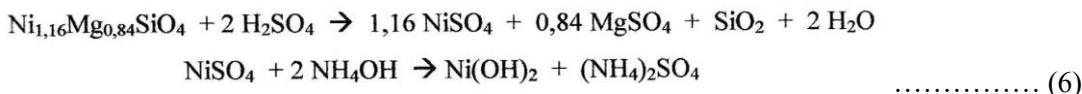
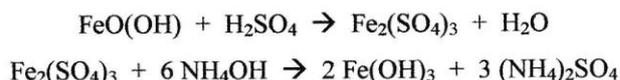


Gambar 6. Pengaruh pH terhadap kelarutan nikel dalam filtrat



Gambar 7. Pengaruh pH terhadap kelarutan besi dalam filtrat

Pada kondisi pH basa (mulai pH 6), banyak besi yang mengendap. Hal yang sama ternyata juga terjadi pada nikel, dimana konsentrasi nikel pada kondisi pH 10 semakin berkurang. Hal ini terjadi karena ion nikel dalam filtrat bereaksi dengan ion OH^- dari ammonium hidroksida membentuk endapan nikel hidroksida. Reaksi pembentukan endapan nikel dan besi terlihat pada persamaan reaksi (6). Terbentuknya endapan besi hidroksida dan nikel hidroksida tidak lepas dari pengaruh hasil kali kelarutan (K_{sp}) masing-masing senyawa tersebut, dimana hasil kali ion besi dengan hidroksida lebih besar dari nilai K_{sp} $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Hal yang sama juga terjadi untuk nikel hidroksida. (Tabel 1).



Tabel 1. Hasil Kali Kelarutan Ion Besi dan Nikel dengan Ion Hidroksida

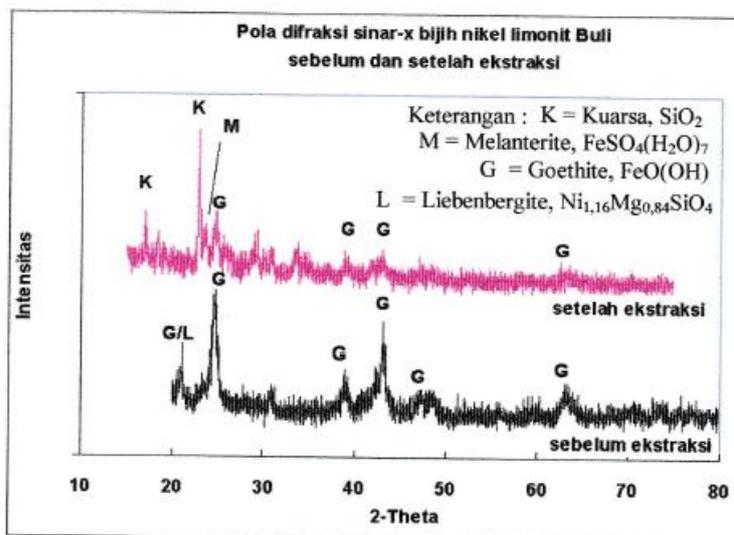
pH	pOH	$[\text{Ni}^{2+}][\text{OH}]^2$	$[\text{Fe}^{3+}][\text{OH}]^3$
2	12	5×10^{-37}	$3,32 \times 10^{-49}$
4	10	5×10^{-31}	$3,32 \times 10^{-41}$
6	8	5×10^{-25}	$3,32 \times 10^{-33}$
8	6	5×10^{-19}	$3,32 \times 10^{-25}$
10	4	5×10^{-13}	$3,32 \times 10^{-17}$

$$K_{sp} \text{Ni(OH)}_2 = 2,8 \times 10^{-16}$$

$$K_{sp} \text{Fe(OH)}_3 = 6,3 \times 10^{-38}$$

4.5. Karakterisasi Residu Hasil Ekstraksi

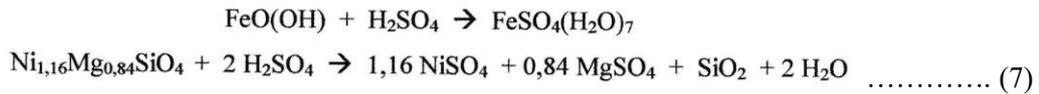
Karakterisasi residu bertujuan untuk mengetahui seberapa besar ekstraksi nikel dan besi terjadi. Hasil pengujian dengan XRD menunjukkan bahwa residu hasil ekstraksi terdapat fasa kuarsa [SiO₂], goethite [FeO(OH)] dan melanterite [FeSO₄(H₂O)₇]. Dengan demikian dapat diketahui bahwa tidak semua besi dalam fasa goethite teekstraksi oleh asam sulfat, seperti terlihat pada Gambar 8 yang menunjukkan puncak-puncak goethite dengan intensitas kecil. Unsur nikel juga tidak ditemukan dalam fasa-fasa yang ada dalam residu hasil ekstraksi. Hal ini menunjukkan bahwa nikel telah berhasil diekstraksi.



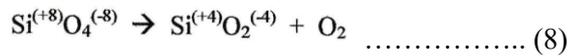
Gambar 8. Karakterisasi Residu Sebelum dan Setelah Ekstraksi

Fasa kuarsa mempunyai system tetragonal dengan space group I-4 dengan parameter kisi a=b=8,665 Å dan c = 4,770 Å. Fasa goethite mempunyai system Kristal orthorhombic, space group Pbnm dengan parameter kisi a = 4,6188 Å, b = 9,9528 Å dan c = 3,0236 Å. Fasa melanterite mempunyai sistem kristal monoklinik, space group P 2₁/c dengan parameter kisi a = 14,07 Å, b = 6,51 Å dan c = 11,04 Å.

Senyawa besi dalam residu terdapat dalam fasa goethite sebesar 59,84 wt%, melanterite sebesar 22,99 wt% dan kuarsa sebesar 17,17 wt%. Dengan kondisi percobaan ekstraksi yang dilakukan pada temperatur 60 °C dan tekanan atmosfer, maka dari hasil sebelum dan setelah ekstraksi akan diperoleh persamaan reaksi (7).



Dari persamaan reaksi (7) tersebut dapat diketahui bahwa silikat [SiO₄] yang berikatan dengan nikel dan magnesium mengalami reaksi reduksi menjadi kuarsa [SiO₂], dimana bilangan oksidasi Si berubah dari +8 menjadi +4 sesuai dengan persamaan reaksi (8).



5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ;

1. Parameter optimum untuk ekstraksi bijih nikel limonit Buli adalah dengan ukuran partikel - 100#, konsentrasi asam sulfat 30 vol%, volume asam sulfat sebanyak 200 ml dan pH filtrat pada kondisi asam (pH=2).
2. Ekstraksi nikel limonit Buli telah berhasil dilakukan dengan tidak ditemukannya unsur nikel dalam fasa residu hasil ekstraksi.
3. Residu hasil ekstraksi mengandung fasa goethite (59,84 wt%), melanterite (22,99 wt%) dan kuarsa (17,17 wt%).

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Arif, 2003, *Kebradaan Sumber Daya Nikel Indonesia dan Pengolahannya*, Metalurgi, 18 (1) pp. 3-12.
- Gleeson, S.A. et.al., 2003, *Nickel Laterite : A Review*, SEG Newsletter, (54) pp. 9-16.
- Ayata, S, et.al., 2005, *Optimization of Extraction of Silver Sphide Concentrates by Thiosulphate Leaching*. Minerals Engineering, 18 pp. 898-900.
- Suganta Handaru, 2008, *Recovery Nikel dari Bijih Limonite Tereuksi oleh Leaching Amonium Bikarbonat*. Universitas Indonesia.
- Purwanto Hadi, et.al.,2003, *Recovery of Nickel from Selectivity Reduced Laterite Ore by Sulphuric Acid Leaching*, ISIJ Internaional, 43 (2) pp. 181-186
- Marshall, D, et.al.,2004, *Effect of Magnesium Content on Sulfuric Acid Consumption During High Pressure Acid Leaching of Laterite Ores*, International Laterite Nickel Symposium, The Minerals, Metal & Material Society, Falconbridge, 307-315.
- Buarzaiga, M., et.al., 2004, *Effect of Process Water on High Pressurre Sulphuric Acid Leaching of Laterites Ore*, International Laterite Nickel Symposium, The Minerals, Metals & Materials Society, 263-271
- Jones, D., et.al., 2001, *The Application of the CESL Nickel Process to Laterites*, Presented at : ALTA 2001, Nickel/Cobalt-7, Australia, 1-10.
- Tri Partuti, 2013, *Karakterisasi Bijih Nikel Limonit Buli, Maluku Utara*, Seminar Material Metalurgi, pp 219.
- Indro Yuwono, 1982, *Ekstraksi dan Leaching, Kursus Operasi Teknik dan Proses Pengolahan Bahan Nuklir*, BATAN, Yogyakarta, pp. 6-8