

Pemanfaatan Karbon Biomassa sebagai Reduktor dalam Ekstraksi Fe-Ni dari Bijih Nikel Laterit

Faizinal Abidin^{1,2)}, Sri Harjanto¹⁾, Aji Kawigraha²⁾ & Nur Vita P

¹⁾Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok

²⁾Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Serpong
E-mail : faizinal.abidin@ui.ac.id*; faizmetalits03@gmail.com

Abstrak - Pada proses pengolahan bijih nikel laterit, kokas dan agen reduktor lain diperlukan sebagai bahan utama sumber karbon untuk mereduksi senyawa oksida dalam laterit. Salah satu alternatif untuk mengganti ketergantungan reduktor konvensional adalah karbon biomassa yang memiliki potensi untuk dijadikan sumber reduktor berkelanjutan. Dalam penelitian ini akan dilakukan proses reduksi langsung terhadap bijih nikel laterit untuk mendapatkan recovery besi dan nikel dengan menggunakan arang batok kelapa sebagai reduktor karbon biomassa. Reduksi dilakukan pada temperatur 1200°C ditahan 90 menit, pemanasan dilanjutkan sampai 1500°C dan ditahan 15 menit. Variasi penambahan arang batok kelapa yang digunakan adalah 25%, 37.5% dan 45% massa. Selain itu ditambahkan 10% CaCO₃ untuk menurunkan titik lebur dan menghasilkan recovery Fe-Ni yang lebih tinggi. Uji komposisi kimia dilakukan pada bijih nikel laterit dan hasil reduksi untuk mengetahui recovery besi dan nikel. Analisa mineralogi dan karakterisasi struktur mikro untuk menganalisis pemetaan morfologi permukaan nikel laterit setelah reduksi.

Kata kunci: laterit, karbon bomassa, recovery, mineralogi, struktur mikro

1 Pendahuluan

Logam nikel merupakan unsur penting dalam pembuatan baja tahan karat, dan baja tahan karat austenitik (nikel) telah menyumbang lebih dari 60% konsumsi nikel global sejak tahun 2009 [1]. Di alam bijih nikel terdiri dari 3 jenis deposit yaitu *sulphides ore*, *laterites ore* dan *deep-sea manganese nodules*. Meskipun *deep-sea manganese nodules* jumlahnya sangat besar, tetapi jenis deposit bijih nikel ini tidak ekonomis, karena letaknya yang jauh di dasar laut [2]. Maka hanya ada dua jenis bijih nikel yang secara ekonomis dapat diolah menjadi produk logam nikel, yaitu bijih nikel jenis *sulphides* dan jenis *laterites* dengan komposisi sumberdaya secara global 30% untuk jenis *sulphides* dan 70% jenis *laterites ore* [3]. Sehingga tantangan kedepan adalah mengolah bijih nikel jenis *laterites* yang memiliki tingkat kesulitan dalam proses pengolahannya karena kandungan nikelnya yang rendah.

Pada proses pengolahan bijih nikel laterit, kokas dan agen reduktor lain diperlukan sebagai bahan utama sumber karbon untuk mengurangi oksida pada besi dan nikel dalam laterit. Salah satu alternatif untuk mengganti ketergantungan reduktor konvensional yang banyak mengandung sulfur maka diperlukan jenis bahan lain yang rendah sulfur. Biomassa memiliki potensi untuk dijadikan sumber reduktor yang berkelanjutan dan rendah sulfur. Penggantian kokas dan bahan reduktor konvensional sedang dikembangkan oleh beberapa peneliti. Salah satunya pemanfaatan arang tempurung kelapa sawit untuk reduksi bijih nikel laterit [4]. Melalui penelitian ini, akan digunakan karbon biomassa

yang tersedia dan sangat melimpah untuk mensubstitusi kokas dan bahan reduktor alam (batu bara) sebagai bahan reduktor bijih nikel laterit. Karbon biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah arang batok kelapa.

2 Dasar Teori

Terdapat berbagai jenis klasifikasi bijih laterit, berdasarkan karakteristik khusus seperti perubahan batuan induk, iklim, drainase, sejarah geomorfologi, dan komposisi [5]. Klasifikasi secara komposisi kimia bijih nikel laterit terdiri dari dua jenis yaitu limonitic (Oxide/ Hydroxide) dan saprolitic (Silicate/ Hydrosilicate). Perbedaan menonjol dari dua jenis bijih ini adalah kandungan Fe (Besi) dan Mg (Magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit sebaliknya [6].

Industri metalurgi di dunia sangat bergantung kepada bahan reduktor. Reduktor yang biasa digunakan adalah kokas, batubara dan gas. Proses reduksi dengan menggunakan *blast furnace* (BF) merupakan teknologi yang dominan untuk memproduksi bahan baku untuk pembuatan logam cair dari bahan baku bijih menggunakan kokas sebagai reduktor. Menurut Suopajarvi dan Fabritius, biomassa dapat digunakan sebagai agen reduktor untuk menggantikan *cooking coal* dalam *blast furnace*, untuk menggantikan injeksi bubuk batubara dari *tuyeres*, untuk menggantikan karbon fosil di briket, menggantikan kokas pada sintering dan mengganti karbon fosil pada reduksi pelet bijih besi [7].

Penelitian yang dilakukan oleh Kunimoto dkk membandingkan antara penggunaan charcoal dari kayu dan kokas batubara sebagai agen reduktor pada proses reduksi besi oksida dengan *blast furnace* pada temperatur 1200°C [8]. Penelitian ini menyimpulkan bahwa *charcoal* memiliki reaktifitas yang lebih tinggi dan kekuatan yang lebih rendah daripada kokas batubara. Pemakaian *charcoal* untuk menggantikan batubara cukup efektif dan realistis karena reduksi dengan menggunakan *charcoal* mulai terjadi pada temperatur yang lebih rendah daripada reduksi dengan menggunakan *charcoal* batubara dan derajat reduksi yang dihasilkan dari reduksi sinter menggunakan *charcoal* lebih tinggi daripada menggunakan kokas batubara pada temperatur tinggi.

Penelitian dari Setiawan dkk. melakukan reduksi bijih nikel laterit menggunakan batubara jenis sub-bituminus pada temperatur reduksi karbotermik (800-1000°C) dalam muffle furnace dengan laju pemanasan 10°C/menit selama satu jam waktu penahanan, dan pendinginan sampai pada temperatur kamar dengan menggunakan quenching air. Peningkatan temperatur reduksi meningkatkan derajat reduksi Fe dan Ni. Pada temperatur reduksi carbothermic rendah (<1000°C) reduksi dengan batubara sub bituminus meningkatkan grade Ni dari 1,7% menjadi 5% [9].

3 Metodologi Penelitian

3.1 Material

Bijih nikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah saprolit yang berasal dari Pomalaa – Propinsi Sulawesi Tenggara. Komposisi bijih nikel saprolit ditentukan dengan XRF dapat dilihat pada Tabel 1. Karakteristik mineralogi berdasarkan hasil pengujian XRD diunjukkan pada Gambar 1.

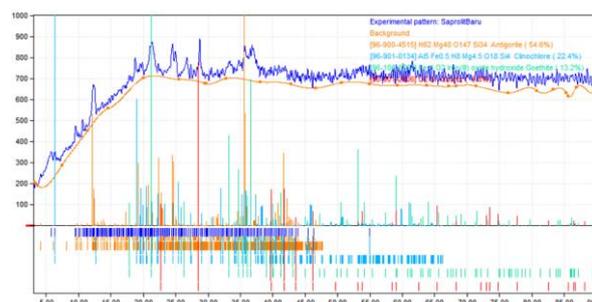
Tabel 1 Komposisi kimia bijih nikel saprolit

Unsur (%)									
Ni	Fe	Si	Mg	Mn	Al	Cr	Ca	Na	S
1,89	24,7	33,2	14,6	0,37	2,78	1,23	0,46	0,03	0,01

Reduktor yang digunakan adalah arang batok dengan kadar fixed carbon adalah 74,95%, hasil karakterisasi keseluruhan parameter dari arang batok kelapa ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik arang batok kelapa (pengujian dilakukan dengan basis adb)

Proximate		Ultimate	
Parameter	Jumlah (%)	Parameter	Jumlah (%)
Moisture	7,85	Karbon	77,72
Kadar Abu	4,07	Hidrogen	3,29
Volatile Matter	13,13	Total Sulfur	0,10
Fixed Carbon	74,95	Nitrogen	0,25
		Oksigen	14,57



Color	Entry	Formula	Matched phase	Quant. (%)
Orange	96-900-4515	H62 Mg48 O...	Antigorite	54.6
Blue	96-901-0134	Al5 Fe0.5 H8...	Clinocllore	22.4
Green	96-100-8767	Fe H O2	Iron(III) oxide hydroxide Goet...	13.2
Red	96-901-2606	O2 Si	Quartz	9.8

Gambar 1 Pola Difraksi sinar X saprolit dan rekapitulasi mineralnya

Perekat yang digunakan pada pembuatan pelet komposit adalah material bentonit, dengan karakteristik material ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Karakteristik material bentonit

Komponen (%)			
Fe ₂ O ₃	4,71	SO ₃	0,14
TiO ₂	0,59	P ₂ O ₅	0,02
SiO ₂	65,00	K ₂ O	0,32
Al ₂ O ₃	17,73	Na ₂ O	1,90
CaO	1,12	MnO	0,04
MgO	1,25	LOI	7,30

Selain itu dalam penelitian ini menggunakan material aditif CaCO₃ untuk menurunkan temperatur *melting* dari pelet komposit sehingga dihasilkan *recovery* logam Fe dan Ni yang lebih tinggi.

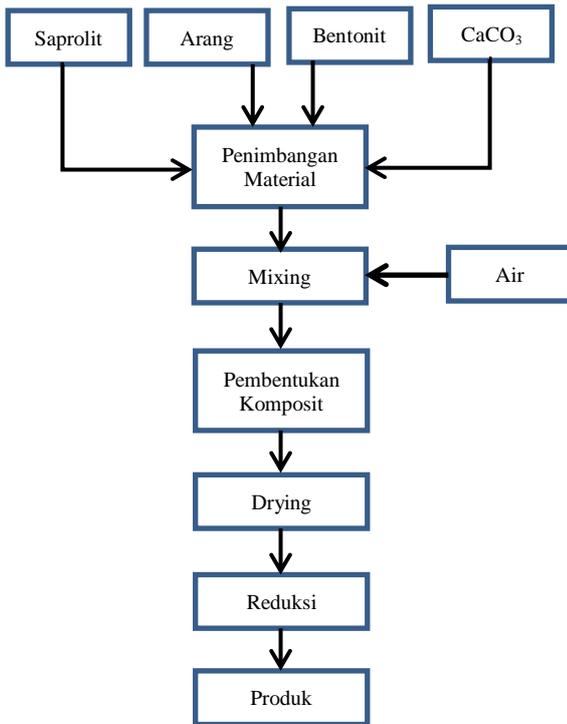
3.2 Pembuatan Pelet Komposit

Saprolit dan arang batok kelapa dikeringkan menggunakan oven untuk menghilangkan kadar air, masing – masing digerus menggunakan *pot mill* dan diayak menggunakan *sieve shaker* ukuran 200 mesh. Material bentonit berupa serbuk juga diayak untuk mendapatkan material berukuran 200 mesh. Bahan aditif CaCO₃ merupakan bahan kimia yang dijual umum dan memiliki ukuran hingga 200 mesh.

Tabel 4 Komposisi pelet komposit nikel

Material	Komposisi (%)		
	F1	F2	F3
Saprolit	100	100	100
Arang Batok Kelapa	25	37,5	45
CaCO ₃	10	10	10
Bentonit	2	2	2

Pelet komposit terdiri dari 3 komposisi berbeda pada pemakaian bijih nikel saprolit dan arang batok kelapa. Penambahan bahan aditif CaCO₃ dan perekat bentonit adalah sama, masing – masing 10% dan 2% berat. Komposisi pelet komposit bijih nikel sesuai dengan tabel 4.



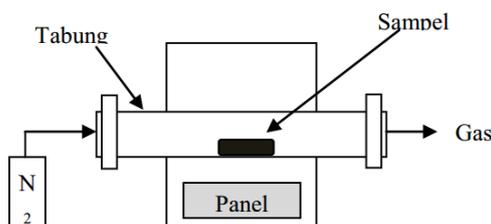
Gambar 2 Proses pembuatan dan reduksi komposit nikel

Dalam kondisi kering semua bahan ditimbang dan dicampur sampai homogen, ditambahkan air sampai material bisa dibentuk menjadi pelet berukuran 2x2x2cm. Pelet basah dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C selama satu malam, dan selanjutnya dilakukan proses reduksi. Urutan kerja proses pembuatan pelet komposit bijih nikel sampai proses reduksi seperti pada Gambar 2.

3.3 Proses Reduksi

Proses reduksi dilakukan dalam tungku tabung (tube furnace), dengan memanaskan pelet hingga 1200°C dan ditahan selama 90 menit dan kemudian pemanasan dilanjutkan hingga temperatur 1500°C dan ditahan selama 15 menit. Skema dari tungku tabung dan peletakan pelet komposit bijih nikel seperti pada Gambar 3.

Tungku tabung diprogram dengan kecepatan kenaikan temperatur 10 °C/menit. Pada saat temperatur dan waktu yang diinginkan telah tercapai maka kenaikan temperatur akan berhenti dan temperatur akan turun secara alami. Ketika terjadi penurunan temperatur, gas nitrogen dialirkan kedalam tungku tabung untuk mempercepat penurunan temperatur dan mempertahankan keadaan tungku agar tidak ada oksigen (O₂) yang masuk kembali.



Gambar 3 Skema tungku tabung dan posisi pelet komposit selama reduksi

Produk hasil reduksi dilakukan analisa komposisi kimia dengan XRF untuk mengetahui *recovery* besi (Fe) dan nikel (Ni). *Recovery* dari Fe dan Ni hasil reduksi dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$Recovery\ Fe\ (\%) = [(\%Fe\ at\ ore) / (\%Fe\ at\ reduced\ pellet)] \times 100\% \quad (1)$$

$$Recovery\ Ni\ (\%) = [(\%Ni\ at\ ore) / (\%Ni\ at\ reduced\ pellet)] \times 100\% \quad (2)$$

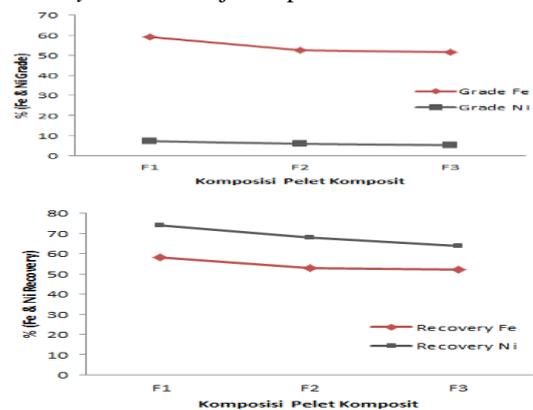
Analisa mineralogi hasil reduksi melalui pengujian XRD untuk mengidentifikasi mineral dengan bantuan *software Match 2*. Hasil reduksi dengan *recovery* tertinggi dan terendah akan dianalisa dan dibandingkan struktur mikronya dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

4 Temuan dan Pembahasan

Bijih nikel saprolit yang digunakan memiliki kandungan nikel 1,89% dan besi 24,7%. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa bijih masih dapat digolongkan sebagai bijih dengan kadar nikel yang relatif tinggi yang masih berpotensi untuk dapat diproses melalui jalur pirometalurgi. Bijih memiliki mineral *antigorite*, *klinoklor*, *gutit* dan *kuarsa*. Dua mineral pertama yaitu *antigorite* dan *klinoklor* merupakan komponen utama bijih. Hasil analisis sinar X tidak menunjukkan adanya unsur nikel dalam bijih karena jumlah nikel sangat kecil sehingga mineral yang mengandung nikel tidak dapat teridentifikasi dengan mudah.

4.1 Efek Penambahan Reduktor Arang Batok Kelapa Terhadap Recovery Fe-Ni

Untuk mengetahui pengaruh penambahan arang batok kelapa sebagai reduktor pada hasil reduksi bijih nikel dilakukan analisa komposisi kimia terhadap bahan baku bijih dan produk hasil reduksi menggunakan XRF. Analisa tersebut dilakukan untuk mengetahui kandungan atau *grade* Fe dan Ni, sehingga dapat dihitung *recovery* dari besi dan nikel. Hasil analisa komposisi kimia menunjukkan bahwa terjadi kenaikan *grade* Fe dan Ni pada pelet komposit hasil reduksi, tetapi kecenderungan *grade* Fe-Ni menurun dengan kenaikan jumlah arang batok kelapa yang digunakan. *Grade* dan *recovery* Fe-Ni ditunjukkan pada Gambar 4.

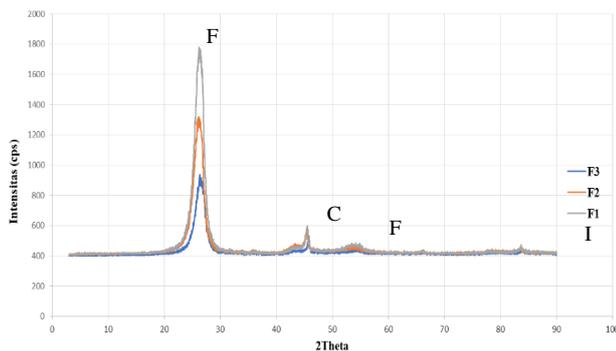


Gambar 4 Efek Reduktor Arang batok kelapa terhadap grade dan recovery Fe-Ni

Recovery besi cenderung menurun dengan bertambahnya jumlah arang batok kelapa dalam pelet komposit dari komposisi F1 sampai F3. Tendensi yang sama juga terjadi pada *recovery* nikel, *recovery* cenderung menurun dari komposisi F1 sampai F3 dengan bertambahnya jumlah arang batok. *Recovery* baik besi maupun nikel tertinggi pada komposisi F1 yaitu pada penambahan 25% arang batok kelapa.

4.2 Analisa Mineralogi (XRD) Hasil Reduksi Pelet Komposit Bijih Nikel

Untuk mengetahui fasa atau mineralogi dari hasil reduksi pelet komposit bijih nikel, produk segera didinginkan dengan mengalirkan gas nitrogen untuk menghindari masuknya oksigen ke dalam tungku tabung yang bisa mengakibatkan reaksi oksidasi kembali. Dengan menggunakan *pot mill* pelet komposit hasil reduksi dihaluskan dan dianalisa menggunakan XRD (Gambar 5)



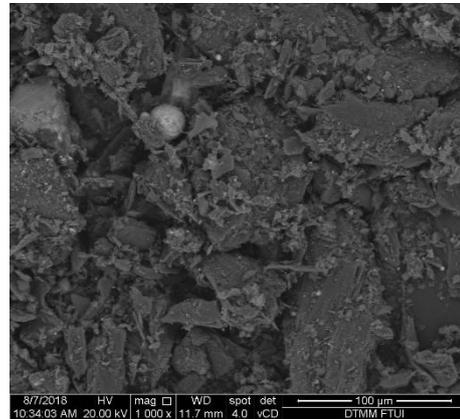
Gambar 5 XRD hasil reduksi pelet komposit (F=Forsterit; C=Cementite; I = Iron)

Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa fasa utama produk pelet komposit didominasi oleh mineral antara lain *forsterite* (Mg_2SiO_4), *cementite* (Fe_3C) dan *iron* (Fe). Terlihat bahwa *peak* tertinggi untuk fasa mineral tersebut pada komposisi pelet komposit F1, penambahan jumlah pemakaian arang batok kelapa sebagai reduktor pada reduksi pelet komposit bijih nikel cenderung menurunkan *peak* fasa mineral terutama pada *hematit* dan *iron*. Hal ini memiliki korelasi dengan *recovery* Fe-Ni, bahwa kenaikan jumlah pemakaian arang batok kelapa cenderung menurunkan *grade* dan *recovery* Fe-Ni. Menurunnya *recovery* Fe-Ni disebabkan oleh adanya karbon (C) sisa pada produk reduksi pelet komposit karena waktu reduksi yang singkat sehingga tidak semua karbon bereaksi, semakin banyak arang batok yang ditambahkan maka semakin banyak sisa karbon pada produk reduksi pelet komposit sehingga persen massa Fe-Ni berkurang yang berakibat pada menurunnya *recovery* Fe-Ni.

4.3 Morfologi Hasil Reduksi Pelet Komposit Pada Recovery Fe-Ni Tertinggi

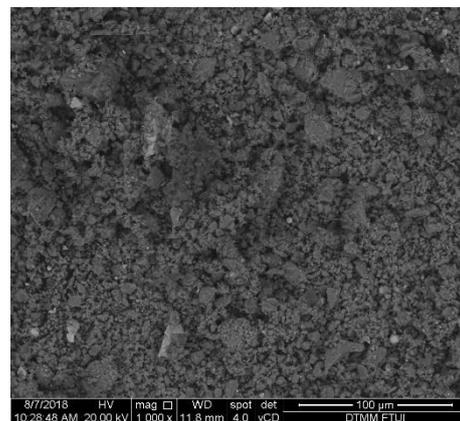
Analisa morfologi dan struktur mikro dilakukan dengan SEM menggunakan BSE (Back Scattered Electron) yang bisa membedakan fasa pada produk pelet komposit hasil reduksi. Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM menunjukkan bahwa pada produk

F1 hasil reduksi (Gambar 6) lebih banyak ditemukan area terang yang menunjukkan lebih banyak fasa logam. Hasil analisa ini mengkonfirmasi karakterisasi sebelumnya, bahwa *recovery* Fe-Ni tertinggi dan *peak* tertinggi pada hasil XRD adalah komposisi F1 (25% arang batok kelapa), artinya ditemukan banyak fasa yang menunjukkan fasa logam dari hasil uji SEM (Gambar 6)



Gambar 6 Struktur mikro (SEM) hasil reduksi komposit F1

Hasil pengamatan struktur mikro pada komposisi F3 (Gambar 7) menunjukkan lebih banyak area gelap, menunjukkan fasa logam lebih sedikit. Area gelap kemungkinan didominasi oleh sisa karbon yang tidak bereaksi selama proses reduksi. Hal ini dikonfirmasi oleh analisa komposisi kimia pada komposit F3 merupakan *recovery* Fe-Ni yang paling rendah dan karakterisasi XRD menunjukkan *peak cementite* dan *iron* juga yang paling rendah.



Gambar 7 Struktur mikro (SEM) hasil reduksi komposit F3

Dari serangkaian karakterisasi di atas, bahwa pada pemakaian yang paling sedikit 25% arang batok kelapa sebagai reduktor menunjukkan tidak semua karbon habis bereaksi selama proses reduksi berlangsung, sehingga perlu dilakukan penelitian berikutnya untuk menurunkan jumlah pemakaian arang batok kelapa dengan karakteristik yang sama pada penelitian ini.

5 Simpulan

Material arang batok kelapa merupakan sumber karbon biomassa yang bisa dimanfaatkan sebagai reduktor pada proses reduksi bijih nikel laterit. Semakin banyak jumlah pemakaian arang batok kelapa pada reduksi pelet komposit bijih nikel saprolit, akan menurunkan recovery Fe-Ni yang dikonfirmasi dengan lebih banyak fasa non logam (carbon) pada pengamatan strukturmikro menggunakan SEM. Recovery Fe-Ni tertinggi adalah pada pemakaian 25% arang batok kelapa yang dikonfirmasi dengan banyaknya fasa logam pada pengamatan struktur mikro dari hasil uji SEM.

Kepustakaan

- [1] H. Kuck, P., U.S Geological Survey Minerals Yearbook. In: *2012 Minerals Yearbook : Nickel (Advance Release)*. Virginia: USGS, pp. 51.1-31.31. (2015)
- [2] Li, S., *Study Of Nickeliferous Laterite Reduction*, Hamilton, Ontario: McMaster University Library. (1999).
- [3] Elias, M., *Nickel Laterites in SE Asia : Geology, Technology and Economics Finding the Balance*. Bali: CSA Global. (2013).
- [4] Sugiarto, E., Putera, A. D. P. & Petrus, H. T. B. M., *Kinetic Study Of Nickel Laterite Reduction Roasting By Palm Kernel Shell Charcoal*. s.l., Prosiding of International Conference on Biomass : Technology, Application and Sustainable Development. (2017).
- [5] Brand, N., Butt, C. & Elias, M., Nickel Laterites : Classification and Features. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(4), pp. 81-88. (1998).
- [6] Elias, M., *Nickel Laterites in SE Asia : Geology, Technology and Economics Finding the Balance*. Bali: CSA Global. (2013).
- [7] Suopajarvi , H., Pongrätz, E. & Fabritius, T., The potential of using biomass-based reducing agents in the blast furnace: A review of thermochemical conversion technologies and assessments related to sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, September, Volume 25, pp. 511-528. (2013).
- [8] KUNIMOTO, K. et al., *Reduction Behavior of Iron Oxide Using Woody Biomass*, Fukuoka: IEAGHG/IETS Iron & Steel Industry. (2013).
- [9] Setiawan, I., Harjanto, S. & Subagja, R., *Low-Temperature Carbothermic Reduction of Indonesia Nickel Lateritic Ore With Sub-Bituminous Coal*. s.l., Prosiding of The 4th International Conference on Advanced Materials Science and Technology. (2017).