

KENDALA DAN KEMUNGKINAN PENGEMBANGAN PROSES CARON UNTUK BIJIH NIKEL LATERIT KADAR RENDAH INDONESIA

Arifin Arif dan Edi Herianto
Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI
Kawasan PUSPIPTEK Serpong-Tangerang 15314
E-mail : arifin.arif@lipi.go.id

Intisari

Bagian terbesar dari bijih nikel laterit Indonesia yang cadangannya lebih dari 1 milyar ton termasuk pada klasifikasi bijih berkadar rendah. Komposisi bijih kadar rendah tersebut sangat bervariasi, dari bijih saprolit yang tinggi kandungan oksida magnesium dan silikatnya serta bijih limonit yang tinggi kandungan oksida besi dan aluminiumnya. Selain itu bijih limonit juga berpotensi mengandung silikat yang cukup tinggi. Oleh karena itu selalu ada kemungkinan dari suatu cebakan bijih, kandungan total magnesium dengan aluminium dan atau silikat dari bijih campuran tersebut masih melampaui dari batas kritis olahan proses HPAL. Oleh karena itu pengolahan optimal tidak dapat diharapkan hanya dari proses HPAL. Seperti diketahui walaupun kinerjanya tinggi tetapi proses HPAL cocok hanya untuk bijih yang kandungan magnesium dan atau silikatnya rendah seperti limonit murni. Untuk itu perlu disiapkan alternatif berupa proses yang komposisi bijih umpannya dapat lebih fleksibel. Kalau pilihannya adalah proses Caron tampaknya masih diperlukan langkah pendekatan terhadap beberapa kendala yang harus dihadapi oleh proses tersebut bila akan dikembangkan kedepan.

Kata kunci : Bijih nikel, Laterit, Saprolit, Limonit, Proses HPAL, Proses Caron

Abstract

The largest portion of more than 1 billion ton Indonesian nickel laterite ore deposits can be classified as low grade. It is informed that the compositions of the ores varies in wide range, with high magnesium oxide and silicates contents for saprolite and high iron and aluminium oxides for limonite. The limonite ores are also potential in containing high enough silicate. Due to it always possible that the total magnesium and aluminium and or silicates contents of the mixed ores deposits are higher than the ore feed compositions critical limits of HPAL, so it is predicted that the optimal treatment would not be achieved if based only on HPAL process. As have been known even HPAL is high in performance but just only suitable for certain ores with low magnesium and low silicates contents such like pure limonite. For that it requires to provide alternative processes which are more flexible toward ore feed compositions. If the selected process is Caron, still it needs some steps of problems approach that have to be faced for the future process development.

Keywords : Nickel ore, Laterite, Saprolite, Limonite, HPAL process, Caron process

PENDAHULUAN

Bijih nikel laterit Indonesia yang depositnya mencapai lebih dari 1 milyar ton bagian terbesarnya adalah bijih yang berkadar rendah. Dalam pemanfaatannya sampai saat ini masih terbatas pada bijih saprolit kadar tinggi yang diolah untuk produk ferro nikel [Ni > 2%] di Pomala dan Nikel matte [Ni > 1,85 %] di Soroako, keduanya di Sulawesi. Untuk bijih saprolit

dibawahnya (Ni < 1,85%) dan bijih limonit yang disebut sebagai bijih kadar rendah sampai saat ini belum ada yang diolah. Seperti diketahui untuk pengolahan bijih kadar rendah ada dua proses yang sudah dioperasikan secara komersial saat ini yaitu proses Caron dan HPAL.

Keberhasilan proses HPAL di Moa Bay untuk mengolah bijih jenis limonit murni dengan perolehan nikel dan kobalnya yang tinggi serta kebutuhan energinya yang

relatif rendah, mendorong arah pengembangan beberapa proyek baru dengan berbasis proses ini. Hal ini didukung pula oleh perkembangan teknologi pada bagian hilir dari proses yang dapat dikatakan telah mencapai optimal. Tetapi setelah timbulnya permasalahan yang dihadapi dalam awal pengoperasiannya di tiga tempat di Australia pada awal 2000 an, dimana diketahui adanya keterbatasan proses terhadap kandungan silikat dari bijih pada skala komersial, maka perlu dikaji lagi pemanfaatannya untuk bijih campuran limonit dan saprolit yang juga masih tinggi silikatnya. Informasi dari hasil litbang terakhir yang menyangkut masalah tersebut mengindikasikan masih belum diperolehnya jalan keluar terbaik untuk mengatasi permasalahan. Oleh karena itu tampaknya proses ini tidak akan dapat diandalkan untuk pengolahan bijih kadar rendah Indonesia yang berupa campuran saprolit dan limonit tersebut secara optimal^[1].

Untuk alternatif dicoba kembali mencermati proses Caron, walaupun sejak terjadinya krisis minyak dunia para pengamat sudah kurang memperhatikannya. Dibandingkan dengan proses HPAL yang perolehan nikel dan kobalnya dapat mencapai 90 %, kinerjanya memang lebih rendah dengan capaian perolehan hanya 70 – 80 % untuk nikel dan 40 – 50 % untuk kobal. Selain itu kebutuhan energinya juga relatif lebih tinggi dari HPAL yang terutama diperlukan untuk pengeringan dan pemanggangan reduksi dari bijih. Tetapi proses ini juga mempunyai kelebihan, yaitu fleksibilitasnya terhadap komposisi bijih umpan serta dapat diperoleh kembalinya bagian komponen reagen larutan pelindian seperti ammonia dan CO₂ yang keluar dari larutan pakai secara optimal.

Saat ini proses ini di dunia dioperasikan di empat lokasi yaitu di Nicaro (Kuba), Greenvalle/Yabulu (Australia), Niquelandia (Brazil dan Punta Gorda

(Kuba). Kedepan tampaknya sudah tidak ada lagi rencana pengembangan baru dari proses yang berbasis Caron ini. Pada hal dengan lebih akomodatif terhadap komposisi bijih umpan diperkirakan proses ini lebih sesuai dengan kondisi bijih kadar rendah Indonesia yang variatif tersebut. Tulisan ini mencoba secara singkat melihat lebih jelas kendala yang dihadapi dan pendekatan yang mungkin dapat dilakukan bila ingin mengembangkan proses Caron untuk pengolahan bijih kadar rendah Indonesia ke depan.

Keberadaan Proses Caron

Proses Caron merupakan gabungan dari dua langkah utama yaitu pereduksian oksida logam nikel dan kobal dari bijih yang diharapkan secara selektif terhadap oksida besi, dilanjutkan dengan pelindian logam hasil reduksi dengan larutan *Ammonia Ammonium Carbonate* [AAC]. Selanjutnya logam berharga tersebut dapat diambil dari larutan dengan berbagai metoda tergantung pada produk yang diinginkan (Gambar1). Secara operasional setelah tahap penyiapan bijih untuk umpan maka ada beberapa tahapan lagi yang harus dilalui sampai mendapatkan masing masing produk seperti uraian berikut:

1. Pemanggangan reduksi

Pada tahap ini terjadi reaksi reduksi sederhana terhadap oksida nikel dan kobal yang menghasilkan logam nikel (Ni) dan kobal (Co) oleh gas pereduksi seperti CO, H₂, atau campurannya dan dengan kandungan gas terbang (volatile matter) bila reduktannya berupa batubara. Oksida besi (Fe₂O₃) akan tereduksi secara bertahap diawali dengan dengan terbentuknya Fe₃O₄, selanjutnya FeO dan terakhir menjadi logam besi.

2. Pelindian dengan larutan AAC untuk memperoleh larutan kaya

Logam nikel dan kobal akan terlarut menjadi senyawa amin kompleks

$\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{++}$ dan $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{++}$. Demikian juga dengan logam besi (Fe) terlarut lebih dahulu yang juga membentuk senyawa amin kompleks $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2^{++}$ dan selanjutnya akan teroksidasi menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang berupa endapan berbentuk gel.

3. Pengambilan logam nikel dan kobal dari larutan kaya

Rangkaian proses pengambilan logam dari larutan kaya akan tergantung pada produk yang dipilih. Pilihan terhadap produk yang akan dihasilkan pada dasarnya adalah tergantung pada pertimbangan ekonomis. Secara umum ada beberapa pilihan produk diantaranya seperti oksida dan katoda logam. Bisa juga produk tersebut masih sebagai produk antara (*intermediate product*) seperti sulfida logam dan BNC (*Basic Nickel Carbonate*).

4. Perolehan kembali amonia dan CO_2

Amonia dan CO_2 yang keluar dari larutan dari setiap tangki pelindian, pemekatan (*thickener*) dan pencucian (*washing*) ditangkap kemudian dialirkan ke dalam sistem unit pengelolaan reagen. Di dalam sistem semua amonia dan CO_2 dilarutkan kembali untuk kemudian ditambahkan amonia dan CO_2 yang baru sehingga larutan telah kembali mencapai standar konsentrasi yang telah ditentukan sebelum dialirkan kedalam tanki pemekatan dari unit pencucian. Demikian juga halnya dengan amonia dan CO_2 yang dihasilkan dari alat stripper untuk pembuatan BNC dan lumpur hasil pencucian terakhir sebelum lumpur dibuang ketempat penampungan.

Kendala yang Dihadapi untuk Proyek Komersial Baru

Ada pengamat yang berpendapat bahwa proses Caron sudah tidak ekonomis lagi untuk pembangunan proyek baru dengan kadar umpan bijih dan kinerjanya

(perolehan nikel – kobalnya) serta harga nikel yang rendah, bila dikaitkan dengan tingginya biaya operasional untuk energi dan reagen reagen kimia yang dibutuhkan oleh proses. Selanjutnya disebutkan tidak terpikirkan akan ada lagi proyek baru berbasis proses Caron^[2]. Pendapat lainnya mengatakan dengan kinerjanya yang rendah serta tingginya biaya modal untuk membangun proyek baru maka proses Caron sudah merupakan teknologi yang ketinggalan dan tidak lagi punya masa depan^[3]. Caron dikembangkan sebelum krisis minyak dunia, dan sejak itu tidak ada lagi pengembangan baru dan sepertinya tidak juga dimasa depan^[4].

Berdasarkan fakta operasional dari proses serta pendapat yang berkembang seperti disebutkan diatas tampak setidaknya ada tiga masalah yang menonjol yang dihadapi untuk pengembangan proyek baru proses Caron seperti uraian berikut :

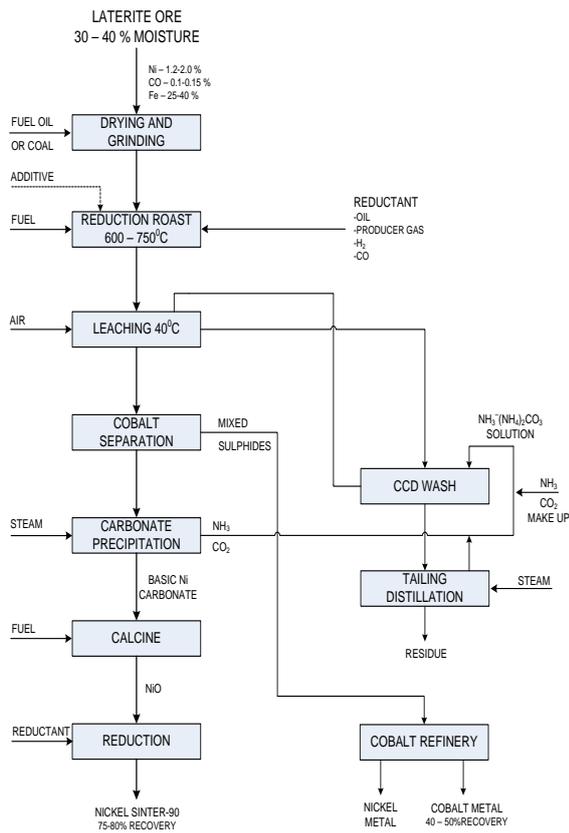
1. Kebutuhan serta biaya energi dari proses yang tinggi

Kebutuhan energi proses relatif lebih tinggi dibandingkan dengan yang dibutuhkan oleh proses HPAL. Hal ini disebabkan terutama untuk keperluan pengeringan dan pemanggangan reduksi bijih yang diperkirakan menyita bagian proses terbesar dari energi total yang dibutuhkan. Kebutuhan energi yang tinggi ini akan terkait pada tingginya biaya untuk operasional, dan juga karena masih sangat tergantung pada sumber energi yang berasal dari bbm maka harus siap sewaktu waktu untuk menghadapi gejolak harga bahan bakar minyak.

2. Tingginya biaya modal

Biaya modal/lb nikel yang dihasilkan untuk pembangunan pabrik pengolahan baru (*greenfield project*) yang berbasis proses Caron juga relatif lebih tinggi dari HPAL^[3]. Disebutkan bagian terbesar dari biaya modal ini terserap

untuk biaya fasilitas dari preparasi sampai pemanggangan reduksi bijih^[5].



Gambar 1. Proses Caron^[5]

3. Kinerja proses yang rendah

Perolehan nikel dan kobal dari proses sampai saat ini masih rendah 70 – 80 % untuk nikel 40 - 50 % untuk kobal. Pada dasarnya kinerja dari bagian proses pada tahap lanjutan dari proses pelindian sudah mencapai titik optimalnya. Perolehan yang rendah tersebut diperkirakan terkait erat dengan tingkat selektifikasi dari oksida nikel dan kobal terhadap oksida besi pada saat reduksi, yang berpengaruh langsung terhadap perolehan pada tahap pelindian. Oleh karena itu, selektifikasi masih harus dipertajam untuk lebih menekan logam besi dan endapan FeO aktif yang terbentuk agar diperoleh hasil pelindian yang optimal. Seperti telah diketahui logam besi hasil dari reduksi akan terlindi lebih dahulu pada saat pelindian dan akan membentuk endapan Fe(OH)₃

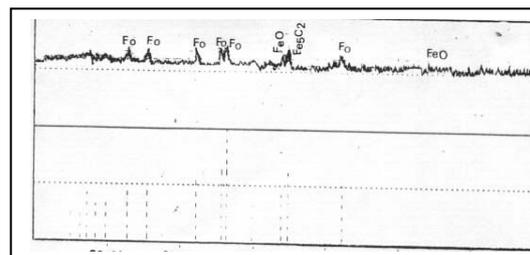
yang diperkirakan dapat melapisi partikel yang nikel dan kobalnya belum sempat terlarutkan sehingga menghambat pelarutan dari keduanya. Selain itu ada kemungkinan lain sebagaimana endapan dari oksida besi (FeO) aktif demikian pula Fe(OH)₃ juga dapat meng-adsorp ion nikel dan terutama kobal. Pentingnya selektifikasi reduksi terhadap oksida besi ini dan pengaruhnya terhadap perolehan nikel dan kobal dapat dilihat dari hasil percobaan reduksi dan pelindian sederhana pada Tabel 1 dan 2. Percobaan sederhana tersebut dilakukan terhadap bijih saprolit dari daerah Obi (Halmahera) dengan komposisi Ni 1,71 %, Co 0,07 %, Mg 15,97 % dan diperoleh hasil seperti berikut^[6] :

Tabel 1. Pengaruh penahanan waktu reduksi pada temperatur 850 °C terhadap pelet dengan batubara 12 %

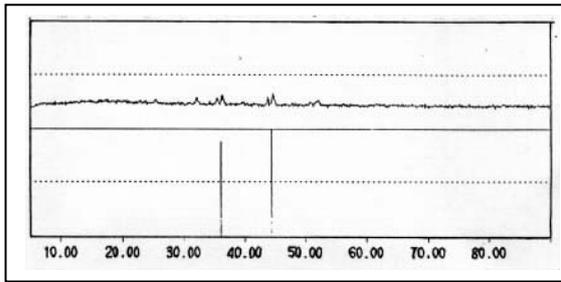
No	Waktu Tahan (menit)	Metalisasi (%)		
		Ni	Co	Fe
1	0	29,45	48,76	9,75
2	15	32,67	51,28	14,80
3	30	31,43	50	16,32
4	45	32,87	43,04	21,78
5	60	32,6	51,70	22,89
6	75	33,85	55,75	21,71

Tabel 2. Hasil pelindian dari setiap kondisi reduksi

No	Waktu Tahan (menit)	Metalisasi (%)	
		Ni	Co
1	0	44,24	30,35
2	15	48,79	24,44
3	30	25,62	18,35
4	45	21,74	16,53
5	60	25,67	14,84
6	75	28,65	12,45



Gambar 2. Difraksi sinar X dari pelet dengan penahanan 0 menit



Gambar 3. Difraksi sinar X dari pelet dengan penahanan 60 menit

Terlihat dari Gambar 2 pada temperatur reduksi 850 °C tanpa penahanan waktu seluruh Fe_2O_3 telah tereduksi menjadi FeO. Dengan perpanjangan waktu reduksi menjadi 60 menit pada temperatur tersebut menyebabkan hampir seluruh FeO telah direduksi menjadi logam besi. Dari perhitungan perolehan total menunjukkan bahwa perolehan nikel yang 13,03 % dan kobal 14,80 % pada metalisasi besi 9,75%, turun menjadi 9,70 % untuk nikel dan hanya 6,94 % untuk kobal dengan kenaikan metalisasi besi menjadi 22,75%. Dari data ini tampak peningkatan metalisasi besi cukup berpengaruh pada hasil pelindian nikel dan terutama terhadap kobal.

Beberapa Faktor Pendukung untuk Pengembangan

1. Kemampuan proses untuk mengoptimalkan pengambilan kembali ammonia dan CO_2 . Kemampuan proses yang optimal untuk pengambilan kembali komponen ammonia dan CO_2 yang keluar dari larutan pakai pada sistem operasi, residu dan air buangan tentu saja dapat menekan biaya operasional dengan mengurangi kebutuhan pasokan reagen baru untuk larutan AAC dan meminimalkan masalah serta biaya lingkungan. Seperti diketahui masalah lingkungan merupakan salah satu faktor yang penting untuk dipertimbangkan dalam setiap pemilihan proses yang akan dikembangkan kedepan apalagi bagi Indonesia yang beriklim tropis.
2. Fleksibilitasnya terhadap komposisi umpan bijih
Komposisi umpan bijihnya lebih bebas sehingga proses dapat lebih fleksibel untuk digunakan terhadap umpan yang berupa bijih campuran limonit dan saprolit yang variatif.
3. Adanya empat pabrik komersial yang terus beroperasi sebagaimana telah disebutkan di depan saat ini ada empat pabrik komersial berbasis Caron yang masih terus beroperasi meski keempatnya telah beberapa kali menghadapi gejolak harga minyak (bbm).
4. Kebutuhan (*demand*) akan nikel dan kobal kedepan
Dari laporan beberapa pengamat disebutkan kebutuhan nikel dan kobal diprediksikan akan terus meningkat, untuk nikel dapat tergambarkan dari perkiraan produk baja tahan karat. Disebutkan baja tahan karat adalah konsumen terbesar dari logam nikel dan mencapai sekitar 65 % dari nikel yang diproduksi, sedangkan produksi baja tahan karat dunia cenderung terus meningkat dari 23 juta ton pada 2004 dan diperkirakan akan menjadi 30 juta ton pada 2010^[7]. Kecenderungan kenaikan produksi yang diperkirakan Wang Y. tersebut ternyata benar dimana produksi dunia 2010 sudah mencapai 30.67 juta ton^[8]. Selain itu patut juga diperhitungkan kebutuhan akan baterai yang berbasis nikel untuk mobil ataupun alat elektronik yang diperkirakan juga cenderung terus meningkat^[9]. Sedangkan kebutuhan akan kobal diperkirakan akan meningkat menjadi 50.000 ton pada 2015 dari hanya 30.000 pada tahun 1998^[10]. Seperti diketahui kebutuhan akan kobal juga telah bergeser dari awalnya didominasi hasil samping dari pengolahan bijih tembaga ke hasil pengolahan bijih laterit. Awalnya beban ini direncanakan akan dipenuhi oleh beberapa pabrik yang berbasis HPAL baik Murrin, Cawse maupun

Bulong serta beberapa lainnya yang direncanakan akan dibangun kemudian. Tetapi dengan adanya permasalahan yang menimpa ketiga pabrik diatas maka pabrik lainnya yang sudah masuk dalam rencana tersebut tampaknya harus dikaji ulang yang waktunya tidak dapat ditentukan.

5. Pendapat dari MTG (*Metallurgical Technology Group*)

Metallurgical Technological Group yang merupakan gabungan dari Noranda dan Falconbridge Technology Centre menyebutkan ada beberapa kenyataan yang harus dipertimbangkan dalam pengolahan laterit yaitu^[11]:

- Sejak teknologi HPAL pertama dikembangkan sekitar 60 tahun yang lalu tidak ada lagi pabrik berbasis HPAL beroperasi secara menguntungkan, tiga di Australia telah gagal secara komersial.
- Dua pabrik berbasis Caron masih beroperasi secara komersial dengan menguntungkan.

Perlu juga dicatat pendapat dari pengamat Alan Taylor dalam suatu kajiannya bahwa semua proses yang telah komersial maupun yang masih tahap litbang mempunyai peluang yang sama untuk mendapatkan tempat dalam pengembangan bijih nikel kadar rendah kedepan^[12]. Beberapa faktor tersebut diatas menunjukkan bahwa proses Caron juga masih punya peluang sebagai salah satu proses alternatif yang potensial.

Langkah Pendekatan yang Diperlukan

Perlu diperhatikan agar maksud tersebut diatas dapat dilaksanakan masih diperlukan beberapa langkah pendekatan untuk mengantisipasi beberapa permasalahan yang telah disebutkan yang diantaranya:

1. Masalah Energi

Untuk masalah kebutuhan energi perlu dicermati kemungkinan penurunan temperatur pemanggangan reduksi untuk bijih saprolit agar sama atau

setidaknya harus mendekati temperatur reduksi untuk bijih limonit yang sekitar 700 °C. Juga perlu dicermati usaha untuk mendapatkan sumber energi yang lebih murah setidaknya sebagai substitusi sebagian dari kebutuhan energi yang saat ini masih sangat tergantung pada bahan bakar minyak (bbm). Salah satu kandidat untuk itu tampaknya adalah batubara seperti misalnya untuk pengeringan bijih, walaupun menurut O'kane pemakaian batubara ini akan memerlukan tambahan biaya modal lagi sehingga posisi dari langkah ini menjadi marginal.

2. Tingginya Biaya Modal

Selama ini perhitungan biaya modal untuk proses Caron adalah berbasis pada pemanggangan reduksi yang menggunakan dapur *Multi Hearth Furnace* (MHF), jenis dapur yang digunakan oleh keempat pabrik berbasis Caron yang beroperasi saat ini. Ke depan tampaknya Selama ini perhitungan biaya modal untuk proses Caron adalah berbasis pada pemanggangan reduksi yang menggunakan dapur *Multi Hearth Furnace* (MHF), jenis dapur yang digunakan oleh keempat pabrik berbasis Caron yang beroperasi saat ini. Ke depan tampaknya sudah perlu dilakukan perubahan mendasar berupa penggantian dapur reduksi MHF tersebut dengan dapur alternatif lainnya seperti tanur putar (*rotary kiln*) atau bentuk tanur lainnya yang diperkirakan dapat menurunkan biaya modal. Sebagai contoh disebutkan penggunaan satu tanur putar dapat menggantikan 12 atau lebih tungku MHF yang dapat mengurangi biaya modal dan operasional untuk tahapan reduksi^[13]. Seperti telah diungkapkan biaya modal dan operasional terbesar untuk pengembangan proses adalah untuk tahap preparasi bijih sampai tahap reduksi. Oleh karena itu penurunan biaya untuk fasilitas reduksi dan

penyederhanaan pengoperasian diperkirakan akan berdampak besar terhadap usaha menurunkan biaya modal dan operasional yang dibutuhkan untuk pengembangan pabrik komersial baru. Penurunan biaya modal tersebut akan membuka kemungkinan lebih besar untuk pengembangan batubara sebagai substitusi sebagian dari bbm seperti untuk pengeringan bijih, dengan menepis kekhawatiran O'Kane akan terjadi peningkatan biaya modal apabila itu dilakukan seperti yang telah disebutkan diatas. Secara teknis hal ini sudah tidak lagi menjadi masalah karena pengeringan bijih menggunakan batubara telah dikembangkan di pabrik berbasis Caron di Yabulu Australia^[14]. Diperkirakan langkah substitusi sebagian bbm dengan batubara ini memberi dampak yang cukup berarti bagi ekonomi proses.

3. Peningkatan Perolehan Nikel dan Kobal
Peningkatan perolehan nikel dan kobal juga merupakan hal yang sangat penting dan tampaknya juga sulit untuk ditawarkan dalam membicarakan pengembangan proses ini kedepan. Seperti telah dibicarakan kinerja pada bagian hilir proses setelah pelindian dapat dikatakan telah optimal, jadi inti permasalahan sebenarnya adalah terletak pada masih belum optimalnya kinerja total dari proses reduksi dan pelindian yang terkait erat dengan selektifikasi reduksi terhadap oksida besi. Kemampuan untuk menekan FeO dan logam besi hingga seminimal mungkin diperkirakan pada akhirnya akan dapat meningkatkan perolehan nikel dan terutama kobal saat pelindian. Tentu saja hal ini serta juga penurunan temperatur reduksi dari bijih saprolit dan usaha untuk menekan pemakaian reagen/aditif seperti yang disebutkan diatas masih memerlukan penelitian, yang pengembangannya sudah diarahkan untuk tidak lagi menggunakan dapur jenis MHF. Keberhasilan dari litbang ini

diperkirakan akan sangat bermanfaat dalam membantu menyangga akibat dari naiknya harga BBM ataupun turunnya harga nikel sewaktu waktu sehingga peluang pengembangan proses kedepan lebih terbuka.

KESIMPULAN

1. Proses Caron dapat merupakan proses alternatif yang masih potensial untuk pengolahan bijih nikel laterit kadar rendah Indonesia yang optimal.
2. Dalam mendukung hal tersebut masih diperlukan penelitian untuk lebih meningkatkan selektifikasi terhadap oksida besi saat proses reduksi, penurunan temperatur reduksi saprolit mendekati temperatur reduksi bijih limonit dan usaha meminimalkan pemakaian reagen/aditif. Selain itu pengembangannya sudah diarahkan untuk tidak lagi menggunakan dapur MHF tetapi dapur lainnya yang biaya modal dan pengoperasiannya diperkirakan dapat lebih murah. Hal ini memperbesar peluang penggunaan batubara sebagai substitusi sebagian bahan bakar minyak setidaknya untuk pengeringan bijih, yang juga berarti memperbesar peluang pengembangan proses kedepan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif, A. 2007. *Prospek Penggunaan Proses HPAL untuk Pengolahan Bijih Nikel Laterit Kadar Rendah Indonesia*. Metalurgi Volum 22 Nomor 1 Juni.
- [2] Dalvi, A.D., dkk. 2004. *The Past and the Future of Nickel Laterite*. PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Investors Exchange, March: Ontario Canada.
- [3] Robson, T. 1998. *Caron Process Technical Description*. Nickel Laterite Monitor, Prudential: Bache Securities.

- [4] Elias, M. 2002. *Nickel laterite deposits- Geological Overview, Resources and Explotation*. CODES Special Publication 4, Centre for Ore Deposit, Research: University of Tasmania.
- [5] O’Kane. 1979. *Energy Consumption and Economic Trend in the Production of Laterites*. International Laterite Symposium.
- [6] Prasetyo, P., dkk. 2002. *Pengolahan Bijih Nikel Laterit dengan Cara Hidrometalurgi untuk Menghasilkan Logam Nikel (Ni) dan Produk Samping Kobal (Co)*. Laporan RUT VI. DRN.
- [7] Wang, Y. 2005. *The status of Nickel Resources in the World and the Development of Mineral Resources in MCC*. China Metallurgical Construction Group Corporation September.
- [8] International Stainless Steel Forum. 2011. *Bisnis Indonesia* Maret.
- [9] Kuck, H.P. 2002. *Nickel*. U. S. Geological Survey Minerals Year Book.
- [10] Matheson, P. 2000. *Cobalt Is it the Key to the Profitability of the New Australian Nickel Producers?*. Outlook 2000. Proceedings of the National Outlook Conference, Vol. Three: Canberra.
- [11] Metallurgical Technology Group. 2004. *Investors Presentation*. Falconbridge Technology Centre: Canada.
- [12] Taylor, A. 2009. *Trends in Nickel – Cobalt Processing*. ALTA Metallurgical Services.
- [13] Francis, Boyd Ramon. dkk. 2004. *Process for Nickel and Cobalt Extraction from Laterite Ores*. WIPO Patent Application WO/2004/067787.
- [14] Reid, G., John. dkk. 2004. *Yabulu 25 Years On*. PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Inventors Exchange, March: Ontario Canada.

RIWAYAT PENULIS

Arifin Arif lahir di Bandar Khalifah 19 April 1948. Pendidikan sarjana dari Teknik Pertambangan ITB. Bekerja sebagai staf peneliti di Pusat Penelitian Metalurgi sejak 1984.