

# PEMBUATAN NPI (5-8% Ni) MENGGUNAKAN HOT BLAST CUPOLA FURNACE KAPASITAS 3 TON/HARI

## *Manufacturing of NPI (5-8%Ni) Using a Hot Blast Cupola Furnace Capacity 3 Tons/Day*

FAJAR NURJAMAN<sup>1</sup>, ACHMAD SHOFI<sup>1</sup>, WIDI ASTUTI<sup>1</sup> dan BAMBANG SUHARNO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UPT Balai Penelitian Teknologi Mineral-LIPI

Jl. Ir. Sutami km. 15 Tanjung Bintang 35361 Lampung Selatan

Telp. (0721) 350052-55, Fax. (0721) 350056

e-mail: [fajar.nurjaman@lipi.go.id](mailto:fajar.nurjaman@lipi.go.id)

<sup>2</sup> Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok

Kampus UI Depok 16424 Jawa Barat – Indonesia

Telepon : (021) 786 3510, Fax : (021) 787 2350

---

### ABSTRAK

Bijih besi nikel laterit merupakan batuan mineral dengan kandungan 10-40%Fe; 0,8-3,5%Ni; dan 1-2%Cr, yang merupakan bahan baku untuk pembuatan *Nickel Pig Iron* (NPI) yang selanjutnya dapat diolah menjadi besi-baja paduan mengandung Ni dan Cr. Dalam penelitian ini telah dilakukan pembuatan NPI menggunakan teknologi berinvestasi rendah, yaitu *hot blast cupola furnace* (tungku kupola udara panas) dengan kapasitas 3 ton NPI/hari. Proses aglomerasi bijih nikel laterit menjadi *pellet* komposit ( $\varnothing$ 10-20 mm) terlebih dahulu dilakukan sebelum dilebur ke dalam *hot blast cupola furnace*. Komposisi (dalam %berat) *pellet* komposit adalah 85,5% bijih nikel laterit; 12,5% batubara; dan 2% bentonit. Dalam proses peleburan ditambahkan kokas (sebagai bahan bakar dan reduktor) dan batu kapur (sebagai *flux*) ke dalam tungku tersebut. Rasio penggunaan kokas terhadap *pellet* komposit adalah 0,4. Penambahan batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) dilakukan untuk memperoleh kondisi basisitas slag 1,0. Aditif berupa  $\text{MnO}_2$  (39% Mn) juga ditambahkan ke dalam *hot blast cupola furnace*. Pada proses peleburan, kondisi temperatur udara panas (*hot blast*) adalah 250-300 °C. Dari hasil penelitian diperoleh NPI dengan kandungan 5-8% Ni. Penambahan aditif  $\text{MnO}_2$  sebanyak 1% mampu menekan laju reduksi senyawa besi oksida sehingga mampu meningkatkan kandungan Ni dalam NPI.

Kata kunci: bijih nikel laterit, NPI, *hot blast cupola furnace*, kokas, batu kapur.

### ABSTRACT

*Nickel laterite ore containing 10-40%Fe; 0.8-3.5% Ni; and 1-2%Cr was commonly used as a raw material for Nickel Pig Iron (NPI) making process which can be processed further for steel alloy containing Ni and Cr. In this present work, the NPI making process was conducted by using low investment technology, that was a hot blast cupola furnace with the capacity 3 ton/day of NPI. The agglomeration of nickel laterite ore was conducted prior to smelting process in a hot blast cupola furnace. The composition of pellet composite (in %wt) was 85.5% of nickel laterite ore, 12.5% of coal, and 2% of bentonite. In this smelting process, coke (as a fuel and reductor) and limestone (as a flux) were added together with pellet composite into a hot blast cupola furnace. The coke to pellet composite ratio was 0.4. The limestone was added to obtain the slag basicity of 1.0. The additive of  $\text{MnO}_2$  (containing 39%wt Mn) was also added into the hot blast cupola furnace. The temperature of the hot blast in this smelting process was 250-300°C. From the result, NPI having 5-8% Ni was obtained. The addition of  $\text{MnO}_2$  as much as 1% could suppress the reduction of iron oxide thus it could increase the Ni content in NPI.*

Keywords: *nickel laterite ore, NPI, hot blast cupola furnace, coke, limestone.*

## PENDAHULUAN

Bijih nikel laterit (10-40% Fe; 0,8-3,5% Ni, dan 1-2% Cr) ditemukan pada tempat yang relatif dangkal yaitu sekitar 15-20 meter di bawah permukaan tanah. Sekitar 70%-80% nikel yang ada di alam berada dalam bentuk senyawa laterit yang tersebar di daerah tropis dan subtropis, seperti Indonesia, New Caledonia, Australia, Kuba dan Philipina (Elias, 2002). Cadangan bijih nikel laterit di Indonesia diperkirakan mencapai 1.391 milyar ton atau sebesar 16% dari cadangan bijih nikel laterit di dunia (Nurhakim *dkk.*, 2011), atau menempati urutan kedelapan terbesar di dunia.

Bijih nikel laterit menjadi salah satu bahan baku alternatif dalam proses pembuatan besi dan baja (Sufriadin, Widodo dan Biatong, 2013). Penelitian mengenai pengolahan bijih nikel laterit menjadi logam besi mengandung nikel atau *Nickel Pig Iron* (NPI) telah dilakukan (Prasetyo dan Prasetyo, 2011; Solihin, 2015). China telah menggunakan NPI, sebagai bahan baku *stainless steel* (8 Ni-16 Cr). Selain sebagai bahan baku untuk pembuatan *stainless steel* (18Cr-8Ni), NPI dengan kandungan kurang dari 5% Ni dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan baja dengan karakteristik yang spesifik. Nikel sebanyak 2-3% dalam material baja berperan sebagai unsur paduan utama untuk menghasilkan sifat-sifat unggul, seperti; kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan korosi atau cuaca, dan sifat mampu las yang baik, bahkan mampu memberikan sifat kriogenik, yaitu ketahanan untuk menghadapi temperatur sangat rendah.

Proses pengolahan bijih nikel laterit dengan kandungan lebih dari 1,5% Ni diolah menggunakan proses *pyrometallurgy*, sedangkan bijih nikel dengan kandungan kurang dari 1,5% Ni perlu dilakukan proses benefisiasi terlebih dahulu sebelum diolah lebih lanjut (Zhu *dkk.*, 2012). Beberapa jenis tungku peleburan yang umumnya digunakan untuk proses peleburan bijih nikel laterit menjadi NPI, diantaranya adalah *Blast Furnace* (BF), *Submerged Arc Furnace* (SAF), dan *Rotary Kiln Electric Arc Furnace* (RKEF) (Rao *dkk.*, 2013). *Blast furnace* merupakan salah satu tungku peleburan yang banyak digunakan untuk melebur bijih nikel laterit menjadi NPI (von Kruger *dkk.*, 2010), dengan

volume 80-220 m<sup>3</sup>. Bahan baku yang dimasukkan ke dalam *blast furnace* berupa bijih nikel laterit (setelah melalui proses *sintering*), kokas, dan batu kapur. Kokas berperan sebagai bahan bakar dan material reduktor, sedangkan batu kapur berperan sebagai material *flux*. *Blast furnace* merupakan sebuah teknologi yang “*well-proven*”, namun tungku peleburan tersebut membutuhkan investasi yang sangat besar (Chukwuleke *dkk.*, 2009). Beberapa teknologi alternatif dengan investasi yang cukup rendah untuk mengolah bijih nikel laterit menjadi NPI telah dikembangkan, diantaranya adalah dengan menggunakan *induction furnace* (Yildirim *dkk.*, 2013), serta *hot blast cupola furnace* (Shofi *dkk.*, 2013).

Dalam penelitian sebelumnya (Shofi, Nurjaman dan Sumardi, 2014) telah dilakukan proses pembuatan NPI (6,873% Ni) menggunakan *hot blast cupola furnace* kapasitas 1 ton NPI/hari, rasio penggunaan kokas terhadap *pellet* komposit bijih nikel laterit sebesar 0,6. Dalam penelitian ini telah dilakukan proses pembuatan NPI menggunakan *hot blast cupola furnace* dengan kapasitas yang lebih besar dari penelitian sebelumnya, yaitu 3 ton NPI/hari dengan rasio penggunaan kokas terhadap *pellet* komposit sebesar 0,4. Penambahan mangan dioksida (MnO<sub>2</sub>) sebagai aditif serta kajian tekno ekonomi terhadap proses peleburan bijih nikel laterit menjadi NPI dibahas dalam penelitian ini.

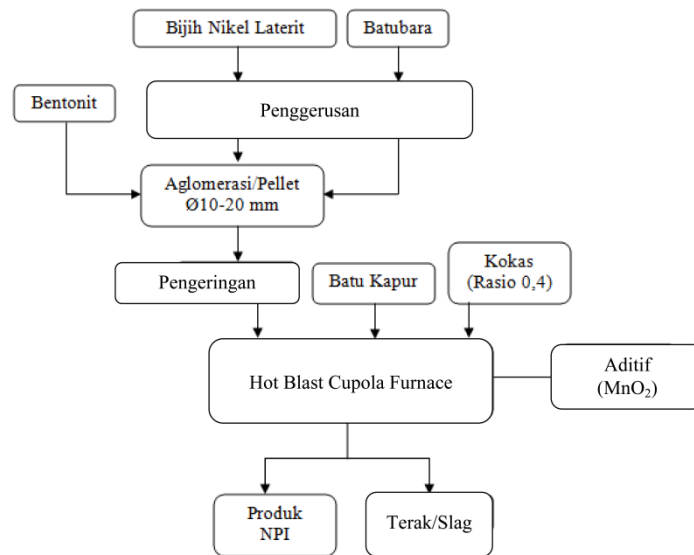
## METODE

Peleburan bijih nikel laterit menjadi NPI dilakukan menggunakan *hot blast cupola furnace*, dengan kapasitas 3 ton NPI/hari. Udara pembakaran dalam tungku tersebut terlebih dahulu dipanaskan sebelum didistribusikan ke dalam ruang pembakaran dengan memanfaatkan panas gas buang.

Proses perpindahan panas antara gas buang dengan udara pembakaran dilakukan dengan menggunakan *metal recuperator* (*heat exchanger*) yang dipasang pada bagian atas tungku kupola tersebut. *Hot blast cupola furnace* dalam percobaan ini telah didaftarkan patennya dengan No. P00201508520 (Nurjaman *dkk.*, 2015).



Gambar1. Peningkatan nilai tambah bijih nikel laterit menjadi produk akhir



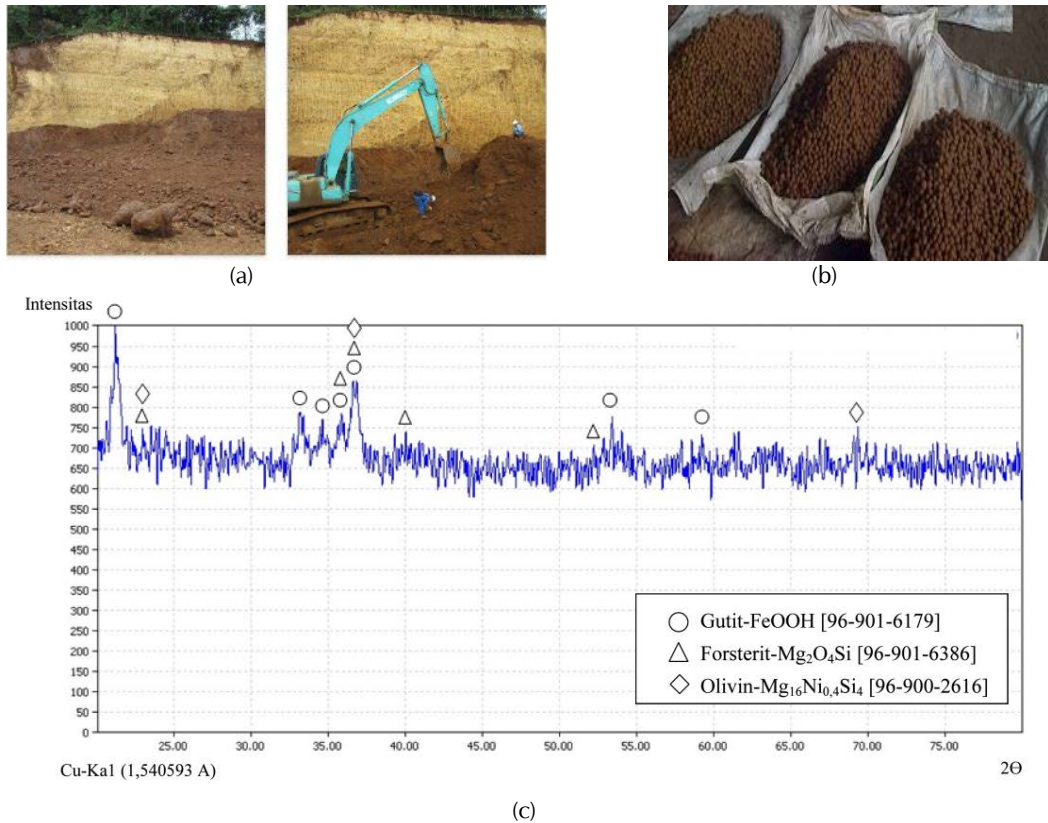
Gambar 2. Diagram alir proses peleburan bijih nikel laterit menjadi NPI

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Sebelum dilakukan proses peleburan, terlebih dahulu dilakukan proses preparasi terhadap bijih nikel laterit. Proses penggerusan terhadap bijih nikel laterit dilakukan dengan menggunakan *ball mill* hingga berukuran 60-100 *mesh*. Selanjutnya bijih nikel laterit tersebut dicampur merata dengan batubara (sebagai material reduktor)

dan bentonit (sebagai *binder/perekat*). Komposisi (persentase berat) dari ketiga material tersebut adalah 85,5% bijih nikel laterit; 12,5% batubara; dan 2% bentonit. Proses aglomerasi *pellet* dilakukan terhadap campuran ketiga material tersebut menjadi *pellet* komposit berukuran Ø10-20 mm, seperti tampak pada Gambar 3b, dengan menggunakan mesin *pelletizer*.

Tabel 1. Hasil analisis komposisi unsur dan senyawa bijih nikel laterit lokal

Unsur/Senyawa	Fe	Ni	Cr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO
Kadar (% berat)	27,55	1,834	1,18	2,74	25,84	11,1	1,64



Gambar 3. (a) Bijih nikel laterit asal Torobulu, Sulawesi Tenggara; (b) *pellet* bijih nikel laterit; (c) hasil analisis XRD bijih nikel laterit.

Proses pengeringan dilakukan terhadap *pellet* komposit sebelum dimasukkan ke dalam tungku. Selanjutnya *pellet* komposit, bersama dengan batu kapur (sebagai *flux*) dan kokas (sebagai bahan bakar) dilebur dalam *hot blast cupola furnace*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi dan Preparasi Bahan Baku Bijih Nikel Laterit

Dalam percobaan ini terlebih dahulu dilakukan karakterisasi terhadap bijih nikel laterit lokal asal Sulawesi Tenggara sebagai bahan baku untuk pembuatan NPI, meliputi analisis komposisi unsur dan senyawa yang terkandung dalam bijih nikel laterit tersebut. Dari hasil analisis komposisi menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) dan XRF (*X-Ray Fluorescence*), pada Tabel 1, tampak bahwa bijih nikel laterit termasuk ke dalam jenis limonit dengan kandungan 1,834% Ni dan 27,55% Fe, dengan senyawa pengotor

(*impurities*) berupa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Dari hasil analisis XRD (*X-Ray Diffraction*), seperti ditunjukkan pada Gambar 3c, terlihat bahwa unsur dan senyawa tersebut di atas membentuk senyawa kompleks dalam bijih nikel laterit berupa senyawa gutit ( $\text{FeOOH}$ ), olivin ( $\text{MgNiOSi}$ ) dan forsterit ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ).

### Uji Coba Peleburan Bijih Nikel Laterit Menjadi *Nickel Pig Iron* (NPI)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bijih nikel laterit diaglomerasi menjadi bentuk *pellet* komposit, seperti tampak pada Gambar 3b. Proses pembentukan *pellet* (berukuran  $\text{Ø}10\text{-}20$  mm) ditujukan untuk menghindari terjadinya *pressure drop* yang terlalu tinggi akibat tumpukan umpan/bahan baku, sehingga aliran udara pembakaran dapat mengalir secara sempurna dalam *hot blast cupola furnace*. Penambahan batubara ke dalam *pellet* komposit sebanyak 12,5% ditujukan sebagai material reduktor untuk mereduksi senyawa oksida logam dalam bijih nikel laterit tersebut (Shofi dkk., 2013).

Dalam penelitian ini, dilakukan 2 (dua) kali uji coba peleburan. Pada uji coba ke-1 dipelajari proses peleburan bijih nikel laterit menggunakan bahan bakar kokas dengan rasio kokas terhadap *pellet* komposit sebesar 0,4. Sedangkan pada uji coba ke-2, dipelajari pengaruh penambahan aditif, yaitu berupa  $MnO_2$ , yang bersumber dari bijih mangan, terhadap proses peleburan bijih nikel laterit menggunakan *hot blast cupola furnace*.

- Uji coba ke-1: rasio kokas 0,4 tanpa penambahan aditif

Pada uji coba ke-1, sebanyak 1400 Kg *pellet* komposit bijih nikel laterit dilebur menjadi NPI. Tabel 2 menyajikan komposisi bahan baku peleburan bijih nikel laterit dalam *hot blast cupola furnace*, dan Tabel 3 menampilkan temperatur *hot blast* (udara panas) saat proses uji coba ke-1 berlangsung.

Tabel 2. Komposisi bahan baku uji coba ke-1

No. Umpan	Jam (WIB)	Scrap	Kokas	Kapur	Pellet	Keterangan
		Pemanasaan awal (kayu bakar)				
1	8.36					
2	8.45	-	250	-	-	
3	10.54	100	20	8	-	
4	11.58	100	20	8	-	
5	12.00	100	20	8	-	
6	12.01	80	25	8	20	
7	12.03	80	25	8	20	
8	12.05	60	30	15	40	
9	12.07	60	30	15	40	
10	12.12	40	40	23	60	
11	12.32	40	40	23	60	Slag hole dibuka ( <i>deslagging-1</i> )
12	12.36	20	50	30	80	
13	12.47	20	50	30	80	Tap hole dibuka ( <i>tapping-1</i> )
14	12.52	-	50	38	100	
15	13.05	-	50	38	100	
16	13.09	-	50	38	100	
17	13.15	-	50	38	100	
18	13.25	-	40	38	100	
19	13.34	-	40	38	100	
20	13.45	-	40	38	100	
21	14.13	-	40	38	100	Slag hole dibuka ( <i>deslagging-2</i> )
22	14.18	-	40	38	100	
23	14.25	-	40	38	100	
24	15.24					Tap hole dibuka ( <i>tapping-2</i> )
Total		664	1040	556	1400	

Tabel 3. Kinerja *hot blast* uji coba ke-1

Jam (tiap 30 menit)	Temperatur <i>hot blast</i> (°C)
09.03	30
10.48	160
10.54	210
11.48	250
12.08	200
12.32	180
13.01	190
13.31	150
14.00	220
14.18	150
15.07	175

Seperti yang tampak pada Tabel 2, bahan baku *scrap*/besi (dengan kandungan 0,5-0,7% Ni) juga diumpankan ke dalam *hot blast cupola furnace* secara bertahap, dengan rasio yang semakin berkurang terhadap *pellet* komposit bijih nikel laterit. Penggunaan *scrap* tersebut ditujukan untuk memperoleh kondisi kesetimbangan panas dalam tungku *hot blast cupola furnace*, sehingga pada akhirnya dimungkinkan untuk melebur umpan 100% *pellet* komposit bijih nikel laterit dalam *hot blast cupola furnace*. Kokas, berperan sebagai bahan bakar dan reduktor, dengan rasio kokas terhadap *pellet* komposit pada awal pengumpanan (*charging*) sebesar 0,5 yang kemudian diturunkan menjadi 0,4 pada pengumpanan ke-18, seperti tampak pada Tabel 2. Penurunan rasio kokas, dari 0,5 menjadi 0,4 dalam uji coba ke-1 ditujukan untuk optimalisasi biaya konsumsi bahan bakar. Tampak pada Tabel 3, bahwa temperatur *hot blast* pada uji coba ke-1 adalah sebesar 150-250°C. Temperatur *hot blast* cenderung menurun ketika dilakukan penurunan rasio kokas terhadap *pellet* komposit. Namun dari hasil uji coba ke-1, penggunaan kokas dengan rasio 0,4 (setelah pengumpanan ke-18) tidak menghambat proses peleburan yang sedang berlangsung.

Batu kapur, berfungsi sebagai pengikat kotoran/*slag* yang dihasilkan dari proses peleburan. Penambahan jumlah batu kapur akan memengaruhi viskositas dan temperatur titik lebur (*melting point*) dari *slag* tersebut. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Li dkk. (2013) nilai basisitas *slag* optimum pada proses peleburan bijih nikel laterit adalah sebesar 1,0 dan nilai basisitas dinyatakan oleh persamaan (1). Oleh karena itu, dalam uji coba ke-1 ini sejumlah batu kapur (dengan kandungan 42% CaO) ditambahkan untuk memperoleh nilai basisitas *slag* sebesar 1,0.

$$B = \frac{CaO + MgO}{Al_2O_3 + SiO_2} \dots\dots\dots(1)$$

Keempat umpan tersebut (*scrap*, kokas, *pellet* komposit bijih nikel laterit, dan batu kapur) dilebur dalam *hot blast cupola furnace* hingga mencair. Proses pengeluaran logam cair/*tapping*, melalui *tap hole* (Gambar 4a) dilakukan setelah *slag* dikeluarkan/*deslagging* terlebih dahulu, melalui *slag hole* dari *hot blast cupola furnace* (Gambar 4b).



(a)



(b)

Gambar 4. Uji coba *hot blast cupola furnace*; (a) proses penuangan logam cair (*tapping*), (b) foto pengeluaran *slag* (*deslagging*)

Dari hasil uji coba ke-1, proses penuangan logam cair (*tapping*) dan *slag* (*deslagging*) dilakukan sebanyak dua kali. Waktu “*tap to tap*” dalam percobaan ini adalah 2,5-3 jam. Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan komposisi dan jumlah logam dan *slag* pada tiap *tapping* dan *deslagging*. Adapun Gambar 5 menunjukkan hasil produk NPI *tapping-2*. Dari hasil uji coba ini diperoleh NPI dengan kandungan 5,3% seperti tampak pada Tabel 4.



Gambar 5. NPI (5.3%Ni) *tapping-2* pada uji coba ke-1 (5.3%Ni).

Tabel 4. Komposisi produk *tapping* 1 dan 2 pada uji coba ke-1

Tapping Ke-	Unsur						Jumlah (Kg)
	C	Ni	Cr	Mn	Si	Fe	
1	3,08	1,857	0,1	0,286	0,744	94,2	512
2	2,14	5,3	1,34	0,423	0,075	88	298

Tabel 5. Komposisi produk *deslagging* 1 dan 2 pada uji coba ke-1

Deslagging Ke-	Unsur/Senyawa (%)				Jumlah (Kg)
	Ni	Cr	MnO	Fe	
1	0,014	1,027	1,29	7,607	233
2	0,035	1,619	0,035	8,585	660

Dari hasil analisis *slag* pada Tabel 5, terdapat kandungan Fe sebesar 7-8%, dan hanya sedikit sekali kandungan Ni dalam *slag*. Hal tersebut dikarenakan temperatur reduksi Fe, yaitu 1200-1300°C, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur reduksi Ni, yaitu 600-700 °C. Dengan demikian, *hot blast cupola furnace* dalam percobaan ini (dengan temperatur *hot blast* 150-250 °C) mampu mereduksi seluruh kandungan nikel oksida, namun sebaliknya tungku tersebut hanya mampu mereduksi 71,5% besi oksida yang terdapat dalam bijih nikel laterit.

- Uji coba ke-2: rasio kokas 0,4 dengan penambahan aditif MnO<sub>2</sub>

Pada uji coba ke-2, proses peleburan bijih nikel laterit menggunakan *hot blast cupola furnace* dilakukan dengan menambahkan material aditif, yaitu MnO<sub>2</sub> yang berasal dari bijih mangan lokal (dengan kandungan 39,5% Mn) sebanyak 1% dari total *pellet* komposit yang diumpangkan ke dalam *hot blast cupola furnace*. Beberapa parameter yang digunakan dalam uji coba ke-2 menggunakan parameter yang sama telah digunakan pada uji coba ke-1, diantaranya adalah: (1) jumlah rasio kokas terhadap *pellet* komposit sebesar 0,4, dan (2) nilai basisitas sebesar 1,0.

Tabel 6 dan 7, menunjukkan komposisi bahan baku dan temperatur *hot blast* selama proses uji coba ke-2 berlangsung.

Sama seperti pada uji coba ke-1, *pellet* komposit diumpangkan secara bertahap ke

dalam tungku *hot blast cupola* bersama dengan *scrap* besi (mengandung 0,5-0,7% Ni) hingga umpan ke-13. Sebanyak 1800 Kg *pellet* komposit, 700 Kg kokas, 695 Kg batu kapur, dan 18 Kg bijih mangan dilebur dalam uji coba ke-2. Tampak pada Tabel 7, temperatur *hot blast* dalam proses peleburan adalah sebesar 140-330 °C. Jumlah umpan (*pellet* komposit dan kokas) yang lebih banyak dibandingkan uji coba ke-1 mempengaruhi temperatur pembakaran dalam tungku *hot blast cupola*, sehingga meningkatkan temperatur *hot blast*.

Dari hasil uji coba ke-2, diperoleh NPI dengan kandungan 8,66% Ni pada *tapping-2*, seperti tampak pada Tabel 8. Logam NPI yang dihasilkan *tapping-2* diperoleh dari pengumpanan 100% *pellet* komposit (tanpa campuran *scrap*). Dari Tabel 9, tampak bahwa *slag* pada *deslagging-2* mengandung Fe yang cukup besar jika dibandingkan uji coba ke-1, yaitu 16,99% Fe. Hal tersebut disebabkan oleh keberadaan aditif berupa MnO<sub>2</sub> yang berperan untuk menekan laju reduksi dari besi oksida yang terkandung dalam bijih nikel laterit.

Dengan semakin tingginya kandungan Fe dalam *slag*, maka akan meningkatkan konsentrasi nikel dalam logam NPI. Sebaliknya, penambahan aditif tidak mempengaruhi laju reduksi dari nikel oksida dalam bijih nikel laterit yang ditunjukkan dengan rendahnya kandungan nikel dalam *slag*.

Tabel 6. Komposisi bahan baku uji coba ke-2

No. Umpan	Jam (WIB)	Scrap Kokas Kapur Pellet				Bijih Mangan	Keterangan
		(Kg)					
1	9.00	Pemanasaan awal (kayu bakar)					
2	9.30	-	250	-	-	-	Umpan kokas-bed
3	10.25	100	20	8	-	-	
4	10.30	100	20	8	-	-	
5	10.33	100	20	8	-	-	
6	10.34	80	25	8	20	0,2	
7	10.38	80	25	8	20	0,2	
8	10.44	60	30	15	40	0,4	
9	10.48	60	30	15	40	0,4	
10	10.53	40	40	23	60	0,6	
11	10.55	40	40	23	60	0,6	
12	11.00	20	40	30	80	0,8	
13	110.4	20	40	30	80	0,8	
14	11.07	-	40	38	100	1	
15	11.30						Slag hole dibuka (deslagging-1)
16	11.36	-	40	37	100	1	
17	11.38	-	40	37	100	1	
18	11.47						Tap hole dibuka (tapping-1)
19	11.55	-	40	37	100	1	
20	11.59	-	40	37	100	1	
21	12.36	-	40	37	100	1	
22	12.59	-	40	37	100	1	
23	13.25						Slag hole dibuka (deslagging-2)
24	13.35	-	40	37	100	1	
25	13.55	-	40	37	100	1	
26	14.22	-	40	37	100	1	
27	14.24	-	40	37	100	1	
28	14.45	-	40	37	100	1	
29	14.50	-	40	37	100	1	
30	15.15	-	40	37	100	1	
31	15.25						Tap hole dibuka (tapping-2)
Total		700	1140	695	1800	18	



(a)



(b)

Gambar 6. Uji coba hot blast cupola furnace; (a) proses penuangan logam cair (tapping), (b) foto pengeluaran slag (deslagging)

Tabel 7. Kinerja hot blast pada uji coba ke-2

Jam (tiap 30 menit)	Temperatur hot blast (°C)
09.00	30
09.36	30
10.03	100
10.46	130
10.52	145
11.09	14
11.30	110
11.59	100
12.36	200
12.59	280
13.30	300
14.00	330
14.30	300
15.00	310



Tabel 8. Komposisi produk *tapping*-1 dan 2 pada uji coba ke-2

Tapping Ke-	Unsur						Jumlah (Kg)
	C	Ni	Cr	Mn	Si	Fe	
1	2,57	2,3	0,35	0,179	0,27	93,4	792
2	0,5	8,44	0,07	0,01	0,03	90,4	172

Tabel 9. Komposisi produk *deslagging*-1 dan 2 pada uji coba ke-2

Deslagging Ke-	Unsur/Senyawa (%)				Jumlah (Kg)
	Ni	Cr	MnO	Fe	
1	0,026	1,502	1,842	6,7	755
2	0,028	1,31	1,038	16,99	454

Ketentuan yang berlaku di pasar China terkait NPI, harga NPI hanya dihitung dari kandungan nikel, sedangkan kandungan besi hanya dinilai sebagai “bonus” yang tidak diperhitungkan. Karena itu, penambahan aditif untuk menekan laju reduksi besi oksida dalam bijih nikel laterit merupakan salah satu metode “easy” dan “low cost” untuk meningkatkan kandungan Ni dalam NPI.

#### Analisis Mass Balance

Tabel 10 dan 11 merupakan hasil perhitungan analisis *mass balance* untuk uji coba peleburan ke-1 dan uji coba peleburan ke-2. Dari analisis *mass balance* tersebut tampak bahwa uji coba peleburan ke-2 memberikan *losses* Ni yang jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan uji coba peleburan ke-1. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan mangan dioksida dalam proses peleburan bijih nikel laterit selain mampu menghasilkan NPI dengan kandungan Ni yang lebih tinggi juga mampu menekan *losses* Ni dalam proses peleburan.

Tabel 10. Analisis *mass balance* uji coba peleburan ke-1

Material Input	Jumlah (Kg)	% Ni	Total Ni (Kg)
Pellet Komposit (85,5% bijih nikel laterit)	1400	1,834	21,95
Scrap/besi	664	0,7	4,65
Total Ni input (Kg)			26,60
Material Output	Jumlah (Kg)	% Ni	Total Ni (Kg)
NPI ( <i>tapping</i> -1)	512	1,857	9,51
NPI ( <i>tapping</i> -2)	298	5,3	15,79
Slag ( <i>deslagging</i> -1)	233	0,014	0,03
Slag ( <i>deslagging</i> -2)	660	0,035	0,23
Total Ni output (Kg)			25,57
<i>Losses</i> (Total Ni input-Total Ni output) = 1,03 Kg			

#### Analisis Tekno Ekonomi

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2017 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri menyatakan bahwa persyaratan minimal kandungan Ni dalam NPI untuk diekspor ke luar negeri adalah 4%. Oleh karena itu NPI pada *tapping* ke-2 dari kedua uji coba peleburan tersebut diatas telah memenuhi persyaratan minimal tersebut.

Dari hasil analisis tekno ekonomi pada Tabel 12, bahwa dari hasil uji coba ke-1, produk NPI yang dihasilkan memiliki kandungan 5,3% Ni, memiliki nilai ekonomis yang tidak menguntungkan. Sedangkan pada uji coba ke-2, terdapat margin/keuntungan produksi, yang diakibatkan oleh tingginya kandungan Ni dalam NPI, yaitu 8,33%. Namun demikian, masih rendahnya nilai ekonomis dari uji coba kedua tersebut disebabkan oleh masih tingginya konsumsi bahan bakar (rasio 0,4), yaitu sebesar 76% dari total biaya produksi.

Tabel 11. Analisis *mass balance* uji coba peleburan ke-2

<i>Material Input</i>	Jumlah (Kg)	% Ni	Total Ni (Kg)
<i>Pellet</i> Komposit (85,5% bijih nikel laterit)	1800	1,834	28,23
<i>Scrap</i> /besi	700	0,7	4,90
Total Ni <i>input</i> (Kg)			33,13
<i>Material Output</i>	Jumlah (Kg)	% Ni	Total Ni (Kg)
NPI ( <i>tapping</i> -1)	792	2,3	18,22
NPI ( <i>tapping</i> -2)	172	8,44	14,52
Slag ( <i>deslagging</i> -1)	755	0,026	0,20
Slag ( <i>deslagging</i> -2)	454	0,028	0,13
Total Ni <i>output</i> (Kg)			33,06
<i>Losses</i> (Total Ni <i>input</i> -Total Ni <i>output</i> ) = 0,07 Kg			

Tabel 12. Analisis tekno ekonomi proses pengolahan bijih nikel laterit

(a) Uji coba ke-1

Bahan Baku	Volume (Kg)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
Bijih nikel	100	270	27.000
kokas	40	2.900	116.000
kapur	38	250	9.500
Biaya bahan baku tiap umpan			152.500
Rasio NPI : bijih nikel			7,5
NPI per-umpan			13,33
Harga NPI (5,3% Ni) * (Rp)			7.600
Total perolehan NPI (Rp)			101.333
Margin (Laba/Rugi) (Rp.)			(51.167)
Nilai ekonomis/Kg produk (Rp.)			(3.838)

(b) Uji coba ke-2

Bahan Baku	Volume (Kg)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
Bijih Nikel	100	270	27.000
kokas	40	2.900	116.000
kapur	37	250	9.250
Aditif	1	500	500
Biaya bahan baku tiap umpan			152.750
Rasio NPI : bijih nikel			7,5
NPI per-umpan			13,33
Harga NPI (5,3% Ni) * (Rp)			12.050
Total perolehan NPI (Rp)			160.627
Margin (Laba/Rugi) (Rp.)			7.877
Nilai ekonomis/Kg produk (Rp.)			591

\* London Metal Exchange (LME) USD 10.600/ton nikel

Kajian terkait optimalisasi proses peleburan bijih nikel laterit khususnya terkait efisiensi konsumsi bahan bakar (kokas) masih perlu terus dilakukan, salah satunya dengan cara meningkatkan temperatur *hot blast* sebelum masuk ke dalam ruang bakar.

## KESIMPULAN

*Nickel Pig Iron* (NPI) dengan kandungan 5-8% Ni dapat diperoleh dengan cara melebur *pellet* komposit bijih nikel laterit (27,55 Fe - 1,834 Ni) menggunakan *hot blast cupola furnace*. Beberapa parameter dalam proses peleburan bijih nikel tersebut adalah: (1) rasio konsumsi kokas terhadap *pellet* komposit sebesar 0,4 dan (2) basisitas *slag* sebesar 1,0. Penggunaan aditif MnO<sub>2</sub> sebanyak 1% dalam proses

peleburan *pellet* komposit bijih nikel laterit mampu menghambat laju reduksi besi oksida dalam *pellet* komposit sehingga dapat meningkatkan kandungan nikel dalam NPI.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kemenristekdikti melalui program Insinas Riset Pratama Kemitraan dengan Nomor Kontrak: 04/INS-2/PPK/E/E4/2017 serta Pusat Penelitian Fisika-LIPI melalui Program Kegiatan Unggulan-LIPI, Pengembangan Material dan Rekayasa Manufaktur Tahun Anggaran 2015 (No. 934/F/2014) dan PT. Integra Mining Nusantara yang telah berkontribusi dalam pengadaan bijih nikel laterit asal Torobulu, Sulawesi Tenggara.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chukwuleke, O. P., CAI, J., Chukwujekwu, S. and XIAO, S. (2009) "Shift From Coke to Coal Using Direct Reduction Method and Challenges," *Journal of Iron and Steel Research, International*, 16(2), pp. 1–5. doi: 10.1016/S1006-706X(09)60018-2.
- Elias, M. (2002) "Nickel laterite deposits-geological overview, resources and exploitation," in *3rd, Giant Ore Deposit Workshop*. Hobart: CODES Special Publication 4, pp. 205–220. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/281422746\\_Nickel\\_laterite\\_deposits\\_-\\_geological\\_overview\\_resources\\_and\\_exploitation](https://www.researchgate.net/publication/281422746_Nickel_laterite_deposits_-_geological_overview_resources_and_exploitation).
- von Kruger, P., Silva, C. A., Vieira, C. B., Araujo, F. G. S. and Seshadri, V. (2010) "Relevant aspects related to production of iron nickel alloys (pig iron containing nickel) in mini blast furnaces," in *Proceedings of Iacon XII - The Twelfth International Ferroalloys Congress*. Helsinki, Finland, pp. 671–680. Available at: <http://www.pyrometallurgy.co.za/InfaconXII/671-VonKruger.pdf>.
- Li, G., Zhi, Q., Rao, M., Zhang, Y., Cai, W. and Jiang, T. (2013) "Effect of basicity on sintering behavior of saprolitic nickel laterite in air," *Powder Technology*, 249, pp. 212–219. doi: 10.1016/j.powtec.2013.08.018.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (2017) *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2017 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral melalui Kegiatan pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri*.
- Nurhakim, Dwiatmoko, M. U., Romla, N. H. and Adip, M. (2011) "Identifikasi potensi endapan bijih besi laterit di bagian tengah Pulau Sebuku, Provinsi Kalimantan Selatan," *Info-Teknik*, 12(2), pp. 48–53. Available at: <http://ppjp.unlam.ac.id/journal/index.php/info-teknik/article/view/1806>.
- Nurjaman, F., Shofi, A., Bahfie, F., Suharno, B. and Perbawadi, L. (2015) "Metode dan alat untuk membuat nickel pig iron." Indonesia. Available at: <http://lipi.go.id/publikasi/metode-dan-alat-untuk-membuat-nickel-pig-iron/11948>.
- Prasetyo, A. B. and Prasetyo, P. (2011) "Peningkatan kadar nikel (Ni) dan besi (Fe) dari bijih nikel laterit kadar rendah jenis saprolit untuk bahan baku nickel containing pig iron (NCPI/NPI)," *Metalurgi (Majalah Ilmu dan Teknologi)*, 26(3), pp. 123–130. doi: 10.14203/mtl.v26i3.17.
- Rao, M., Li, G., Jiang, T., Luo, J., Zhang, Y. and Fan, X. (2013) "Carbothermic reduction of nickeliferous laterite ores for nickel pig iron production in china: A Review," *JOM*, 65(11), pp. 1573–1583. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11837-013-0760-7>.
- Shofi, A., Nurjaman, F., Astuti, W., Mufakhir, F. R. and Handoko, A. S. (2013) "Pembuatan NPI (nickel pig iron) dari bijih nikel laterit (saprolit) menggunakan tungku hot blast cupola," in *Prosiding Seminar Nasional Insentif SINas Ristek*, pp. 176–183.
- Shofi, A., Nurjaman, F. and Sumardi, S. (2014) "Optimasi pembuatan NPI (nickel pig iron) dari bijih nikel limonit menggunakan hot blast cupola furnace," in *Prosiding Seminar Nasional Insentif SINas Ristek*, pp. 105–110.
- Solihin, S. (2015) "Synthesis of nickel containing pig iron (NCPI) by using limonite type ore from South East Sulawesi," *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 25(1), pp. 31–36. doi: 10.14203/risetgeotam2015.v25.183.
- Sufriadin, Widodo, S. and Biatong, R. (2013) "Karakterisasi mineralogi bijih besi laterit dan potensinya sebagai bahan baku industri besi baja di indonesia," in *Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik*. Universitas Hasanuddin, pp. 1–4.
- Yildirim, H., Morcali, H., Turan, A. and Yucel, O. (2013) "Nickel pig iron production from lateritic nickel ores," in *Proceedings of Infacon XIII - The thirteenth International Ferroalloys Congress*. P. Dipner, pp. 237–244. Available at: <http://www.pyrometallurgy.co.za/InfaconXIII/0237-Yildirim.pdf>.
- Zhu, D. Q., Cui, Y., Vining, K., Hapugoda, S., Douglas, J., Pan, J. and Zheng, G. L. (2012) "Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation," *International Journal of Mineral Processing*, 106–109, pp. 1–7. doi: 10.1016/j.minpro.2012.01.003.

