

PEMBUATAN SPIEGEL PIG IRON MENGGUNAKAN *HOT BLAST CUPOLA*

Manufacturing Spiegel Pig Iron Using Hot Blast Cupola

Fajar Nurjaman¹, Achmad Shofi¹, Fathan Bahfie¹, Bambang Suharno²

¹UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI

²Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

ABSTRAK *Spiegel pig iron* merupakan besi kasar (*pig iron*) mengandung 10-20% Mangan (Mn), yang dapat diperoleh dengan cara melebur bahan baku, berupa bijih mangan, reduktor dan flux. *Spiegel pig iron* dapat digunakan sebagai bahan paduan pada material baja, seperti *plain steel carbon*, *low alloy steel*, dan *manganese steel*. Dalam penelitian ini akan dipelajari proses pembuatan *spiegel pig iron* menggunakan tungku *hot blast cupola*. *Spiegel pig iron* terbuat dari pellet komposit, yang terdiri dari; bijih mangan kadar rendah (85,5%), batubara (12,5%) dan bentonit (2%). Pelet komposit tersebut dilebur ke dalam *hot blast cupola* dengan menggunakan bahan bakar berupa kokas. Batu kapur (CaCO_3) juga ditambahkan ke dalam tungku tersebut sebagai flux (material pembentuk slag). Serangkaian pengujian dilakukan terhadap produk logam *spiegel pig iron* dan slag yang dihasilkan, meliputi uji komposisi (menggunakan *Optical Electron Spectroscopy/OES* dan *Emission Dispersive X-Ray/EDAX*) serta analisis struktur mikro (menggunakan mikroskop optik). Dari hasil penelitian ini diperoleh material *spiegel pig iron* dengan komposisi sebagai berikut: 3,67 C - 1,92 Si - 21,26 Mn. Struktur mikro terdiri dari karbida $(\text{Fe,Mn})_3\text{C}$ dalam matriks pearlit. Slag memiliki komposisi 20,1 Mn

- 1,73 Fe - 52,19 SiO_2 - 8 CaO, dengan nilai basicitas 0,2. Struktur mikro slag berbentuk batang (*rod*) memanjang.

Kata kunci: *Spiegel pig iron*, bijih mangan, *hot blast cupola*, pelet komposit, kokas.

ABSTRACT *Spiegel pig iron* is a pig iron containing 10-20% Manganese (Mn). It is produced by smelting some raw materials, such as manganese ore, reductor, and flux. This material can be used as alloying element in some type of steels, such as plain steel carbon, low alloy steel, and manganese steel. The investigation of *Spiegel pig iron* making process in hot blast cupola has been conducted in this research. The *spiegel pig iron* was made from pellets composite, consists of low grade manganese ore (85.5% wt); coal (12.5% wt); and bentonite (2% wt). The pellets composite were smelted with cokes, as a fuel in hot blast cupola. Limestone (CaCO_3), as a flux (slag forming material), was also charged. Some of testing method was conducted to *spiegel pig iron* and slag, which includes; composition analysis (by using *Optical Electron Spectroscopy/OES* and *Emission Dispersive X-Ray/EDAX*); and micro structure analysis (by using optical microscopy). The *spiegel pig iron* containing 3.67 C - 1.92 Si - 21.26 Mn was resulted in this experiment. Its microstructure consists of carbide $(\text{Fe,Mn})_3\text{C}$ inside pearlite matriks. The slag, containing 20.1 Mn - 1.73 Fe - 52.19 SiO_2 - 8 CaO, had basicity 0.2. Its microstructure was in the form of a rod lamellae.

Keywords: *Spiegel pig iron*, manganese ore, *hot blast cupola*, cokes.

Naskah masuk : 06 Februari 2015
Naskah direvisi : 03 Maret 2015
Naskah diterima : 04 Juni 2015

Fajar Nurjaman
UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI
Jalan Ir. Sutami Km. 15, Tanjung Bintang
Lampung Selatan
E-mail : fajar.nurjaman@lipi.go.id

PENDAHULUAN

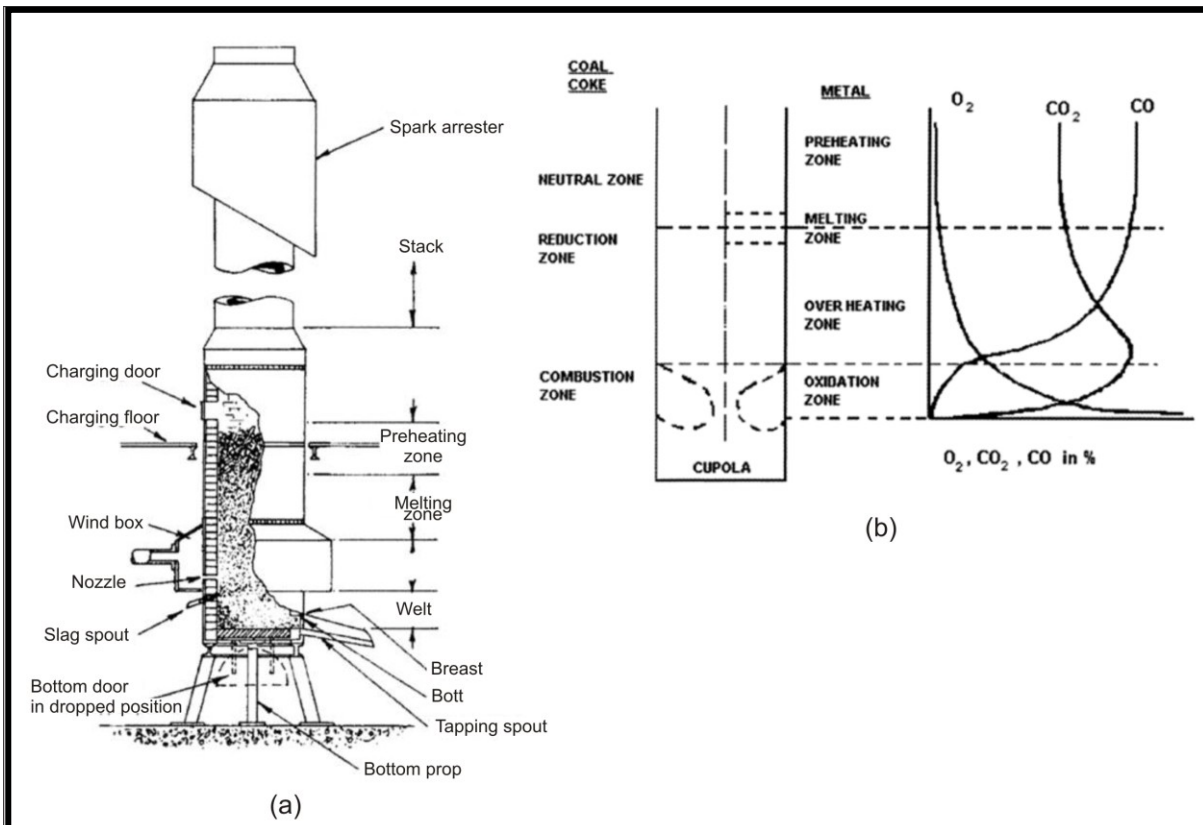
Unsur mangan (Mn) dalam material baja memiliki peranan yang sangat penting. Penambahan kurang dari 1% Mn pada logam baja dilakukan untuk mencegah terjadinya pembentukan besi sulfida (FeS) yang dapat menyebabkan kerapuhan pada material tersebut, selain itu unsur mangan juga berperan untuk mengurangi tingkat kelarutan oksigen dalam baja cair. Kandungan 8-10% Mn pada material baja dapat meningkatkan nilai ketangguhan (*toughness*) (Pribulova *et al.*, 2001), sedangkan untuk kandungan 10-12% Mn dapat meningkatkan ketahanan aus serta dapat ditingkatkan nilai kekerasannya melalui *cold work hardening* (Zhao *et al.*, 1994).

Saat ini, penambahan unsur mangan ke dalam material baja umumnya dilakukan dengan menambahkan logam paduan berupa *high carbon ferromangan/HCFMn* (10,6 Kg *ferromangan*/ton baja kasar) dengan kandungan 65-82% Mn (ASTM, 2014). *Ferromangan* (FeMn) terbuat dari bijih mangan kadar tinggi (lebih dari 40% Mn), yang umumnya dibuat dengan

menggunakan tungku *electric arc furnace* (Kleinschmidt *et al.*, 2010) Ketersediaan bijih mangan kadar tinggi yang sangat terbatas, menjadi permasalahan dalam pembuatan *ferromangan*.

Spiegel pig iron merupakan *pig iron* (besi kasar) yang mengandung 10-20% Mangan (Mn). Material logam tersebut dapat diperoleh dengan cara melebur bahan baku berupa bijih mangan, reduktor dan *flux* secara bersamaan dalam sebuah tungku peleburan. Saat ini pemanfaatan bijih mangan kadar rendah (<40% Mn) sebagai bahan baku untuk pembuatan *spiegel pig iron* belum banyak dilakukan. Dalam penelitian ini akan dipelajari proses pembuatan *spiegel pig iron* yang terbuat dari bijih mangan kadar rendah menggunakan tungku *hot blast cupola*.

Hot blast cupola merupakan tungku kupola (Gambar 1a) yang dimodifikasi, dimana udara pembakaran sebelumnya dipanaskan terlebih dahulu (hingga mencapai 500-700 °C) sebelum masuk ke dalam tungku tersebut. Penggunaan *hot blast* pada tungku kupola, selain mampu menurunkan konsumsi kokas, juga mampu



Gambar 1. (a) Tungku kupola konvensional, (b) pengaruh penggunaan *hot blast* pada tungku kupola terkait pembentukan zona reduksi pada tungku kupola (Luis *et al.*, 2001).

meningkatkan zona reduksi (Gambar 1b) (Luis *et al.*, 2001). Pada tungku kupola konvensional (Gambar 1a) tidak terdapat zona reduksi. Oleh karena itu umumnya tungku kupola hanya mampu digunakan untuk melebur *scrap*/besi tua (proses *melting*), tidak dapat digunakan untuk melebur batuan mineral (proses *smelting*). Terbentuknya zona reduksi pada tungku *hot blast cupola* diakibatkan oleh tingginya temperatur pembakaran yang menyebabkan tingginya kandungan CO dalam tungku tersebut.

Zona reduksi merupakan area yang sangat penting bagi peleburan bijih mangan menjadi *spiegel pig iron* maupun *ferromangan*, dimana senyawa mangan dioksida-MnO₂ serta besi oksida-Fe₂O₃ (yang juga terkandung dalam bijih mangan) akan melalui tahapan proses reduksi sampai akhirnya menjadi logam paduan besi-mangan. Unsur karbon (C) memegang peranan penting dalam proses reduksi bijih mangan, dimana karbon berfungsi sebagai salah satu bahan baku penghasil gas CO yang akan mereduksi senyawa logam (Fe dan Mn) oksida dalam bijih mangan tersebut.

METODE

Teknologi pengolahan bijih mineral tambang melalui metode pellet komposit telah banyak dilakukan (Shofi *et al.*, 2014; Suharto *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2011) dimana komposisi pellet komposit terdiri dari bijih mineral dan reduktor (material karbon). Dalam penelitian ini, *spiegel pig iron* terbuat dari bijih mangan kadar rendah dengan komposisi 29,66 Mn - 15,47 Fe - 23,17 SiO₂ - 17,64 CaO. Jenis material reduktor yang digunakan adalah batubara, dengan parameter seperti tampak pada Tabel 1.

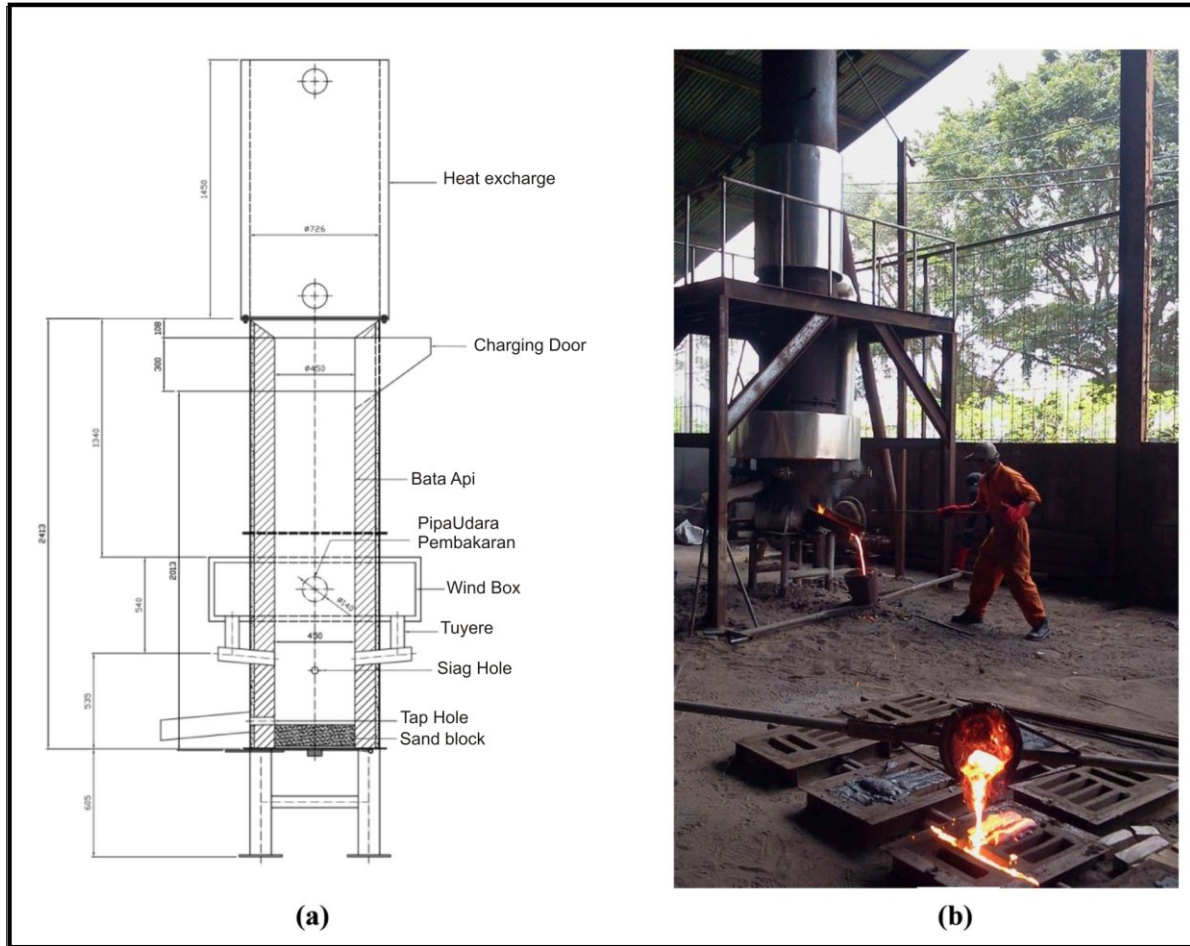
Proses pembuatan pellet komposit dilakukan dengan menggerus bijih mangan dan reduktor hingga berukuran mesh 100, yang kemudian dicampur secara merata bersama dengan bentonit (*binder*) dalam sebuah mesin pengaduk (*mixer*). Selanjutnya campuran tersebut dimasukkan ke dalam mesin *pelletizer* hingga diperoleh pellet berukuran Ø10-20 mm. Komposisi (berat) dari pellet komposit tersebut adalah; bijih mangan kadar rendah (85,5% berat), batubara (12,5% berat) dan bentonit (2% berat). Pellet komposit tersebut kemudian dikeringkan dalam udara terbuka (kadar air 6-8% berat) sebelum dilebur dalam *hot blast cupola*.

Tabel 1. Komposisi kokas dan batubara

Parameter	Nilai (%)	
	Batubara	Kokas
Moisture Total	8,93	1,91
Volatile Matter	23,35	2,06
Ash	26,62	11,89
Fixed Carbon	49,95	84,69
Kalori	-	7816 kl/g

Proses peleburan pellet komposit (bijih mangan kadar rendah) dilakukan dalam *Hot Blast Cupola Furnace* (Gambar 2) dengan volume tungku 0,38 m³. Tungku tersebut terdiri dari beberapa bagian diantaranya *tap hole*, *slag hole*, *tuyere*, *wind box*, *charging door*, dan *heat exchanger*. Udara pembakaran terlebih dahulu masuk ke dalam *heat exchanger*. Temperatur udara pembakaran setelah keluar dari *heat exchanger* mencapai 400°C. Selanjutnya udara pembakaran tersebut masuk ke dalam tungku kupola melalui *tuyere*.

Dalam percobaan ini, proses peleburan pellet komposit dalam tungku *hot blast cupola* berlangsung selama 10 jam. Pellet komposit bersama dengan kokas (Tabel 1) dan batu kapur (CaCO₃) dengan kadar 73,72%, dimasukkan ke dalam tungku tersebut. Pada proses awal peleburan, *scrap* besi dimasukkan ke dalam tungku kupola tersebut, dimana hal ini ditujukan untuk meningkatkan temperatur ruang bakar tungku kupola tersebut. Sebanyak 24 kali pengumpanan dan 4 kali proses *tapping* dilakukan. Pengumpanan *scrap* besi dilakukan hingga umpan ke-15, dimana pengurangan umpan *scrap* dilakukan secara bertahap. Sebaliknya, dilakukan penambahan umpan pellet komposit secara bertahap tiap pengumpanan (*charge*). Hingga akhirnya pada umpan ke-16, hanya umpan pellet komposit yang masuk ke dalam tungku tersebut. Bahan bakar (kokas) dan *flux* (batu kapur), dimasukkan secara bersamaan dengan *scrap* besi dan pellet komposit ke dalam *hot blast cupola*. Komposisi umpan pellet komposit, kokas, dan kapur dalam percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 3. Umpan kokas ke dalam *hot blast cupola* semakin bertambah dengan semakin banyaknya umpan pellet komposit, sedangkan umpan kapur relatif tetap. Sebanyak 20 Kg kokas dan 5 Kg kapur diumpankan ke dalam *hot blast cupola* untuk melebur 50 Kg pellet komposit (umpan ke-16 hingga ke-24).



Gambar 2. Hot blast cupola dalam penelitian ini: (a) Bagian-bagian pada hot blast cupola furnace; (b) peleburan bijih mangan kadar rendah menjadi spiegel pig iron menggunakan hot blast cupola furnace.

Seperti tampak pada Tabel 2, dari hasil peleburan tersebut diperoleh logam cair sebanyak 368,4 Kg dan slag sebanyak 388 Kg, keduanya diperoleh dengan mengumpulkan scrap besi sebanyak 330 Kg dan pellet komposit sebanyak 750 Kg. Slag memiliki densitas yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan logam cair, karena itu cairan slag selalu menempati posisi di atas logam cair, sehingga pemisahan slag (*deslagging*) dengan logam cair dilakukan dengan membuka lubang slag hole yang terletak di atas lubang tap

hole. Pada proses *deslagging-1* diperoleh slag sebanyak 69 Kg. Slag tersebut diprediksi berasal dari scrap besi (mengandung kotoran) yang diumpankan ke dalam hot blast cupola (umpan 1-8). Sedangkan pada *deslagging-2*, dihasilkan sebanyak 161 Kg slag. Hampir dipastikan bahwa slag yang diperoleh berasal dari umpan pellet komposit, hal tersebut tampak secara visual dari warna slag tersebut, yaitu hijau kebiruan, yang merupakan warna khas dari senyawa MnO.

Tabel 2. Mass balance uji coba peleburan bijih mangan menggunakan hot blast cupola furnace.

Bahan Baku	Logam (Kg)	Slag (Kg)	Losses
Scrap besi (450 Kg)	299,4	69	0,181333
Pellet Komposit (750 Kg)	69	319	0,482667
Total	368,4	388	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Tabel 2, tampak bahwa *losses* bijih mangan/pellet komposit sangat tinggi, yaitu sebesar 48,27%. Nilai tersebut sangat jauh lebih besar jika dibandingkan dengan pembuatan *ferromangan* dari bijih mangan kadar tinggi menggunakan *electric arc furnace*, dimana *losses* bijih mangan hanya sebesar 7% (Gasik, et.al.,

2009). Demikian pula, dengan rasio perbandingan antara produk logam (*Spiegel Pig Iron*)/pellet komposit (bijih mangan) yaitu 1:11, dimana nilai tersebut juga jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan pembuatan *ferromangan* menggunakan *electric arc furnace*, yaitu 1:3. (Lagendijk et al., 2010)

Tabel 3. Data percobaan peleburan bijih mangan kadar rendah dalam *hot blast cupola*

Charge	Scrap	Kokas	Kapur	Pellet Mangan	Jam	Hot Blast (oC)	Logam	Slag
(Satuan: Kg)								
Perheating (Kayu Bakar)					08.54			
Kokas Bed	-	100	-	-	09.03			
Blowing In					09.53			
Measuring Hot Blast Temp					09.55	50		
Measuring Hot Blast Temp					10.19	75		
Tap hole dibuka (Cleaning wood ash)					10.23			
Measuring Hot Blast Temp					10.28	95		
Measuring Hot Blast Temp					10.32	115		
1	50	10	2	-				
2	50	10	2	-				
3	50	10	2	-	10.37			
Measuring Hot Blast Temp					10.43	160		
Measuring Hot Blast Temp					11.01	220		
Measuring Hot Blast Temp					11.26	295		
Measuring Hot Blast Temp					11.29	400		
TAPPING 1					11.31		56,6	
Lubang tapping ditutup					11.34			
4	40	12,5	5	10				
5	40	12,5	5	10				
6	40	12,5	5	10	11.36			
DESLAGGING 1, tapping slag (warna hijau lumut)					12.09			69
7	30	15	5	10	12.12			
8	30	15	5	10				
TAPPING 2					12.53		168,4	
9	30	15	5	20	13.09			
10	20	15	5	30	13.35			
DESLAGGING 2, tapping slag (warna hijau kebiruan)					13.49			161
11	20	15	5	30				
12	20	15	5	30	14.04			
13	10	20	5	40				
14	10	20	5	40				
15	10	20	5	40	14.42			
16	0	20	5	50				
17	0	20	5	50				
18	0	20	5	50	15.06			
19	0	20	5	50	15.53			
TAPPING 3					16.15		126,8	
20	0	20	5	50	16.35			
DESLAGGING 3, tapping slag (warna hijau kebiruan)					18.04			158
21	0	20	5	50				
22	0	20	5	50				
23	0	20	5	50	18.30			
24	0	20	5	50				
TAPPING 4					19.30		16,6	
TOTAL	450	330	111	750			368,4	388

Tingginya *losses* pengolahan bijih mangan disebabkan oleh karakteristik mangan yang mudah menguap pada saat proses peleburan menjadi logam paduan mangan dimana pada logam paduan mangan mengandung 4% C, penguapan terjadi pada tekanan 1,5-2 Kpa, dan temperatur 1500 °C (Vorob'ev dan Ignat'ev, 2009) Sedangkan, rendahnya rasio logam (*spiegel pig iron*)/pellet komposit (bijih mangan) dalam penelitian ini disebabkan oleh rendahnya kandungan mangan dalam bijih mangan yang digunakan.

Pengumpanan (*charging*) *scrap* dan pellet komposit (bijih mangan) secara bertahap, menyebabkan perolehan kandungan mangan dalam logam mengalami peningkatan secara bertahap, seperti tampak pada Tabel 4. Perolehan kandungan mangan tertinggi dalam logam diperoleh melalui umpan 100% pellet komposit (tanpa umpan *scrap*) ke dalam *hot blast cupola*, yaitu sebesar 21,26% Mn. Analisis terhadap komposisi *slag* dilakukan untuk mengetahui unsur yang terkandung di dalamnya, serta untuk mengetahui nilai basisitas dari *slag* tersebut. Tampak pada Tabel 5, bahwa unsur mangan juga terkandung dalam *slag*, berbentuk senyawa mangan oksida (MnO). Kandungan unsur mangan meningkat (pada tiap proses *deslagging*)

seiring dengan meningkatnya jumlah umpan pellet yang dimasukkan ke dalam *hot blast cupola furnace*, dimana kandungan unsur mangan tertinggi dalam *slag* adalah sebesar 20,1% Mn (*Deslagging* 4).

Nilai Basisitas (B) dalam proses peleburan bijih mangan menjadi logam paduan mangan ditentukan oleh volume berat dari beberapa senyawa oksida non logam yang terkandung dalam *slag*. Menurut Mulko *et al.* (2000) dan Supriyatna *et al.* (2014), nilai basisitas ditentukan oleh persamaan (1).

$$\text{Basisitas (B)} = (\text{CaO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2, \dots\dots\dots (1)$$

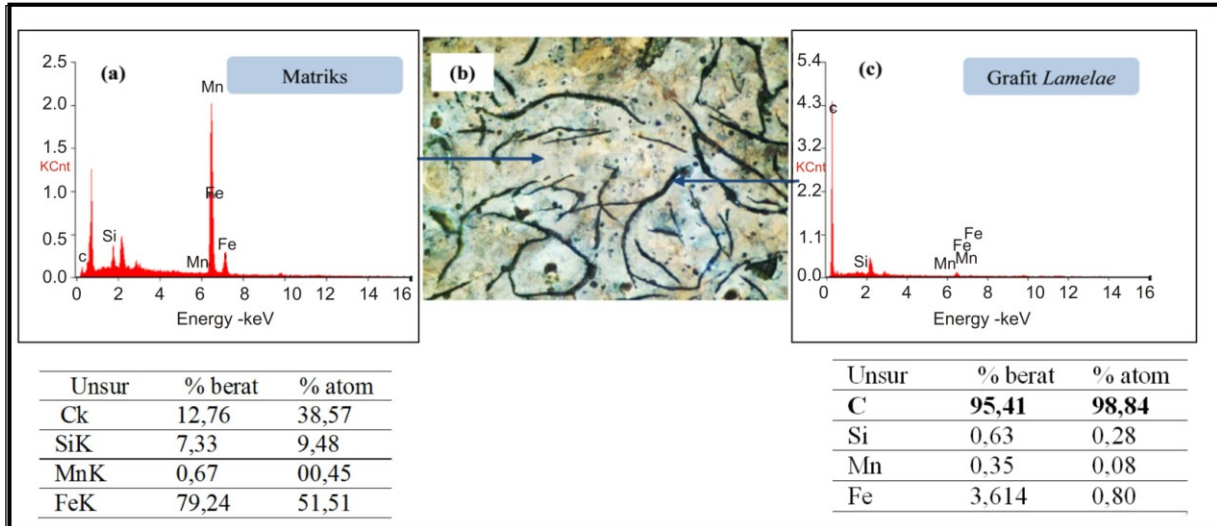
Dari Tabel 5 (*Deslagging* 4), dengan menggunakan persamaan (1), diperoleh nilai basisitas sebesar 0,213. Rendahnya nilai basisitas tersebut menjadi salah satu penyebab rendahnya kandungan mangan pada logam paduan mangan/*Spiegel pig iron* yang diperoleh dalam percobaan ini. Nilai basisitas (B) optimum dalam proses peleburan bijih mangan menjadi logam paduan mangan adalah sebesar 1,1-1,3, dimana pada nilai basisitas tersebut akan terjadi proses difusi unsur mangan kedalam logam secara optimal (Legendijk *et al.*, 2010 dan Cardakli *et al.*, 2010).

Tabel 4. Hasil analisa komposisi logam pada *Tapping* 1-4

Unsur	C	Si	Mn	Fe	P	S
<i>Tapping</i>						
	Kadar (% wt)					
1	4,14	1,98	1,65	91,5	0,186	0,162
2	4,1	1,95	1,37	91,7	0,197	0,135
3	4,35	2,34	3,98	87,8	0,271	0,031
4	3,67	1,92	21,26	70	-	-

Tabel 5. Hasil analisa komposisi *slag* pada *Deslaging* 1-4

Unsur/Senyawa	SiO2	CaO	MgO	Fe	Mn
<i>Deslaging</i>					
	Kadar (% wt)				
1	61,35	8,93	7,22	4,91	0,86
2	46,62	5,35	6,3	1,59	7,927
3	51,85	4,29	3,7	1,28	19,851
4	52,19	8	3,16	1,73	20,1



Gambar 3. Logam *Tapping-1*. Analisis EDAX ; (a) matriks; (b) fotoStruktur mikro dan (c) Grafik Lamelae

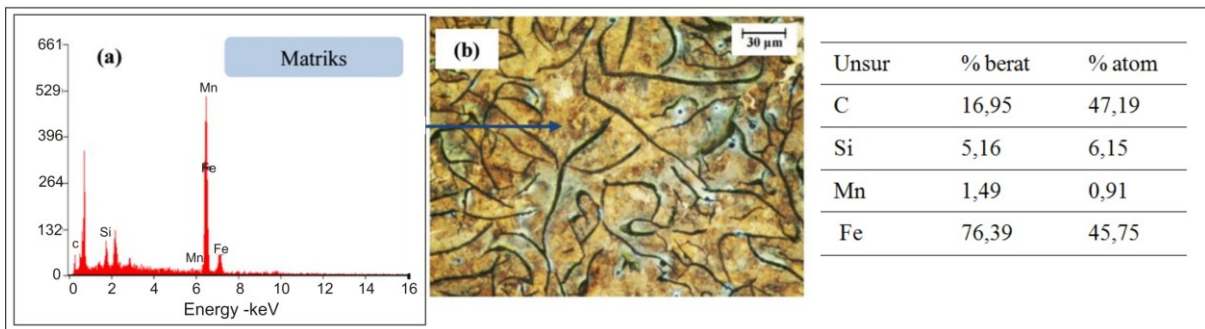
Gambar 3 menunjukkan foto struktur mikro beserta analisis EDAX dari logam yang dihasilkan pada proses peleburan bijih mangan menggunakan *hot blast cupola* untuk *Tapping-1*.

Dari Gambar 3b, tampak bahwa struktur mikro terdiri dari grafit berbentuk *lamellae* dalam matriks ferrit. Dari hasil analisis EDAX (Gambar 3a), diperoleh bahwa dalam matriks ferrit tidak terdapat unsur mangan, hal tersebut material logam yang dihasilkan pada *Tapping-1* berasal dari umpan No. 1-3 (Tabel 3), dimana hanya *scrap* tanpa pelet komposit yang diumpangkan ke dalam *hot blast cupola*. Analisis EDAX juga dilakukan terhadap grafit *lamellae* (Gambar 3c), dimana unsur utama yang terkandung dalam grafit adalah karbon, tanpa unsur mangan.

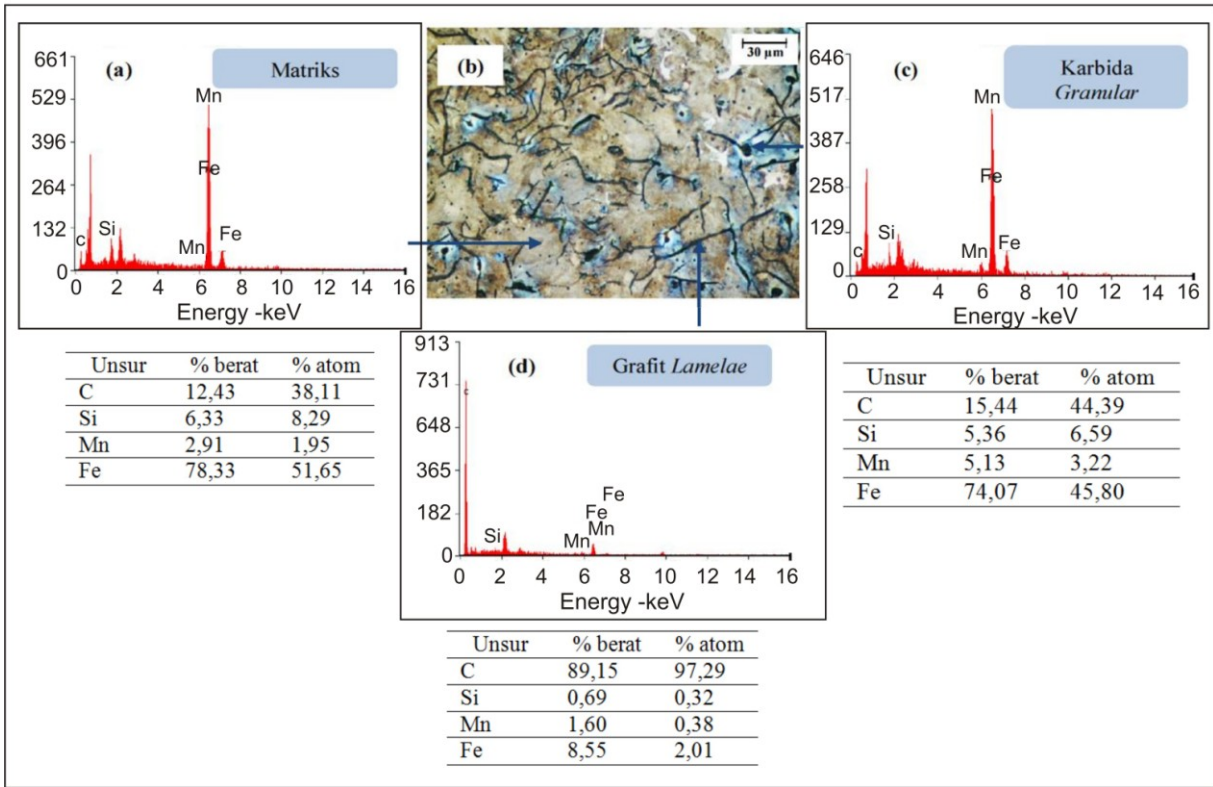
Gambar 4 dan 5 menunjukkan foto struktur mikro dan hasil analisis EDAX dari logam yang diperoleh pada *Tapping-2* dan *Tapping-3*. Sama seperti halnya pada logam hasil *Tapping-1*,

dimana logam hasil *Tapping-2* dan *Tapping-3* memiliki struktur mikro yang terdiri dari matriks ferrit dan grafit *lamellae* (Gambar 4b dan 5b). Namun seiring dengan penambahan umpan pellet komposit ke dalam *hot blast cupola*, tampak bahwa terdapat kandungan unsur Mn dalam matriks ferrit, masing-masing sebesar 1,49% dan 2,9% (Gambar 4a dan 5a). Pada logam hasil *Tapping 3*, keberadaan 3,9% Mn dalam logam (besi), mampu menghasilkan struktur karbida berbentuk bulat/*granular*, seperti ditunjukkan oleh hasil EDAX pada Gambar 5c.

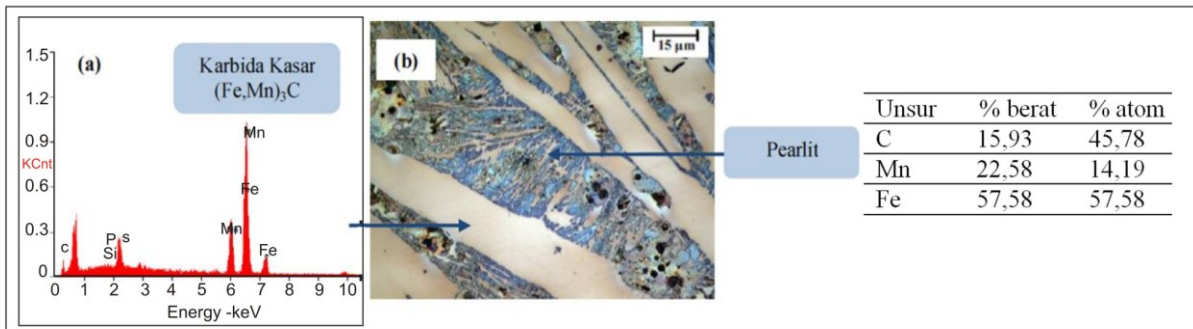
Kandungan unsur mangan dalam matriks meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah/berat pellet komposit yang diumpangkan ke dalam *hot blast cupola*. Dari hasil analisis EDAX terhadap grafit *lamellae* dari kedua logam tersebut, tampak bahwa kandungan unsur mangan (% berat) dalam grafit lebih sedikit dibandingkan dengan kandungan mangan dalam matriks.



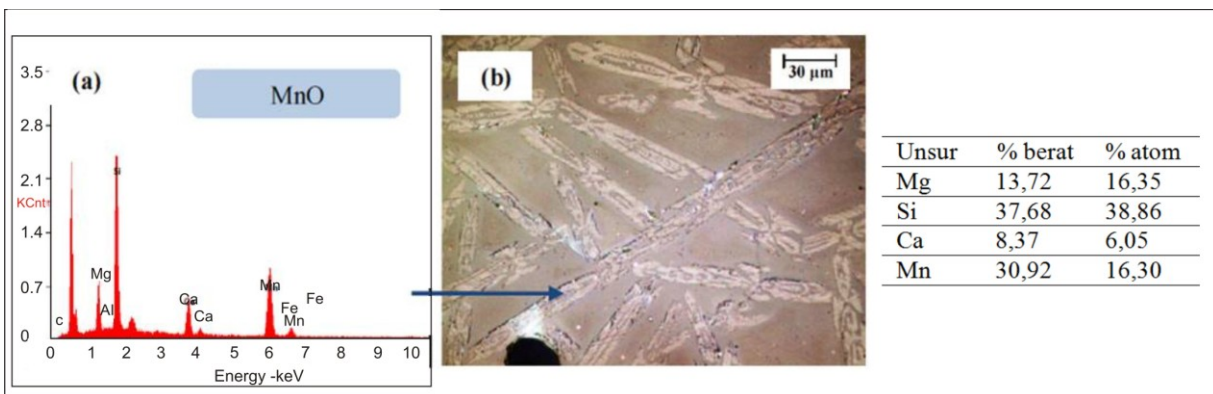
Gambar 4. Logam *Tapping-2*; (a) analisis EDAX: matriks; (b) foto struktur mikro



Gambar 5. Logam *Tapping-3*; (a) Analisis EDAX: matriks, (b) Foto struktur mikro (c) *Granular carbide* dan (d) *grafit lamellae*



Gambar 6. Logam *Tapping-4* (*spiegel pig iron*); (a) Analisis EDAX: karbida kasar (*coarse carbide*), (b) foto struktur mikro.



Gambar 7. Slag dari proses *Deslagging-4*: (a) Analisis EDAX, (b) foto struktur mikro

Pada *Tapping-4*, diperoleh logam *spiegel pig iron*, dengan kandungan 21,26% Mn. Struktur mikro didominasi oleh karbida mangan $(Fe,Mn)_3C$ diantara matriks pearlit (Gambar 6). Keberadaan karbida mangan dalam *Tapping-4* tersebut diperkuat oleh hasil analisis EDAX. Tingginya kandungan mangan menyebabkan bentuk karbida menjadi besar/kasar (*coarse carbide*). Hasil analisis struktur mikro dan EDAX dari proses peleburan pellet komposit menjadi logam *spiegel pig iron* ditunjukkan oleh Gambar 7. Pada umumnya *slag* tersusun dari beberapa senyawa oksida. Dari hasil analisis EDAX, tampak bahwa unsur penyusun terdiri dari Mg, Si, Ca, dan Mn. Dari hasil struktur mikro tampak bahwa *slag* (MnO) memiliki struktur batang (*rod*) memanjang.

KESIMPULAN

Spiegel Pig Iron, dengan kandungan 21,26 Mn - 70 Fe - 1,92 Si - 3,67 C, diperoleh dengan cara melebur pellet komposit dalam *hot blast cupola* dengan menggunakan bahan bakar kokas. Komposisi pellet komposit terdiri dari: 85,5% berat-bijih mangan kadar rendah (29,66 Mn - 15,47 Fe - 23,17 SiO₂ - 17,64 CaO); 12,5% berat-batubara; dan 2% berat-bentonit. *Spiegel pig iron* dalam percobaan ini memiliki struktur mikro yang terdiri dari karbida $(Fe,Mn)_3C$ diantara matriks pearlit, sedangkan struktur mikro slag terdiri dari MnO dengan bentuk batang (*rod*) memanjang..

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bp. Jani Purba selaku Direktur PT. Garama Indonesia atas dukungan dana yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

Cardakli, I. S., Sevinc, N., Ozturk, T., 2010. Production of High Carbon Ferromanganese from a Manganese Ore Located in Erzincan. Turkish J. Eng. Env. Sci., 35, 31-38.

Gasik, M. I., Gladkikh, V.A., Zhdanov, A. V., Zhuchkov, V. I., Zayakin, O. V., Leont'ev, L.I., and Ovcharuk, A. N. 2009. Calculation of The Value of manganese

Ore Raw Materials. Russian Metallurgy (Metallurgy), 2009 (8), 756-758.

Kleinschmidt, G., Degel, R., Köneke, M., Oterdoom, H. 2010. AC- and DC-Smelter Technology For Ferrous Metal Production. Proceeding of The Twelfth International Ferroalloys Congress Sustainable Future. June 6-9, 2010. Helsinki-Finland

Legendijk, H., Xakalash, B., Ligege, T., Ntikang, P., and Bisaka, K., 2010. Comparing Manganese Ferroalloy Smelting in Pilot-Scale AC and DC Submerged-Arc Furnaces. The Twelfth International Ferroalloys Congress Sustainable Future. June 6-9, 2010. Helsinki-Finland.

Luis, C. J., Alvarez, L., Ulgade, M. J., Puertas, I., 2001. A Technical Note Cupola Efficiency Improvement by Increasing Blast Temperature. Journal of Materials Processing Technology. 120, 281-289.

Mul'ko, G. N., Bondar', A. A., Zaitsev, V. A., Nitskii, E. A., and Cherkasov, E. G., 2000. Making Ferromanganese in Blast Furnaces. Metallurgist, 44 (1-2), 51-55.

Pribulova, A., Babic, J., Baricova, D.. 2011. Influence of Hadfield's Steel Chemical Composition on Its Mechanical Properties. Chem. Listy., 105, 430-432.

Shofi, A., Nurjaman, F., Sumardi, S. 2014. Proses Pengolahan Bijih Nikel Jenis Limonit Menjadi NPI Dengan Menggunakan Hot Blast Cupola. Prosiding Seminar Material Metalurgi. Oktober, 2, 2014. Banten, Indonesia.

Singh, V., Ghosh, T. K., Ramamurthy, Y., Tathavadkar, V. 2011. Beneficiation and Agglomeration Process to Utilize Low-Grade Ferruginous manganese Ore Fines. International Journal of Mineral Processing, 99, 84-86.

Suharto, Supriyatna, Y. I., Amin, M., Soesaptri dan Lutfi, M., 2014. Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor pada Pembuatan Sponge Iron Menggunakan Teknologi Direct Reduced Iron dalam Rotary Kiln. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, 10 (1), 15 – 21.

Vorob'ev, V. P., Godunov, A. D., and Ignat'ev, A. V. 2009. Production of Manganese Alloys from Rich High Basicity Ore. *Steel in Translation*, 39 (3), 243-245.

Zhao, S. Y., Lin, H. T., Zeng, Y. D., Lu, J. C., Chang, Z. C.. 1994. The Optimal Mating of Balls and Lining Plates in Ball Mills. *Wear*, 178, 79-84.