

## UJI KUALITAS BRIKET KOKAS OMBILIN PADA PROSES PELEBURAN BESI MENGGUNAKAN KUPOLA

**Bambang Suwondo Rahardjo**

Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE)  
Deputi Bidang TIEM-BPPT, Jl. M.H. Thamrin No.8 Jakarta 10340  
Email: bamsr52@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Industri pengecoran besi skala kecil-menengah menggunakan kokas sebagai bahan bakar padat, reduktor serta bahan yang membantu dalam proses pengecoran besi untuk meningkatkan kandungan karbon besi cor. Sebagian besar konsumsi domestik kokas berasal dari impor, sehingga krisis ekonomi yang tak berkesudahan menyebabkan suplai kokas menjadi jarang. Pada akhir tahun 2003 harga kokas meningkat dan mutu berfluktuasi. Briket kokas Ombilin diupayakan sebagai substitusi kokas impor. Proses pengecoran besi menggunakan dapur kupola di Koperasi Industri Pengecoran Logam Batur Jaya Ceper dilakukan. Uji mutu menyatakan rasio kokas produktif 1:14 dinyatakan cukup memuaskan.

**Kata kunci:** Briket kokas Ombilin, Pengecoran besi, Kupola

### ABSTRACT

Small-medium scale iron casting industries use cokes as solid-fuel, reductor as well as material supporting in the iron casting processing to increase the carbon content of cast iron. Mostly the domestic consumption of cokes comes from import, so that the endless economic crisis till year end of 2003 causing supply cokes became rare followed by the price increasing and the quality fluctuation. Ombilin briquetted cokes was strived to be substitution of cokes import through the test of quality of the iron casting process using a cupola kiln at Koperasi Industri Pengecoran Logam Batur Jaya Ceper with productively coke-ratio 1:14 which was assessed well enough.

**Key words:** Ombilin cokes briquette, Iron cast, Cupola

## 1. PENDAHULUAN

Industri pengecoran logam skala kecil-menengah menggunakan kokas sebagai bahan bakar, reduktor sekaligus penyangga beban proses peleburan besi untuk meningkatkan kadar karbon besi tuang.

Sebelum krisis ekonomi, konsumsi kokas nasional sekitar 210.000 ton/tahun, dimana sebagian besar pasokan (91,7%) masih impor yang didatangkan terutama dari Jepang, China dan Taiwan. Konsumsi kokas sektor industri pengecoran logam itu sendiri mencapai 90.000 ton/tahun, sementara di sentra industri pengecoran logam Batur Ceper sebesar 30 ton/hari dengan 350 unit usaha yang memiliki kapasitas terpasang 150.000 ton/tahun besi tuang, sehingga merupakan produsen besi tuang kelabu yang menyumbang >40% produksi nasional.

Sejak krisis ekonomi, total konsumsi kokas impor sebesar 400 ton/bulan [1], yang terdiri dari Industri Kecil Menengah (IKM) pengecoran logam Batur Ceper (50 ton/bulan), IKM

pengecoran logam Pasuruan (20 ton/bulan), IKM pengecoran logam Jakarta - Tangerang - Tegal (250 ton/bulan) dan industri peleburan aluminium, kuningan, industri gula, gelas, elektroda dan  $\text{CaC}_2$  (80 ton/bulan).

Krisis ekonomi yang berkepanjangan, mengakibatkan IKM pengecoran logam Batur Ceper hanya tinggal mengoperasikan 5 unit dapur induksi listrik, 27 unit kupola dan sisanya tukang, yang mengkonsumsi besi scrap 70.000 ton/tahun dan kokas 10.000 ton/tahun (50 ton/bulan) dengan kapasitas terpasang 50.000 ton/tahun besi tuang [2].

Konsumsi kokas domestik Indonesia masih sangat kecil bila dibandingkan dengan negara-negara maju, seperti USA, Jepang dan China. Sebagai contoh, konsumsi kokas domestik Jepang mencapai hingga 26 juta ton/tahun dan China lebih besar lagi yang mencapai sekitar 80~90 juta ton/tahun. Konsumsi kokas di Indonesia yang rendah menunjukkan lemahnya sektor industri logam di dalam negeri, sementara itu kekuatan industri logam suatu negara merupakan cerminan kekuatan ekonomi [3].

IKM pengecoran logam Batur Ceper kini sulit bersaing di pasar karena keterbatasan kualitas dan spesifikasi produk yang dihasilkan, ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satu di antaranya adalah kelangkaan pasokan diikuti oleh kenaikan harga dan fluktuasi kualitas kokas impor, sehingga beberapa IKM pengecoran logam berupaya untuk melakukan impor sendiri namun hanya berlangsung sementara waktu, karena keterbatasan modal yang terdesak oleh kemampuan importir besar. Akhirnya, BPPT dan Departemen Perindustrian Perdagangan RI (IDKM dan ILMEA) bersama Koperasi Industri Batur Jaya Ceper melalui program percepatan melakukan revitalisasi *demo-plant* pembuatan briket kokas dari batubara Ombilin sebagai energi pengganti kokas impor untuk konsumsi bahan bakar IKM pengecoran logam Batur Ceper sekaligus uji kualitas menggunakan kupola di Koperasi Industri Batur Jaya Ceper.

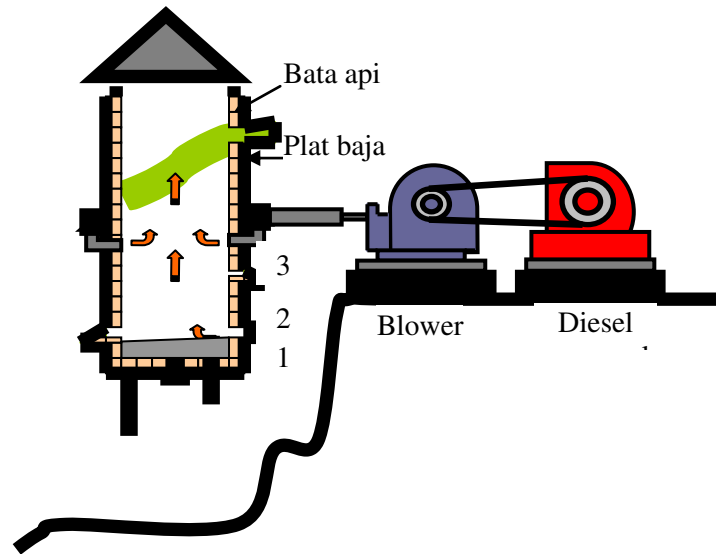
Tujuan penulisan makalah ini adalah melakukan penelitian pengujian briket kokas Ombilin sampai sejauh mana kualitasnya mampu menggantikan kokas impor yang diperlukan dalam proses peleburan besi menggunakan kupola.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Peralatan utama yang sangat dibutuhkan dalam proses peleburan besi adalah kupola yang umum digunakan oleh industri pengecoran logam skala kecil-menengah. Konstruksi kupola cukup sederhana, berbentuk silinder tegak terbuat dari plat baja dilapisi bata api yang banyak digunakan dalam proses peleburan besi secara kontinyu, karena pengoperasian mudah dan pengontrolan komposisi kimia dalam daerah rentang luas. Gambar 1 menunjukkan penampang kupola yang terbagi menjadi 5 zona, yaitu:

- 1) Zona pemanasan awal, dimulai dari pintu pengisian sampai tempat besi mencair.
- 2) Zona peleburan merupakan bagian atas alas kokas dimana besi mencair.

- 3) Zona pemanasan lanjut, dimulai dari bagian bawah zona peleburan sampai rata *tuyere* dimana besi cair selama dipanaskan turun.
- 4) Zona oksidasi, dimulai dari *tuyere* sampai rata-rata tengah alas kokas.
- 5) Zona reduksi merupakan zona bagian atas dari zona oksidasi dimana gas CO<sub>2</sub> yang terjadi di zona oksidasi akan mereduksi kokas.
- 6) Krus adalah bagian dari *tuyere* sampai dasar kupola dimana besi cair dan terak ditampung.



Gbr. 1. Penampang kupola

Proses peleburan besi di dalam kupola terjadi oleh karena panas reaksi eksotermis antara oksigen (udara) yang ditiupkan terhadap kokas (karbon), dimana panas ini yang akan mencairkan besi dan mereduksi oksida besi.



Reaksi eksotermis ini terjadi di daerah *tuyere* yang merupakan daerah suhu tertinggi dalam kupola, bagian atas daerah ini terjadi reaksi reduksi dimana CO<sub>2</sub> yang terjadi di daerah oksidasi sebagian dirubah menjadi CO.



Reaksi endotermis ini dipercepat dengan menurunnya suhu gas. Hasil samping yang berupa terak terdiri dari *flux*, abu kokas dan oksida besi perlu segera dibuang karena sangat reaktif terhadap besi cair yang berpengaruh terhadap fluktuabilitas mutu hasil tuangan [4]. Waktu yang diperlukan mulai dari pemanasan awal sampai keluar terak ± 45 menit. Penaburan abu jerami atau tepung gelas di atas permukaan cairan besi perlu dilakukan untuk mencegah penurunan suhu dan memudahkan pembuangan terak.

Suhu penuangan besi cair ke dalam cetakan sangat mempengaruhi mutu benda tuang yang dihasilkan, jika suhu terlalu rendah akan mempercepat waktu pembekuan besi cair sehingga menimbulkan cacat benda tuang [5].

### 3. METODOLOGI

Penelitian uji kualitas briket kokas Ombilin dilakukan di Koperasi Industri Batur Jaya Ceper.

#### 3.1. Bahan

Semi kokas Ombilin, yang dibuat melalui proses karbonisasi batubara Ombilin pada suhu tinggi ( $>1000^{\circ}\text{C}$ ) menggunakan tungku sarang tawon (*beehive kiln*) hingga kadar zat terbang  $<15\%$  adb [6]. Sebagai bahan perekat (*binder*) digunakan aspal EXXON (aspal KIMPRASWIL), sementara kokas impor Mitsubishi (Jepang) sebagai produk pembanding.

#### 3.2. Peralatan

*Down-draft muffle furnace* seperti ditunjukkan pada Gbr. 2 digunakan untuk pembuatan briket kokas melalui proses karbonisasi suhu  $900^{\circ}\text{C}$  selama 10 jam hingga kadar zat terbang  $<5\%$  adb. Kupola *double-tuyere* sebagai tungku peleburan besi untuk menguji kualitas produk briket kokas Ombilin diperlihatkan seperti pada Gbr. 3.



Gbr. 2. *Down-draft muffle furnace*



**Gbr. 3. Briket kokas Ombilin**

Kowi (*ladel*) yang terbuat dari baja dilapisi bata api bagian sebelah dalam untuk menampung besi cair, dilengkapi dengan transmisi roda gigi agar memudahkan penuangan. *Traveling crane* dipakai mengangkat kowi berisi cairan besi yang akan dituangkan ke dalam cetakan.

Pengukur tekanan udara di dalam kupola yang dihasilkan oleh tiupan udara *blower* dipakai *manometer*, sementara *CE-meter* sebagai pengukur suhu besi cair.

### **3.3. Proses Kerja**

Pengisian bahan bakar dan bahan baku secara selang-seling, dimana jumlah bahan baku berupa besi kasar sekitar 20~30% dari keseluruhan bahan baku logam, dapat juga ditambahkan baja bekas maupun paduan bahan besi (Fe-Si, Fe-Mn) untuk mengatur komposisi dan persentasi karbon dari kokas atau dengan perbandingan besi kasar dan baja bekas [7].

Penyalan tumpukan kokas dasar (*bed coke*) sebanyak 180 kg di dasar kupola *double tuyere* menggunakan kayu bakar selama kurun waktu 15 menit sampai kupola cukup panas dan stabil, sehingga diperkirakan sudah dapat mencairkan besi pada suhu di atas 200°C.

Pengumpanan besi bekas + briket kokas + kokas impor + batu kapur sebagai *flux* untuk mengencerkan terak agar mudah terpisah dari besi cair menurut berat jenisnya dilakukan sesuai aturan baku pengumpanannya, sebagai berikut:

- (a) 100 kg besi bekas+5 kg briket kokas+5 kg kokas impor (4 kali peleburan),
- (b) 120 kg besi bekas+5 kg briket kokas+5 kg kokas impor (13 kali peleburan),
- (c) 130 kg besi bekas+5 kg briket kokas+5 kg kokas impor (6 kali peleburan),
- (d) 150 kg besi bekas+5 kg briket kokas+5 kg kokas impor (27 kali peleburan),
- (e) 150 kg besi bekas+11 kg briket kokas (20 kali peleburan).

Selama proses peleburan berlangsung, pengeluaran besi cair dan terak dilakukan secara kontinyu, sementara harus tetap menjaga kestabilan kondisi suhu, tekanan dan tinggi alas kokas di dalam kupola. Besi cair keluaran pertama kali (*tapping* awal) melalui lubang cerat pada dasar kupola tidak digunakan sebagai tuangan/coran, karena mempunyai perubahan komposisi yang besar. Penaburan abu jerami di atas permukaan cairan besi untuk mencegah penurunan suhu dan memudahkan pembuangan terak [5].

Pengeluaran besi cair dilakukan dalam kurun waktu 15 menit, dan setelah selesai kupola diisi kembali besi, kokas dan kapur secara selang-seling. Pembuangan terak (*fluks*, abu kokas dan oksida besi) yang sangat reaktif berpengaruh terhadap fluktuabilitas mutu hasil tuangan.

Pengukuran suhu penuangan dilakukan sebanyak 3-5 kali dalam jumlah penuangan (20~30 kali) dengan selang waktu 10-20 menit. Pengukuran suhu *pouring* dilakukan bilamana suhu besi cair telah stabil menggunakan *CE-meter* yang sekaligus dapat mengetahui kadar CE (karbon efektif), C (karbon) dan Si (silika) dalam besi tuang serta kecepatan besi cair memadat setelah dituangkan ke cetakan. Penuangan besi cair ke dalam kowi yang kering bilamana basah akan menyebabkan penurunan suhu besi cair dan cacat hasil tuangan (rongga udara, lubang jarum). Pencetakan benda tuang diperlukan *moulding board*, yaitu suatu alas yang rata berisi tebaran pasir kuarsa dan di atasnya ditempatkan model/pola cetakan. Pasir kuarsa berfungsi sebagai *parting powder* agar model mudah dilepas dari pasir cetakan. Di atas model ditaburkan pasir cetak disertai penumbukan hingga penuh dengan jumlah penumbukan disesuaikan agar daya ikatan cukup kuat menahan besi cair yang dituangkan sehingga gas tidak dapat keluar. Suhu penuangan besi cair ke dalam cetakan sangat mempengaruhi kualitas hasil tuangan, jika suhu terlalu rendah akan mempercepat waktu pembekuan besi cair sehingga menimbulkan cacat hasil tuangan.

Penghentian tiupan udara *blower*, karena menjelang akhir pengoperasian tekanan udara *blower* menurun akibat penurunan tinggi alas kokas, sehingga katup udara perlu diturunkan agar volume tiupan udara stabil. Bilamana operasi dilanjutkan sampai besi di dalam kupola mencair akan menyebabkan melekatnya percikan besi cair, erosi bata api dan oksida besi. Oleh karena itu, tiupan udara dihentikan dahulu sementara besi cair dan terak dikeluarkan.

Pengerjaan akhir dilakukan setelah hasil tuangan membeku cukup lama, baik secara mekanis maupun tangan seperti: membongkar rangka cetakan dan pasir yang melekat pada hasil tuangan, memisahkan saluran masuk, saluran turun dan penambah dari hasil tuangan,

kemudian diakhiri dengan memangkas sirip-sirip dan membersihkan permukaan hasil tuangan.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

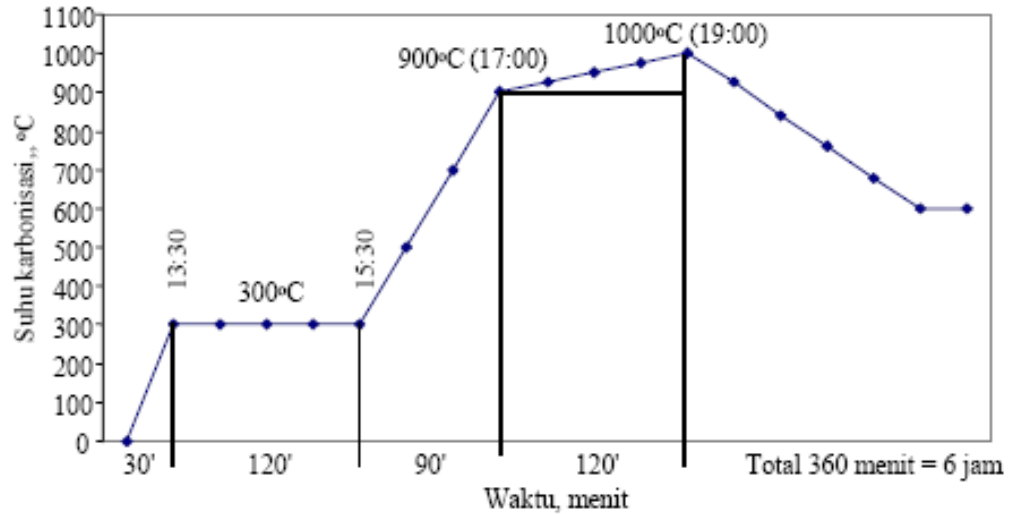
##### 4.1. Hasil

Tabel 1 menunjukkan perbandingan karakteristik briket kokas Ombilin, kokas impor dan kokas metalurgi, sementara Gambar 4 merupakan kurva proses karbonisasi briket kokas yang terjadi dalam *down-draft muffle furnace*. Tabel 2 menunjukkan hasil pengamatan suhu karbonisasi briket kokas di dalam *down-draft muffle furnace*.

Tabel 3 menunjukkan komposisi pengumpulan kokas dasar, besi bekas dan kokas umpan pada proses peleburan besi menggunakan kupola *double tuyere*. Tabel 4 menunjukkan perbandingan hasil uji kualitas antara briket kokas Ombilin dan kokas impor pada proses peleburan besi menggunakan kupola. Tabel 5 menunjukkan perbandingan waktu pencapaian titik lebur besi di dalam kupola menggunakan briket kokas Ombilin dan kokas impor.

**Tabel 1. Perbandingan karakteristik briket kokas Ombilin, kokas impor dan kokas metalurgi [8]**

Parameter		Briket Kokas Ombilin	Kokas Impor Mitsubishi	Standar Kokas Metalurgi
Air lembab	%adb	2,84	0,68	2,4 – 5
Abu	%adb	7,21	7,45	9 – 10
Zat terbang	%adb	2,11	1,17	1 – 3
Karbon padat	%adb	87,84	90,70	85,8 – 90
Sulfur	%adb	0,42	0,82	0,7 – 1
Nilai kalori	kcal/kg	7190	7085	-
<i>Drop shatter index</i>	% ± 2''	84	90	80 – 93
Kuat tekan	kg/cm <sup>2</sup>	54,32	75,5	28,12 – 103,34
Distribusi ukuran >3''	% lolos	-	-	92
Ukuran butiran	Cm	4'' = 10	-	3'' = 7,5



Gbr. 4. Kurva proses karbonisasi briket kokas Ombilin di dalam *down-draft muffle furnace*

Tabel 2. Hasil pengamatan suhu karbonisasi briket kokas Ombilin di dalam *down-draft muffle furnace*

No.	Pukul	Temperatur, °C				Keterangan	
		Setting	Pembakaran	Karbonisasi	Cerobong		
1	07:15	28	28	28	28		
2	07:30	300	235	60	132		
3	08:30		293	145	161		
4	08:45	400	295	174	212		
5	09:00		397	250	243		
6	09:30	500	400	252	245	Solar = 195 liter	
7	09:45		492	288	353		
8	11:00		495	316	390		
9	11:45	600	507	327	412		
10	13:00		591	431	431		
11	13:30		592	443	440		
12	13:45	1000	707	480	461		
13	15:00		971	832	483		
14	15:30		998	948	500		
15	15:45	1100	1075	950	515		
16	16:00		1088	960	534		
17	16:30	1200	1098	975	570		
18	07:30	mati	140	325	115		



**Tabel 3. Komposisi pengumpanan kokas dasar, besi bekas dan kokas umpan pada proses peleburan besi menggunakan kupola *double tuyere***

No.	Besi Bekas	Kokas	Frekuensi Peleburan	Coke Ratio
1.	Penyalan awal menggunakan 180 kg KI sebagai kokas dasar ( <i>bed coke</i> )			
2.	100 kg	5 kg BKO + 5 kg KI	4 kali	1:10
3.	120 kg	5 kg BKO + 5 kg KI	13 kali	1:12
4.	130 kg	5 kg BKO + 5 kg KI	6 kali	1:13
5.	150 kg	5 kg BKO + 5 kg KI	27 kali	1:15
6.	150 kg	11 kg BKO	20 kali	1:14
	9790 kg	470 kg BKO+250 kg KI	70 kali	1:14

**Tabel 4. Perbandingan hasil uji kualitas briket kokas Ombilin dan kokas impor pada proses peleburan besi menggunakan kupola**

No.	Pengamatan	Kokas Impor Mitsubishi Jepang	Briket Kokas Ombilin
1.	Suhu besi cair, °C <sup>*)</sup> .	1326	1318
2.	<i>Liquidus temperature</i> , °C <sup>**)</sup> .	1202	1208
3.	<i>Solidus temperature</i> , °C.	1122	1119
4.	Karbon (C), %	3,38	3,34
5.	Karbon efektif (CE), %	3,87	3,82
6.	Silika (Si), %	1,48	1,73
7.	Gas SO <sub>2</sub> <i>ambient</i> , ppm	0	0
8.	Gas NO <sub>2</sub> <i>ambient</i> , ppm	0	0
<p>*) Pengukuran menggunakan <i>thermocouple</i> (termometer suhu tinggi 1500°C dengan probe terbuat dari keramik) saat besi cair keluar kupola</p> <p>***) Pengukuran menggunakan <i>CE-meter</i> saat besi cair dituangkan ke cetakan.</p>			

**Tabel 5. Perbandingan waktu pencapaian titik lebur besi di dalam kupola menggunakan briket kokas Ombilin dan kokas impor**

Bed	Waktu pencapaian titik lebur besi cair, jam	
	Kokas Impor Mitsubishi	Briket Kokas Ombilin
1	4,7	5,5
2	6,1	6,2
3	6,8	7,1

## 4.2. Pembahasan

Indikator utama pada proses peleburan besi adalah suhu *tapping* awal, yaitu suhu saat pertama kali besi cair dikeluarkan dari kupola. Suhu *tapping* merupakan suhu besi cair pada saat penuangan setelah besi cair terkumpul penuh di dalam kupola, sementara suhu penuangan adalah suhu besi cair saat dituang dari kupola ke dalam kowi (*ladel*) secara berturut-turut sampai besi cair dalam kupola habis.

Tabel 3 menunjukkan bahwa untuk melebur besi bekas sebanyak 9790 kg dengan frekuensi peleburan sebanyak 70 kali mengkonsumsi sebanyak 470 kg briket kokas Ombilin ditambah 250 kg kokas impor dan 180 kg kokas impor sebagai *bed coke* dengan menghasilkan *coke ratio* rata-rata 1:14, artinya setiap 1 kg briket kokas Ombilin mampu mencairkan 14 kg besi bekas, sehingga briket kokas Ombilin dapat menggantikan (substitusi) kokas impor sebagai kokas umpan bukan sebagai *bed coke* [9].

Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pencapaian suhu besi cair saat keluar kupola yang diukur dengan termokopel menggunakan briket kokas Ombilin lebih rendah daripada kokas impor, sebaliknya pencapaian suhu besi cair saat dituangkan ke dalam cetakan yang diukur dengan *CE-meter* justru lebih tinggi, hal ini menyimpulkan kalau briket kokas Ombilin memerlukan waktu lebih lama untuk memadat, namun suhu besi cair saat memadat (*solidus temperature*) lebih rendah dibandingkan kokas impor.

Hasil pengukuran menggunakan *CE-meter* diketahui kadar karbon (%C) dan kadar karbon efektif (%CE) dalam besi tuang yang dihasilkan oleh pemakaian briket kokas Ombilin lebih rendah, sementara kadar Si (%Si) lebih tinggi, ini menyimpulkan bahwa kualitas besi tuang yang dihasilkan briket kokas Ombilin lebih rendah (sedikit rapuh) daripada kokas impor.

Hasil pengamatan emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran baik menggunakan briket kokas Ombilin maupun kokas impor tidak mencemari lingkungan.

Tabel 5 menunjukkan bahwa pencapaian titik lebur hingga besi mencair di dalam kupola dari hasil penggunaan briket kokas Ombilin memerlukan waktu lebih lama dibandingkan dengan kokas impor.

Proses peleburan besi di dalam kupola dilakukan ujicoba pemakaian 140 kg briket kokas Ombilin sebagai kokas dasar (*bed-coke*). Proses penyalaan unggunan briket kokas Ombilin di dasar kupola *double tuyere* selama kurun waktu 15 menit menggunakan kayu bakar tidak mampu menyala yang dapat dilihat dari lubang pengintip, sehingga disimpulkan oleh pihak Koperasi Industri Batur Jaya (KBJ) Ceper bahwa briket kokas Ombilin tidak dapat dipakai sebagai kokas dasar. BPPT memberikan argumentasi bahwa waktu penyalaan selama 15 menit tersebut bukan merupakan standar acuan ukuran kemampuan sebagai kokas dasar akan tetapi hanya suatu kebiasaan operator kupola yang menggunakan kokas impor. Atas rekomendasi BPPT yang disepakati oleh KBJ bahwa perlu penelitian lebih lanjut terhadap

briket kokas Ombilin bila akan dipakai sebagai kokas dasar, kemungkinan diperlukan waktu penyalaan lebih lama mengingat berbeda karakteristik.



**Gbr. 5. Ujicoba briket kokas Ombilin sebagai *bed coke***

## **5. KESIMPULAN**

Dari uraian tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa briket kokas Ombilin mampu menggantikan kokas impor yang berfungsi sebagai kokas umpan dalam proses peleburan besi menggunakan kupola.

Perlu penelitian lebih lanjut terhadap teknologi pembuatan briket kokas tersebut tidak hanya sebatas dapat digunakan sebagai kokas umpan melainkan juga mampu sebagai kokas dasar, sehingga dampak ketergantungan terhadap kokas impor akan sirna karena masyarakat IKM pengecoran logam Batur Ceper selaku pengguna tidak meragukan lagi akan mutunya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Badan Pusat Statistik, *Buletin Statistik Komoditi Mineral Indonesia*, Jakarta, Januari 2005.
- [2] Susanto, *Data Perkembangan Industri Pengecoran di Kabupaten Klaten Jawa Tengah*, Koperasi Batur Jaya, Ceper, 2004.
- [3] Suyitno, *Laporan Tahunan*, UPT Logam dan Mini Foundry, Ceper, 2004.
- [4] UPT Laboratorium Uji Logam dan *Mini Foundry*, Klaten Jawa Tengah, 1998.

- [5] Bustanil Arifin, *Penelitian dan Ujicoba Kelayakan Penggunaan Briket Kokas Lokal sebagai Substitusi Kokas Impor pada Peleburan Besi Tuang dalam Dapur Tukik di Sentra Industri Kecil Peleburan Logam Ceper*, Laporan Akhir Fakultas Teknik Metalurgi Proses Universitas Indonesia, Jakarta, 2000, p. 24~25.
- [6] Bambang S.R., *Kajian Pembuatan Kokas Batubara Ombilin dengan Proses Karbonisasi Suhu Tinggi Menggunakan Tungku Sarang Tawon*, Majalah SPEKTRA, ISSN 0853-9901, Vol.006/VIII/2001, p. 4~12.
- [7] Kenji C., Tata Surdia, *Teknik Pengecoran Logam*, Pradya Paramita Jakarta, 1996.
- [8] Suganal, *Hasil Analisa Laboratorium Batubara dan Mineral*, TekMIRA, Bandung, 2004.
- [9] Bambang S.R., *Revitalisasi Demo-Plant Pembuatan Briket Kokas sebagai Bahan Bakar Industri Pengecoran Logam di Koperasi Industri Batur Jaya Ceper*, Laporan Program Percepatan Kerjasama BPPT – Depperindag (IDKM & ILMEA) – Koperasi Batur Jaya, Ceper, 2004.