

RANCANG BANGUN TUNGKU BUSUR LISTRIK SATU FASE UNTUK PELEBURAN KONSENTRAT MANGAN DAN BESI MENJADI FEROMANGAN

Single-Phased Electric Arc Furnace Design for Smelting Manganese and Iron Concentrates Into Ferromanganese

YAYAT I. SUPRIYATNA, RINA RISTIANA, FAJAR NURJAMAN dan ACHMAD SHOFI

UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung - LIPI
Jalan Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan
Telp. (0721) 350054; Fax. (0721) 350056
e-mail: yayat_iman@yahoo.com

SARI

Telah dilakukan rancang bangun tungku busur listrik satu fase untuk melebur konsentrat mangan, konsentrat besi, dan sedikit skrep besi menjadi logam paduan feromangan berkapasitas 10 kg. Tungku dirancang dengan mempertimbangkan sistem geometri, elektrik dan sistem aktuator hidroliknya. Rancangan tungku berbentuk cawan silindris dengan diameter bagian dalam 15 cm dan tinggi selubung bagian dalamnya 22 cm. Suplai daya yang diperlukan sebesar 35 KVA. Energi yang dibutuhkan dalam proses peleburan sebesar 32,016 KJ. Dengan dimensi diameter elektroda grafit sekitar 2,7 cm, maka panas akan terjadi saat busur listrik berdekatan dengan bahan baku/konsentrat. Panas yang ditimbulkan mampu melebur konsentrat mangan, konsentrat besi dan skrep besi menjadi lelehan logam paduan feromangan. Ujicoba tungku tersebut menghasilkan komposisi produk logam paduan feromangan berkadar $Mn \geq 70\%$ dan $Fe = 14 - 16\%$. Oleh karena itu, model rancangan tungku busur listrik ini layak diperbesar skalanya dengan mempertimbangkan konstruksi geometrik, daya dan aktuator hidrolik yang digunakan.

Kata kunci: rancang bangun, tungku busur listrik satu fase, feromangan, konsentrat mangan, konsentrat besi

ABSTRACT

A single-phase electric arc furnace (capacity 10 kg) has been design to be used for smelting the concentrates of manganese, iron and a small amount of iron scrap into ferromanganese alloy. The furnace was designed by considering the geometry, electrical system and hydraulic actuator system in the form of a cylindrical cup with inner diameter 15cm and 22cm height. The power requirement is 35 KVA, while the energy requirement for smelting and melting action is 32.016KJ. By setting the graphite electrode diameter of about 2.7 cm, the heat would occur as the electric arc is adjacent to the raw materials. The generated heat would be proper to smelt manganese and iron concentrates as well as iron scrap into melted ferromanganese alloy. The testing operational of the designed furnace produced ferromanganese alloy containing $Mn \geq 70\%$ and $Fe = 14 - 16\%$. Therefore, the present model of the designed electric-arc furnace might reasonably scaled-up by considering its geometric construction, power and hydraulic actuator.

Keywords: single-phase electric arc furnace design, ferromanganese, manganese concentrate, iron concentrate

PENDAHULUAN

Dalam proses pirometalurgi, salah satu cara mendapatkan logam cair adalah dengan melelehkan bahan logam di dalam tungku. Pemilihan tungku peleburan yang akan digunakan untuk mencairkan logam harus sesuai dengan bahan baku yang akan dilebur. Paduan aluminium, paduan tembaga, paduan timah hitam, dan paduan logam lain biasanya dilebur dengan menggunakan tungku peleburan jenis krusibel, sedangkan untuk besi cor biasanya menggunakan tungku induksi frekuensi rendah atau kupola. Adapun tungku induksi frekuensi tinggi biasanya digunakan untuk melebur baja dan material yang tahan suhu tinggi.

Tungku busur listrik secara umum dapat digolongkan ke dalam dua jenis yaitu *direct heat arc furnace* dan *indirect heat arc furnace* (Bowman, 2009). Pada *direct heat arc furnace*, kutub positif dan kutub negatif tanur dikontakkan secara langsung sehingga timbul panas. Sedangkan pada *indirect heat arc furnace*, kontak antara kedua kutub tersebut tidak langsung, tetapi hubungan kedua kutub tersebut melalui muatan (*charge*). Salah satu jenis dari tungku busur listrik adalah tungku busur listrik satu fase (DC). Umumnya tungku busur listrik satu fase dengan satu elektroda mempunyai ruang bakar yang berbentuk tabung dan elektrodanya ditempatkan di tengah-tengah ruang bakar tersebut. Proses peleburan menggunakan tungku ini dilakukan dengan menggunakan energi yang berasal dari listrik berupa *arc* atau busur listrik yang dapat melelehkan bahan logam.

Salah satu pemanfaatan tungku busur listrik yaitu untuk pembuatan feromangan yang banyak dibutuhkan dalam pembuatan kawat baja, plat baja, pipa baja. Kelebihan pembuatan feromangan menggunakan tungku busur listrik ini adalah hasil produksi lebih tinggi, konsumsi karbon sedikit, kualitas reduktor tidak perlu tinggi, busur api yang terbentuk sebagai sumber panas tanpa resiko terkena kontaminasi sehingga kemurnian lelehan logam dapat terjaga, serta dapat digunakan untuk produksi berbagai jenis logam paduan. Namun untuk produksinya membutuhkan energi listrik sebagai sumber utama energi panasnya. Feromangan merupakan bentuk logam paduan antara unsur besi dan unsur mangan; di dalam logam paduan tersebut mangan merupakan unsur yang dominan. Kandungan unsur mangan di dalam feromangan pada umumnya berkisar antara 70% - 90% Mn. Kandungan unsur-unsur lainnya dalam paduan ini

antara lain adalah $C < 7,5\%$, $Si < 3\%$, $P < 0,4\%$, dan $S < 0,05\%$. Selebihnya terdiri atas unsur Fe (Supriyatna, 2013).

Sejalan dengan laju perkembangan industri baja di Indonesia, kebutuhan feromangan meningkat dari tahun ke tahun. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, hingga saat ini sebagian besar atau hampir seluruh kebutuhan feromangan berasal dari impor. Menurut Koesnohadi (2009), kebutuhan Mn-*alloy* (feromangan) di Indonesia pada tahun 2004 sebesar 20.000 ton/tahun dan kemudian pada tahun 2009 sebesar 63.000 ton/tahun. Adapun kebutuhan feromangan untuk pembuatan baja kasar sebesar 0,6 kg FeMn/ton baja kasar.

Seiring meningkatnya konsumsi Mn-*alloy* maka harga konsentrat mangan dan feromangan juga ikut meningkat. Hal ini ditunjukkan oleh data pada tahun 2005 yaitu harga konsentrat mangan 176 USD/ton dan FeMn-*Alloy* 1180 USD/ton. Sedangkan pada kuartal pertama 2009 harga konsentrat mangan adalah 202 USD/ton dan FeMn-*Alloy* 1577 USD/ton (Koesnohadi, 2009). Pada semester pertama 2014 harga konsentrat mangan adalah 220 USD/ton dan FeMn-*Alloy* 1660 USD/ton (www.asianmetal.com).

Upaya pengembangan industri pembuatan feromangan di dalam negeri dengan memanfaatkan bahan baku lokal diharapkan dapat mengurangi ketergantungan kepada pihak luar, di samping akan menghemat devisa negara serta menciptakan lapangan kerja.

Proses pembuatan dan peleburan feromangan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan tanur tiup dan/atau menggunakan tanur busur listrik (*electric arc furnace*). Bahan baku utama untuk kedua cara tersebut adalah konsentrat besi sebagai sumber unsur besi dan konsentrat mangan sebagai sumber unsur mangan. Unsur besi dapat juga diperoleh dengan penambahan sedikit skrep besi. Sedangkan bahan pereduksinya digunakan kokas atau arang kayu, kemudian sebagai zat imbuhan digunakan batukapur (*limestone*) (Beddoes and Bibby, 1999).

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah melakukan rancang bangun tungku busur listrik satu fase skala laboratorium dengan kapasitas 10 kg/*batch* feromangan sebagai alat uji pengolahan/peleburan konsentrat mangan dan konsentrat besi Indonesia menjadi logam paduan feromangan.

Teori dan Perhitungan Desain

Tungku busur listrik satu fase (*electric arc furnace - EAF*) merupakan suatu tungku untuk peleburan baja yang menggunakan energi listrik. Energi listrik digunakan untuk pemanasan, peleburan dan pemurnian baja. Busur listrik terjadi akibat proses mendekatkan elektroda (katoda) yang dialiri arus listrik tegangan tinggi hingga menyentuh bahan lebur (anoda). Ketika elektroda dan bahan lebur saling bersentuhan seakan terjadi hubungan singkat, sehingga timbul panas pada bahan lebur hingga meleleh. Karakteristik tungku busur listrik dengan sumber tegangan berkisar 25 – 200MVA yang diperoleh dari transformator dengan busbar (konduktor tembaga) pada sisi sekundernya yang dihubungkan ke elektroda melalui kabel dan dilengkapi pendingin air (Bowman, 2009). Pada tahap permulaan operasi tungku diisi dengan bahan lebur (bahan baku berupa konsentrat besi dan mangan serta skrep besi), selanjutnya dilakukan proses reduksi dengan reduktor kokas dan peleburan dengan memanfaatkan pancaran busur listrik yang dihasilkan akibat hubungan singkat antara elektroda dengan bahan baku, tahapan ini bisa diulang - ulang sampai pada proses pemurnian (*refining*).

Konstruksi Tungku Busur Listrik

Konstruksi tungku busur listrik meliputi sistem geometrik tungku, sistem elektrik dan sistem aktuator hidrolis, semua sistem ini diharapkan mampu menunjang kebutuhan sistem untuk melakukan peleburan logam khususnya mengolah konsentrat mangan dan besi menjadi logam paduan feromangan.

a. Sistem geometrik

Tungku busur listrik berbentuk bejana, dilapisi bahan refraktori untuk menampung cairan besi, bagian tutupnya dilapisi bahan refraktori yang dilengkapi dengan pendingin air, panel pendingin air dan elektroda grafit. Bahan refraktori adalah bahan material non-metalik yang tahan terhadap suhu lebih besar dari 538°C dan kekuatan strukturnya tidak berubah. Secara umum skema tungku busur listrik dapat dilihat pada Gambar 1 yang menunjukkan bahwa desain tungku terdiri dari tiga bagian utama yakni: dinding pelindung (*shell*), *refractory heart* yaitu refraktori berupa cawan dan tutup (*roof*) yang terdiri dari refraktori dan panel pendingin.

Dengan parameter-parameter geometriknnya, dapat ditentukan kapasitas tungku dengan persamaan (Olawale, 2004) :

$$V_f = \frac{\pi d_d^2 h_d}{4} \dots\dots\dots (1)$$

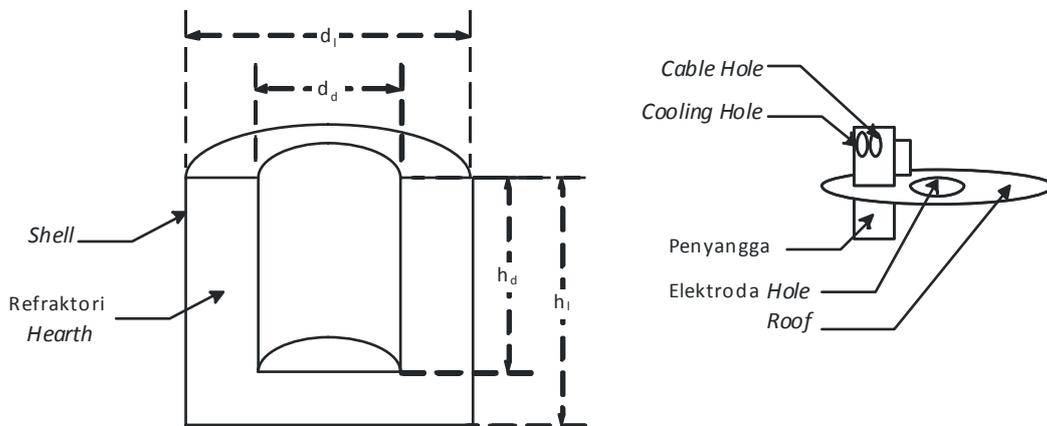
Keterangan:

- V_f = volume tungku,
- d_d = diameter bagian dalam tungku dan
- h_d = tinggi selubung bagian dalam tungku.

Kapasitas tungku skala *batch* dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Oyawale, 2007);

$$V_b = 9.68 \text{ (cm)} d_b \dots\dots\dots (2)$$

Dengan $d_b = 5h_b = d_d$, d_b adalah diameter *batch* dan h_b adalah ketinggian *batch*.



Gambar 1. Skema tungku busur listrik

Diameter *chamber* (ruang) reaksi dapat ditentukan dengan cara (Oyawale, 2007):

$$d_{rc} = d_b + 20 \text{ (cm)} \dots\dots\dots (3)$$

Ketinggian *chamber* (Oyawale, 2007):

$$h_c = 0.2 d_{rc} \dots\dots\dots (4)$$

Jarak *chamber* dengan tutup (Oyawale, 2007);

$$h_{rc} = 0.15 d_r \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

$$d_r = d_{rc} + 100 \text{ (cm)}$$

Jumlah jarak antara tutup dengan *batch*

$$h_{rb} = h_c + h_{rc} \dots\dots\dots (6)$$

Untuk menentukan dan menjaga kondisi suhu agar sesuai ketentuan bahwa cawan (refraktori *hearth*) hanya boleh menyerap panas di bawah 200°C, maka ketebalan refraktori ditentukan dengan persamaan berikut (Olawale, 2004):

$$d_s = \frac{d_l - d_d}{2} \dots\dots\dots (7)$$

b. Sistem daya

Daya listrik yang dipakai untuk menghasilkan panas pada proses peleburan logam diperoleh dari trafo yang dihantarkan melalui elektroda. Sistem daya meliputi daya suplai, tegangan operasi sekunder dari tegangan jaringan atau tegangan primer yang diperoleh dari transformator (tegangan tap) dan distribusi energi. Untuk menentukan daya suplai (daya yang diperlukan untuk melebur bahan baku), dapat dilihat pada Tabel 1.

Tegangan tap merupakan tegangan sekunder untuk tungku dapat dihitung dengan menggunakan formula empiris berikut (Edneral, 1979):

$$V_{tap} = 15\sqrt[3]{P_T} \dots\dots\dots (8)$$

Energi yang dibutuhkan untuk melebur konsentrat mangan dan besi adalah :

$$Q_{melt} = m_b c_b (\theta_2 - \theta_1) + m_b L_b \dots\dots\dots (9)$$

keterangan:

m_b = massa bahan baku yang akan dilebur (kg);

c_b = kapasitas panas spesifik dari bahan baku (KJ/Kg°C);

θ_1 = suhu leleh bahan baku (°C);

θ_2 = suhu ruang (°C) dan

L_b = *Latent heat* bahan baku.

c. Sistem aktuator hidrolik

Gambar 2 memperlihatkan model fisik sistem aktuator hidrolik dengan satu buah elektroda grafit yang bisa digerakkan secara vertikal (bergerak ke atas dan ke bawah). Jika elektroda mengenai material yang akan dilebur, akan timbul busur listrik yang menghasilkan panas tinggi yang dapat melebur material (bahan baku). Sistem aktuator hidrolik terdiri dari motor, aktuator hidrolik, pegangan dan elektroda. Tujuan dari sistem aktuator hidrolik ini adalah untuk menentukan posisi elektroda. Prinsip kerja dari aktuator hidrolik ini yakni penggerak utamanya bersumber dari motor, motor akan menggerakkan aktuator hidrolik ke atas dan ke bawah, sehingga dapat menentukan posisi tepat elektroda.

Diameter elektroda dapat dihitung dengan formula berikut (Oyawale, 2007):

$$d = \sqrt[3]{\frac{0,406 I_T \rho_e}{K_e}} \dots\dots\dots (10)$$

keterangan ;

I_T = arus transformator,

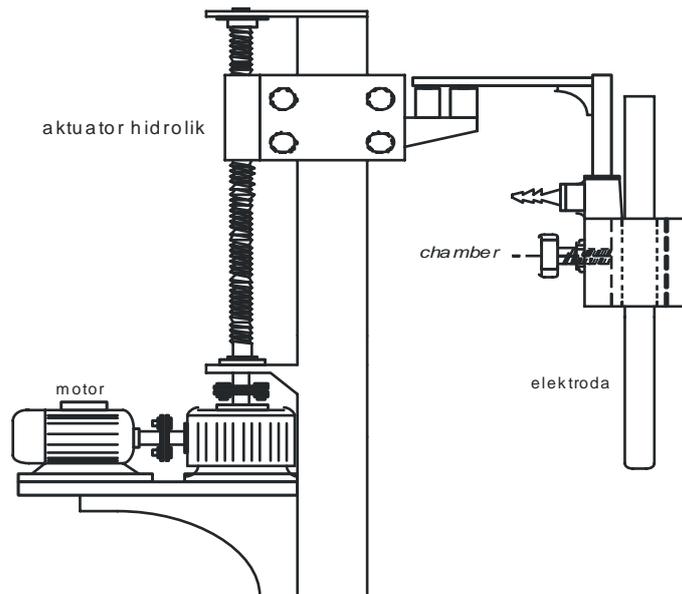
$$I_T = I_T = \frac{P_T}{V_T},$$

ρ_e = merupakan resistivitas elektroda pada 500°C (grafit) sebesar 10 ohm.

Mm^2/m dan K_e merupakan koefisien elektroda grafit sebesar 2,1 W/cm. Arus elektroda berkisar dari 12 sampai 16 A/cm² dengan syarat diameter elektroda 400 sampai 600 mm. Rasio jarak elektroda terhadap

Tabel 1. Daya trafo terhadap kapasitas tungku (Bowman, 2009)

Kapasitas (Kg)	10 – 30	100 – 300	300 – 400	1000
Daya Trafo (KVA)	35	200	400	1000



Gambar 2. Sistem aktuator hidrolis

diameter *batch* adalah 0,45 untuk tungku mini atau 0,35 untuk tungku medium dan tungku besar (Edneral, 1979).

METODOLOGI

Metode kegiatan rancang bangun tungku busur listrik ini diawali dengan studi pustaka dan melakukan studi lapangan mengenai tungku busur listrik dan kelengkapannya. Kemudian dari data tersebut dilakukan penentuan kapasitas tungku 10 kg, dilanjutkan perancangan tungku busur listrik satu fase yang meliputi penentuan dimensi tungku (perhitungannya berdasarkan teori di atas). Selain perancangan tungku dibuat juga rancangan sistem kelistrikan dan aktuator hidrolis guna mengatur posisi elektroda grafit. Berikutnya pengerjaan fisik/pembuatan dan perakitan tungku busur listrik satu fase sesuai rancangan beserta instalasi kelengkapannya yang dilakukan tim di Laboratorium Pengecoran UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung – LIPI (UPT. BPML – LIPI). Terakhir dilakukan uji coba kinerja alat untuk mengolah/melebur konsentrat mangan, konsentrat besi dan sedikit skrep besi agar menjadi logam paduan feromangan.

Ujicoba dilakukan tiga kali di Laboratorium Pengecoran UPT. BPML – LIPI. Bahan baku terdiri dari konsentrat mangan yang diperoleh dari NTT, konsentrat besi dan kapur dari Lampung, skrep besi dari UPT. BPML – LIPI dan kokas yang

diperoleh dari PT. Baralogram. Prosedur percobaan dilakukan dengan penambahan material konsentrat besi secara bertahap menggantikan sebagian berat skrep besi, sedangkan penambahan konsentrat mangan semakin diperbesar. Penambahan kapur komposisinya diatur sedemikian rupa agar diperoleh terak yang memiliki basisitas sekitar 1,4 - 1,5 karena berdasarkan pengalaman, kondisi terak pada tingkat basisitas ini memiliki titik lebur dan ketebalan relatif rendah. Karakteristik *charge material* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2. Ada 3 komposisi *charge material* yang digunakan dalam percobaan ini. Komposisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Bahan baku antara lain konsentrat besi, konsentrat mangan, kapur, dan kokas terlebih dahulu mengalami preparasi untuk mendapatkan ukuran yang sesuai agar dapat digunakan sebagai umpan peleburan dalam tanur busur listrik satu fase. Ukuran yang diambil untuk konsentrat mangan dan kokas berkisar antara 0,5 - 1 cm, untuk kapur ukurannya relatif kecil yaitu -80 + 100 mesh, untuk konsentrat besi ukurannya -60 + 80 mesh yang diperoleh dari proses *magnetic separator*. Kemudian dilakukan penimbangan terhadap bahan baku untuk memperoleh 3 jenis percontohan yang masing-masing memiliki komposisi berturut-turut sesuai dengan komposisi I, II dan III seperti yang telah dikemukakan pada Tabel 3. *Charging* atau penuangan contoh percobaan ke dalam tanur busur listrik peleburan dilakukan berturut-turut dari contoh dengan komposisi I, II, dan III. Di dalam percobaan ini, lama waktu reaksi adalah lamanya

material atau bahan baku berada di dalam tanur busur listrik yaitu dari saat *charging* hingga dilakukan pengeluaran produk logam cair. Waktu reaksi berkisar antara 2 sampai 3 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

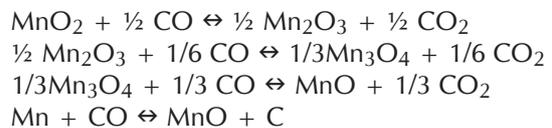
Realisasi Fisik Tungku Busur Listrik

Realisasi fisik tungku busur listrik secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3, yang secara umum terbagi dalam tiga bagian utama yaitu: tungku, distribusi daya dan aktuator hidrolik. Spesifikasi fisik tungku yang dibangun/dirakit dalam rancangan ini berupa tungku busur mini berbentuk cawan silindris dengan diameter dalam tungku 15 cm, tinggi selubung dalam 22 cm. Dari parameter tersebut dapat ditentukan kapasitas maksimal tungku busur sebesar 10 kg yang didesain berdasarkan persamaan (1). Bahan refraktori adalah bahan material non-metallik yang tahan terhadap suhu > 538°C dan kekuatan strukturnya stabil/tidak berubah (Bowman, 2009). Refraktori diharapkan dapat menyerap panas tidak lebih dari 200°C, dalam realisasinya refraktori dibangun dengan diameter luar tungku sebesar 48 cm dan tinggi selubung luar tungku sebesar 38 cm.

Distribusi daya dari transformator sesuai dengan Tabel 1, bahwa untuk tungku busur listrik dengan kapasitas sekitar 10 kg memerlukan trafo yang memiliki daya sebesar 35 KVA. Berdasarkan perhitungan produktivitas tungku busur listrik, bahwa

1 kg bahan baku membutuhkan daya 0,55 kwh/kg dan 0,03 Nm³ oksigen/kg, sehingga dapat ditentukan nilai daya yang dilepaskan bahwa 0,03 Nm³ oksigen/kg dikalikan 3,5 kwh/Nm³ yaitu sebesar 0,105 kwh/kg. Total energi tungku adalah daya yang tersedia dikurangi daya yang dilepaskan, sehingga total energi tungku sebesar 0,445 kwh/kg. Jika daya rata-rata distribusi dari trafo sebesar 44,5kw, maka produktivitas tungku busur adalah daya rata-rata dibagi total energi tungku sebesar (44,5 kw)/0,445 kwh/kg = 10 kg/jam. Oleh karena kapasitas tungku sebesar 10kg, maka waktu yang dibutuhkan untuk reduksi dan melebur adalah (10kg/jam)/3 kg ≈ 3,3 jam (Bowman, 2009).

Energi yang dibutuhkan untuk melebur konsentrat mangan dan konsentrat besi menjadi feromangan sesuai dengan persamaan (7) yaitu massa mangan dan besi 10 kg, kapasitas panas mangan sebesar 0,48 KJ/kg. °K, suhu lebur mangan pada 1246°C, suhu didih mangan pada 2061°C, dengan panas pembentukan mangan sebesar 14,64 KJ (www.chem-is-try.org). Kapasitas panas besi 0,45 KJ/kg. °K, suhu lebur besi 1538°C dan panas pembentukan besi 13,81 KJ (www.educalabs.com). Maka energi yang dibutuhkan lebih kurang sebesar 32,016 KJ. Reaksi reduksi konsentrat mangan (Zulhan, 2013):

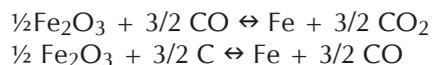


Keterangan gambar :

1. Tungku
2. Elektroda holder
3. Motor listrik
4. Penggerak mekanik elektroda
5. Panel listrik

Gambar 3. Realisasi fisik tungku busur listrik satu fase

Untuk konsentrasi besi reaksi reduksinya sebagai berikut (Zulhan, 2013):



Elektroda grafit yang digunakan satu buah, karena itu tungku busur listrik ini disebut juga dengan tungku busur listrik satu fase. Diameter elektroda grafit dapat dihitung dengan persamaan (10), sehingga didapat sebesar 2,7 cm. Rasio diameter jarak elektroda grafit terhadap diameter *batch* adalah 0,45 untuk tungku busur mini (Edneral, 1979).

Uji Coba

Dalam uji coba pengoperasian tungku busur listrik satu fase hasil rancangan ini, telah dilakukan tiga kali uji coba yang difungsikan untuk melebur konsentrasi mangan dan konsentrasi besi menjadi feromangan. Bahan baku yang dibutuhkan dapat dilihat pada Gambar 4 dengan komposisi bahan baku seperti pada Tabel 2.

Proses peleburan konsentrasi mangan dan konsentrasi besi menjadi feromangan melalui beberapa tahapan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5, yakni tahap *charging* merupakan tahap pemasukan bahan baku; tahap *smelting* merupakan proses reduksi dan

pelelehan bahan baku dari padat ke cair menggunakan busur listrik; tahap *tapping* merupakan tahap penuangan lelehan ferromangan; dan tahap terakhir adalah *casting* merupakan tahap pencetakan.

Uji kinerja tungku busur listrik satu fase untuk membuat feromangan dilakukan dengan variabel komposisi massa bahan baku yang digunakan. Komposisi uji coba secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari tiga kali ujicoba, dilakukan analisis terhadap hasil leburan feromangan dengan komposisi seperti pada Tabel 4.

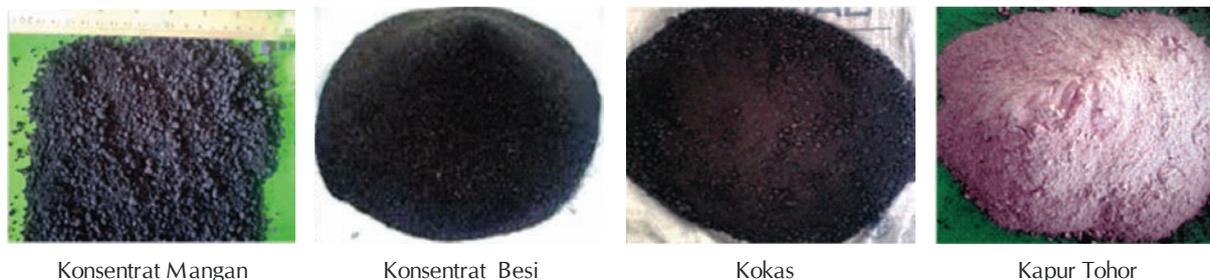
KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Rancang bangun tungku busur listrik satu fase berkapasitas 10 kg feromangan dengan daya distribusi sebesar 35 KVA, dapat menghasilkan logam paduan feromangan dalam waktu lebur 126 – 222 menit untuk satu kali periode peleburan. Energi yang dibutuhkan untuk melebur konsentrasi mangan dan besi menjadi feromangan lebih kurang sebesar 32,016 KJ. Dengan dimensi diameter elektroda grafit 2,7 cm, panas terjadi saat busur listrik berdekatan

Tabel 2. Komposisi kimia bahan baku (*charge material*)

Bahan baku	Kandungan (%)							
	Fe	Mn	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P	S
Skrep besi	96,92	0,08	0,04	-	-	0,02	0,19	0,09
Konsentrasi besi	56,83	0,76	10,12	0,11	2,90	3,47	0,09	-
Konsentrasi mangan	1,53	55,99	4,28	0,59	0,20	1,29	0,16	-
Kapur	0,09	0,02	-	99,37	-	-	-	-
Kokas	-	-	4,87	0,89	0,012	0,34	0,075	0,80



Gambar 4. Bahan baku

dengan bahan baku/konsentrat. Panas yang ditimbulkan ini dapat melebur bahan baku menjadi lelehan logam paduan feromangan. Hasil ujicoba memberikan komposisi feromangan terbaik dengan kandungan Mn \geq 70% dan Fe = 14-16%.

Saran

Hasil rancang bangun tungku busur listrik ini dapat dikembangkan ke skala lebih besar dengan tetap mempertimbangkan sistem konstruksi geometrik, daya dan aktuatur hidroliknya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung – LIPI yang telah mendanai dan mendukung kegiatan rancang bangun ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Beddoes, J. and Bibby, M.J. 1999. *Principles of metal manufacturing processes*. Arnold publishers: London. p. 1-16.

Bowman, Ben, 2009. *Textbook of arc furnace physic*, Graftech International Holding Inc, Parma-Ohio, p. 100-123, p. 191-206.

Edneral, F.P. 1979. *Electrometallurgy of steel and ferroalloys*. MIR Publishers, Moskow, p. 1-87.

<http://www.asianmetal.com/price/> diakses tanggal 4 Juni 2014.

http://www.chem-is-try.org/tabel_periodik/mangan/ diakses tanggal 4 Juni 2014

http://www.educalabs.com/tabel_periodik/besi/ diakses tanggal 4 Juni 2014

Koesnohadi, 2009. Prospek pengembangan industri feromangan di Indonesia, Prosiding Seminar Nasional Besi Baja (tidak diterbitkan).

Olawale, D.O., 2004. Design and construction an electric arc furnace. Unpublished master thesis, Department of Industrial & Production Engineering, University of Ibadan.

Oyawale, F.A., 2007. Design and prototype development of a mini-electric arc furnace, *The Pasific Journal Of Science And Technology*, Vol. 8, No 1, p.12-16.

Supriyatna, Y.I., 2013. Studi pengolahan konsentrat mangan menjadi feromangan menggunakan tanur busur listrik satu fase, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol. 9, No. 1, hal. 50-60.

Zulhan, Z., 2013. *Pyrometallurgy of FeMn*, Department of Metallurgical Engineering, Institute of Technology Bandung, hal. 27-31.