

KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI BASA BERBAHAN DASAR MAGNESIA (MgO) GUNA LINING TUNGKU INDUKSI PENGECORAN BAJA DI PT X KLATEN

Sri Nugroho dan Yusuf Umardhani
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNDIP
Jl. Prof. Sudharto SH Kampus Undip Tembalang
e-mail : srinugroho@undip.ac.id

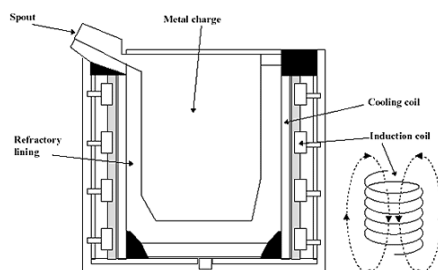
Abstrak

Penelitian karakterisasi refraktori ini dilakukan terhadap gabungan material yang terdiri dari agregat besar dan kecil yang digunakan untuk tungku induksi peleburan baja PT X Klaten. Material tersebut dicetak dengan tekanan 240 MPa dengan diameter cetakan 17,8 mm dan tinggi 50 mm. Proses pembuatan spesimen melalui proses sintering dengan variasi temperatur 1200⁰C, 1250⁰C, 1300⁰C, 1350⁰C, 1400⁰C, dan 1450⁰C dan waktu penahanan 2 jam. Sedangkan laju kenaikan temperatur/heating rate yaitu 10⁰C/menit dan laju pendinginan/cooling rate sebesar 20⁰C/menit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dan ukuran butir dengan cara pengayakan/meshing, komposisi kimia dari senyawa penyusun refraktori dengan XRD (X-Ray Diffraction), densitas dan porositas yang merupakan sifat fisis dari refraktori. Hasil yang didapat untuk material refraktori yang agregat besar memiliki ukuran butir lebih besar dari 0,150 mm sedangkan agregat kecil berukuran lebih kecil dari 0,150mm. Komposisi kimia utama penyusun material refraktori adalah magnesia (MgO) dengan fraksi berat ~95%. 1200⁰C, 1250⁰C, 1300⁰C, 1350⁰C, 1400⁰C dan 1450⁰C diperoleh nilai densitas yaitu 3,04 g/cm³, 3,05g/cm³, 3,07 g/cm³, 3,08 g/cm³, 3,11 g/cm³, 3,12 g/cm³ Secara teori, nilai densitas untuk refraktori magnesia adalah 3,58 g/cm³. Dan untuk porositasnya bernilai 15.7%, 12.9%, 12.4%, 11.6%, 9.2%, 6.8%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur sintering akan berpengaruh terhadap kenaikan densitas dan menurunkan porositas dari refraktori.

Kata kunci : refraktori, magnesia (MgO), sintering, XRD, densitas, porositas

1. PENDAHULUAN

Tanur induksi adalah sebuah tanur listrik yang memanfaatkan prinsip induksi untuk memanaskan logam hingga titik leburnya. Panas yang digunakan pada tanur induksi berasal dari pemanasan induksi medium konduktif (biasanya logam) [1]. Tanur induksi bekerja pada frekuensi operasi berkisar antara frekuensi utilitas (50 atau 60 Hz) hingga 400 kHz atau lebih tinggi, biasanya tergantung pada ukuran dan material yang akan dilebur, kapasitas (volume) dari tanur, dan kecepatan mencair leburan yang diperlukan untuk melebur [2]. Skema arus induksi tungku induksi dapat dilihat pada Gambar 1. Akibat dari adanya arus induksi yang terus menerus mengalir di dalam cairan maka akan terjadi pergerakan cairan yang disebut sebagai *stirring* dan akan mengaduk logam cair di dalam tanur [3]. Keuntungan dari tanur induksi antara lain : hasil peleburan bersih, mudah dalam mengatur atau mengendalikan temperatur, komposisi cairan homogen, efisiensi penggunaan energi panas tinggi, dan dapat digunakan untuk melebur berbagai jenis material.



Gambar 1. Skema arus induksi pada tanur induksi [3]

Proses pembuatan baja cair dilakukan dengan meleburkan bahan baku seperti besi spons, besi rongsokan/*scrap*, dan besi kasar ke dalam tungku peleburan sehingga dihasilkan baja cair (baja kasar) yang kemudian akan dicetak menjadi baja sesuai dengan keperluannya. Akan tetapi, bahan baku yang digunakan pada proses peleburan baja dengan tanur induksi umumnya besi spons (DRI)

penyusutan atau campuran DRI dengan *scrap*. Tanur induksi akan semakin efisien bila menggunakan bahan baku yang masif (berukuran besar) dan kompak [3].

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja yaitu antara 0,2 - 2,14 wt%, sedangkan besi tuang memiliki kandungan karbon 2,14 - 6,70 wt% [4]. Baja akan melebur pada temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi tuang. Pada baja karbon rendah akan melebur pada temperatur sekitar 1500°C dan baja dengan kandungan karbon 2,14 wt% melebur pada temperatur 1350°C. Sedangkan pada besi tuang dengan kandungan karbon lebih besar dari 2,14 wt% memiliki temperatur lebur yang lebih rendah dari baja yaitu sekitar 1150-1300°C.

Keramik merupakan senyawa antara logam dan non logam. Senyawa ini mempunyai ikatan ion dan atau kovalen. Jadi sifatnya berbeda dengan logam. Refraktori merupakan salah satu jenis keramik yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisinya baik secara fisik maupun kimia pada kondisi temperatur yang relatif tinggi tanpa mengalami deformasi [5]. Karena kemampuan inilah maka material refraktori digunakan pada operasi-operasi yang berlangsung pada temperatur relatif tinggi, seperti pada tungku-tungku peleburan logam. Refraktori merupakan isolator, tidak dapat diubah bentuknya dan sangat stabil pada lingkungan yang sangat berat persyaratannya [6]. Yang dimaksud stabil di sini adalah bahwa refraktori tersebut tidak meleleh, tidak terdeformasi, mempunyai perubahan volume yang sangat kecil (baik perubahan volume terhadap penyusutan ataupun pemuaihan), tahan terhadap perubahan temperatur yang mendadak, dan tahan terhadap korosi baik yang disebabkan oleh *slag*, logam cair maupun gas [5].

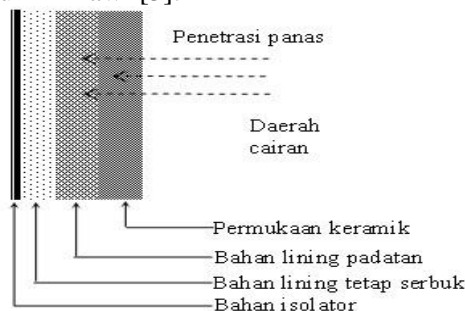
Bahan baku refraktori adalah oksida-oksida dari unsur-unsur aluminium, magnesium, kalsium, zirkonium, khromium, silikon, dan karbon [8].

Refraktori magnesia/*periclase* (MgO) termasuk dalam golongan refraktori basa berdasarkan komposisi kimianya dari oksida-oksida yang bersifat basa, atau yang penggunaannya dalam lingkungan kondisi operasi basa, stabil terhadap bahan alkali, dan bereaksi dengan asam. Refraktori jenis ini biasanya terbuat dari bahan-bahan mineral *chrome*, *magnesium*, *periclase*, *dolomite*, dan *olivine*, atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut. Struktur kristal dari keramik yang digunakan untuk material refraktori magnesia yaitu tergolong senyawa AX, dimana A adalah kation dan X adalah anion. Jumlah dari kation dan anion untuk keramik tipe AX adalah sama. Magnesia memiliki jumlah kation dan anion yang sama yaitu 6 seperti terlihat di Tabel 1. Struktur kristal magnesia adalah *rock salt* [4].

Tabel 1. Struktur Kristal beberapa Keramik

Structure Name	Structure Type	Anion Packing	Coordination Numbers		Examples
			Cation	Anion	
Rock salt (sodium chloride)	AX	FCC	6	6	NaCl, MgO, FeO
Cesium chloride	AX	Simple cubic	8	8	CsCl
Zinc blende (sphalerite)	AX	FCC	4	4	ZnS, SiC
Fluorite	AX ₂	Simple cubic	8	4	CaF ₂ , UO ₂ , ThO ₂
Perovskite	ABX ₃	FCC	12(A) 6(B)	6	BaTiO ₃ , SrZrO ₃ , SrSnO ₃
Spinel	AB ₂ X ₄	FCC	4(A) 6(B)	4	MgAl ₂ O ₄ , FeAl ₂ O ₄

Sebuah konstruksi refraktori pada sebuah tungku induksi (lihat Gambar 2) diawali dengan proses *sintering* terhadap refraktori untuk *lining* tungku yang baru sehingga bahan *lining* yang semula terdiri dari serbuk kasar, sebagian berubah menjadi bersifat keramik yang tahan terhadap temperatur tinggi dan pengaruh kimiawi [3].



Gambar 2. Konstruksi *lining* tungku induksi [3]

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan baku yang digunakan adalah material refraktori yang digunakan pada *lining* tungku induksi pengecoran baja PT. X Klaten. Spesimen pengujian dibentuk dengan cetakan silinder baja berongga dengan diameter (d)=17,8mm dan tinggi (t)=50mm. Tekanan kompaksi yaitu 240 MPa. Spesimen uji hasil cetakan *disinter* pada temperatur 1200 - 1450°C dengan waktu penahanan 2 jam. Laju kenaikan temperatur adalah sebesar 10⁰C/menit dan laju penurunan temperatur adalah 20⁰C/menit hingga mencapai temperatur kamar.

Karakterisasi bentuk dan ukuran butir material refraktori dilakukan dengan pengayakan/*meshing*. Sampel yang digunakan sebanyak 300 gram yang terdiri atas agregat besar dan kecil dan diambil secara acak. Kemudian dilakukan *meshing* dengan menggunakan nomor *mesh* 10, 20, 100, 200, dan 500

Karakterisasi komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan metode *X-RD* (*X-Ray Diffraction*) di Jurusan Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada. Pengujian mikrografi untuk keperluan analisa struktur mikro dilakukan di Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Geologi Universitas Diponegoro. Peralatan pengujian adalah mikroskop optik *Olympus U-MSSP4*. Pengukuran *bulk density* dan *apparent porosity* ditentukan dengan metode Archimedes.

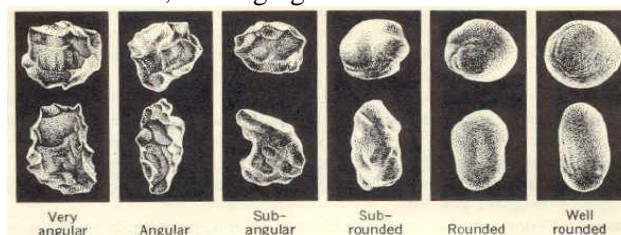
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Bentuk dan ukuran butir

Tabel 2. Ukuran Butir

Sieve Size	Opening (mm)	Serial	Berat (gr)	Agregat
10	2,00	0180610	184,4014	Besar
20	0,850	0250616	6,1719	Besar
100	0,150	0060610	9,5515	Kecil
200	0,075	0400610	6,5496	Kecil
500	0,025	0150510	78,5484	Kecil
< 500	< 0,025	-	5,2778	Kecil
jumlah			290,5006	

Butir refraktori untuk konstruksi refraktori pada *lining* tungku peleburan baja dapat dikelompokkan menjadi butir agregat besar dan kecil. Yang tergolong agregat besar/kasar adalah butiran yang tertahan di nomor *mesh* 20 sedangkan butiran yang tergolong dalam agregat kecil/halus adalah butir yang tertahan di nomor *mesh* 100. Ukuran butir untuk agregat besar yaitu lebih besar dari 0,250 mm dan untuk agregat kecil berukuran lebih kecil dari 0,250 mm. Hal ini didasari dari ukuran butir yang dapat lolos dari nomor *mesh* 60. Distribusi ukuran butir dari material refraktori yang digunakan untuk *lining* tungku induksi pengecoran baja PT X Klaten adalah 65,60 % agregat besar dan 34,40 % agregat kecil



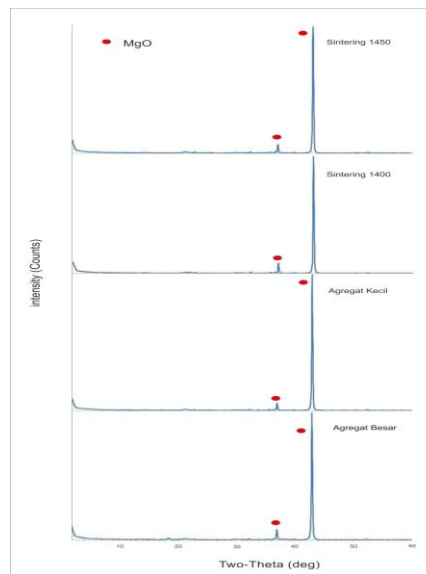
Gambar 3. Bentuk Butir [14]

Setelah mengamati dan membandingkan antara hasil penelitian bentuk butir dengan skala kebulatan bentuk butir (Gambar 3), maka untuk butiran nomor *mesh* 10 termasuk bentuk butir *sub-rounded* dimana masih terlihat sudut-sudut pada butiran tetapi sudah halus. Dan butiran dengan nomor *mesh* 20 termasuk bentuk *rounded* dikarenakan memiliki bentuk butir yang bulat dan tidak terdapat sudut pada tepi. Sedangkan butir agregat kecil tidak dapat ditentukan bentuknya dengan menggunakan mikroskop optik dikarenakan keterbatasan dalam pembesaran lensa dari mikroskop optik yang digunakan.

Bentuk dan ukuran butir ini akan mempengaruhi terhadap kekuatan dan sifat-sifat keramik refraktori. Ukuran butir agregat kecil atau halus akan semakin meningkatkan kekuatan dan

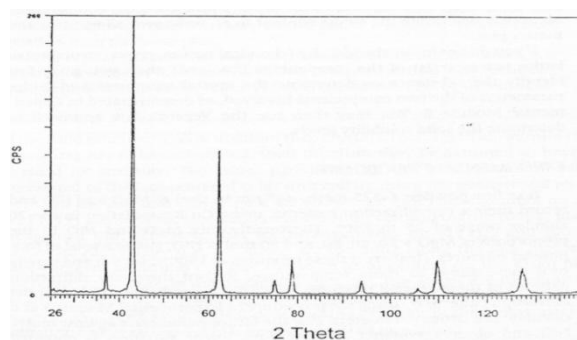
ketangguhan keramik refraktori karena densitas antar butir akan semakin baik dan mengurangi porositas pada suatu konstruksi refraktori guna *lining* tungku peleburan logam. Butiran agregat kecil lebih baik digunakan untuk bahan refraktori karena proses *sintering* akan berjalan lebih cepat dan mengurangi jumlah pori pada material refraktori karena antar butiran akan mengalami difusi antar butir yang lebih baik dan cepat dibandingkan butiran agregat besar. Penggunaan agregat kecil dan agregat besar pada suatu konstruksi refraktori untuk *lining* tungku dikarenakan butiran agregat kecil mampu mengisi celah antara butir agregat besar sehingga konstruksi refraktori menjadi rapat sehingga akan meningkatkan kekuatan, mempercepat proses *sintering* refraktori dan menghemat biaya instalasi refraktori dan dapat berfungsi mengurangi kerutan/*shrinkage* dan meningkatkan stabilitas refraktori pada temperatur tinggi.

3.2 Komposisi Kimia Lining Tungku



Gambar 4. Hasil XRD refraktori sebelum dan sesudah sintering

Gambar 4 adalah difraktogram dari pola difraksi material refraktori agregat kecil agregat besar, sintering 1400⁰C, dan 1450⁰C. Difraktogram tersebut memiliki suatu pola difraksi yang sesuai dengan difraktogram pola difraksi senyawa magnesia menurut Suryanarayana (Gambar 5).

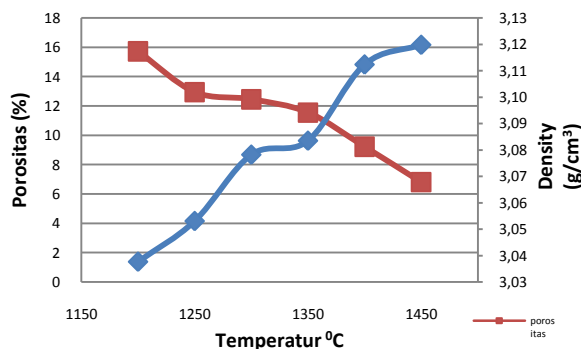


Gambar 5. Pola difraksi MgO [13]

Maka hasil pengujian komposisi kimia dengan metode X-RD dari agregat besar dan kecil material refraktori untuk lining tungku induksi peleburan baja PT X Ceper, Klaten adalah senyawa magnesia (MgO). Komposisi kimia utama dari bahan refraktori yang digunakan untuk lining tungku induksi PT X adalah magnesia (MgO) dengan fraksi berat awal untuk material refraktori magnesia sebesar 95,749% dan fraksi berat setelah sintering pada temperatur 1400⁰C sebesar 90,846% dan 1450⁰C sebesar 93,748% .

Dari pola difraksi sebelum di sinter sampai setelah di sinter 1400°C , dan 1450°C menunjukkan bahwa refraktori magnesia tidak terlalu banyak perubahan fasa dari sebelum *sintering* hingga sesudah *sintering* pada temperatur 1400°C dan 1450°C sehingga relatif stabil. Hasil dari pola difraksi refraktori magnesia tidak ada fasa lain yang diidentifikasi sehingga memastikan material refraktori magnesia yang diteliti merupakan material fasa tunggal. Pada refraktori tersebut tidak teridentifikasi adanya perubahan fasa menjadi fasa cair dari senyawa magnesia yang menandakan bahwa senyawa magnesia belum mencapai titik cair di temperatur *sintering* 1400°C , dan 1450°C . Sehingga refraktori magnesia mampu digunakan untuk mengisolasi *lining* tungku peleburan baja dimana baja melebur pada rentang temperatur $1300\text{-}1500^{\circ}\text{C}$.

3.3 Densitas dan Porositas



Gambar 6. Hubungan Densitas dan Porositas

Grafik hubungan kenaikan temperatur *sintering* terhadap densitas dan porositas dari refraktori magnesia terlihat pada Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur *sintering* akan berpengaruh terhadap kerapatan dari material refraktori yang dinyatakan dalam densitas refraktori dengan satuan g/cm^3 . Melalui proses pencetakan dengan kompaksi terjadi penggabungan atau pengelompokan beberapa butiran, tetapi butiran satu dengan yang lainnya belum terikat kuat. Ikatan antara butiran akan menjadi kuat setelah proses *sintering*, dimana akan terjadi penyusutan dimensi yang disertai pengurangan pori yang ada di butiran. Dengan demikian material yang telah disinter akan menjadi semakin padat dan kuat.

Proses *sintering* disebut juga sebagai proses densifikasi sehingga untuk mendapatkan kepadatan maksimum diperlukan temperatur *sintering* yang lebih besar tetapi di bawah titik cair dari material. Untuk material refraktori magnesia dengan temperatur *sintering* 1200°C , 1250°C , 1300°C , 1350°C , 1400°C dan 1450°C diperoleh nilai densitas yaitu $3,04 \text{ g}/\text{cm}^3$, $3,05 \text{ g}/\text{cm}^3$, $3,07 \text{ g}/\text{cm}^3$, $3,08 \text{ g}/\text{cm}^3$, $3,11 \text{ g}/\text{cm}^3$, $3,12 \text{ g}/\text{cm}^3$. Secara teori, nilai densitas untuk refraktori magnesia adalah $3,58 \text{ g}/\text{cm}^3$. Dan untuk porositasnya bernilai 15,7%, 12,9%, 12,4%, 11,6%, 9,2%, 6,8%.

Porositas dari material refraktori magnesia menurun seiring dengan bertambahnya temperatur *sintering*. Porositas mulai terbentuk saat proses pembentukan bahan dan berasal dari adanya ruang kosong yang terjadi di antara partikel saat kompaksi butir/serbuk pada proses pembuatan material refraktori. Porositas dapat terbentuk selama proses *sintering* akibat difusi atom yang tidak setimbang, gas yang terperangkap pada atmosfer *sintering*, atau penyebaran fasa cair yang meleleh saat *sintering*. Semakin berkurangnya porositas yang terbentuk pada material refraktori, maka densitas material refraktori akan semakin tinggi dan material refraktori semakin padat.

Dengan semakin padatnya material refraktori akan mempengaruhi ketahanan refraktori terhadap erosi suatu material akan semakin baik. Sebaliknya nilai porositas yang besar memudahkan infiltrasi logam cair ataupun terak/*slag* ke dalam material refraktori, sehingga dapat menyebabkan terlepasnya bagian permukaan dari bahan refraktori yang terinfiltrasi oleh logam maupun terak cair (*slag attack*). Sehingga dibutuhkan temperatur *sintering* yang lebih tinggi agar porositas dari material refraktori mengecil.

Proses *sintering* disebut juga proses densifikasi sehingga untuk mencapai kepadatan maksimum diperlukan temperatur pemanasan yang mendekati titik cair material. Mekanisme *sintering* ini dimulai dari kontak antar butir yang dilanjutkan dengan peleburan titik kontak akibat

proses difusi (transformasi massa) atom-atom. Difusi secara keseluruhan mengakibatkan penyusutan/*shrinkage* yang diiringi pengurangan porositas akibat pergerakan batas butir. Sebagai akibatnya dari penyusutan volume pori yang terjadi selama proses *sintering* berlangsung, maka densitas dari magnesia meningkat terhadap peningkatan temperatur *sintering*. Laju penyusutan ini dipengaruhi oleh waktu dan temperatur *sintering*.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian terhadap refraktori guna *lining* tungku induksi peleburan baja yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposisi kimia utama dari bahan refraktori yang digunakan untuk *lining* tungku induksi PT X adalah magnesia (MgO) dengan fraksi berat awal untuk material refraktori magnesia sebesar 95,749% dan fraksi berat setelah *sintering* pada temperatur 1400°C sebesar 90,846% dan 1450°C sebesar 93,748% .
2. Material refraktori magnesia terdiri dari agregat besar yang memiliki ukuran butir lebih besar dari 0,250 mm sedangkan agregat kecil memiliki ukuran butir lebih kecil dari 0,250 mm.
3. Material refraktori magnesia yang digunakan memiliki bentuk butiran *rounded* dan *sub-rounded*.
4. Densitas yang diperoleh untuk refraktori magnesia pada temperatur *sintering* 1200°C, 1250°C, 1300°C, 1350°C dan 1450°C diperoleh nilai densitas yaitu 3,04 g/cm³, 3,05g/cm³, 3,07 g/cm³, 3,08 g/cm³, 3,11 g/cm³, 3,12 g/cm³.
5. Nilai porositas dari material refraktori magnesia pada temperatur *sintering* 1200°C, 1250°C, 1300°C, 1350°C dan 1450°C adalah 15.7%, 12.9%, 12.4%, 11.6%, 9.2%, 6.8%.
6. Dengan meningkatnya temperatur *sintering* pada material refraktori akan mempengaruhi kenaikan densitas dan menurunkan porositas yang diakibatkan proses difusi/perpindahan masa selama proses *sintering* berlangsung.
7. Meningkatnya temperatur *sintering* pada material refraktori akan mengurangi fraksi berat material refraktori tersebut karena akan mengalami perubahan fasa.

DAFTAR PUSTAKA

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_heating
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_furnace
3. <http://hapli.wordpress.com/foundry/lining-tanur-induksi/>
4. Callister Jr, William. D, 1994, “*Material Science and Engineering*”, 7rd edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
5. Efendy, Hadi., 2005, “*Diktat Refraktori*”, Cilegon: PT Mitra Sigma Sejati.
6. H. Van Vlack, Lawrence., 1989, “*Ilmu dan Teknologi Bahan*” edisi 5. diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Jakarta: Erlangga.
7. www.energyefficiencyasia.org, 2006, “*Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Indonesia, Peralatan dan Energi Panas: Tungku dan Refraktori*.”
8. Efendy, Hadi., 2008, “*Studi Antioksidasi Pada Refraktori Mgo-C Monolitik Dengan Bahan Pengikat Tar-Resin*”, Disertasi S3, Bandung: Central Library Institut Teknologi Bandung.
9. Harbison Walker, 2005, “*Handbook of Refractory Practice*”, North American: Harbison Walker Refractories Company.
10. Faisal, Ahmad., 2007, “*Pengaruh Penambahan Al₂TiO₅ pada Pembuatan Keramik Al₂O₃ Terhadap Sifat Fisis dan Mikrostrukturnya*”, Thesis S2, Medan: USU.
11. Djatnika Sunda Djaja, Sonny., Hafied, 2008, “*Peleburan Besi dan Baja di Dalam Tungku Induksi Tanpa Inti*”, Jurnal Riset Industri Vol.2 No.2, pp.76-90.
12. Debucquoy, F., Baudson, H., Huger, M., Gault, C., Rigaud, M., 1997, “*High Temperature of MgO/C Refractories*”, Euro Ceramic Journal V, pp.1482-1485.
13. Suyanarayana, C., Norton, M.G., “*X-Ray Diffraction A Practical Approach*”, New York: Plenum Press.
14. Barsoum, Michel W., 2003, “*Fundamental of Ceramics*”, Philadelphia: IOP Publishing Ltd.
15. Erica L. Corral, Ronald E. Loehman, and Denise Bencoe, 2008, “*Tape Casting of Magnesium Oxide*”, New Mexico: Sandia National Laboratories.