



TUGAS AKHIR- MM 091381

**PENGARUH PENAMBAHAN *FLUX* SILIKA PADA
PROSES *CONVERTING* PADA TEMBAGA *MATTE*
MENJADI *BLISTER***

Sahl Balbeid
NRP. 2710 100 011

Dosen Pembimbing :
Sungging Pintowantoro, S.T.,M.T., Ph.D

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014



FINAL PROJECT - MM 091381

THE EFFECT OF SILICA FLUX ADDED FOR CONVERTING PROCESS OF COPPER MATTE TO BLISTER

Sahl Balbeid
NRP. 2710 100 011

Advisor
Sungging Pintowantoro, S.T.,M.T., Ph.D

Department of Material And Metallurgy Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2014

PROPOSAL TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *FLUX* SILIKA PADA PROSES *CONVERTING* PADA *TEMBAGA MATTE* MENJADI *BLISTER*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metallurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SAHL BALBEID

NRP. 2710 100 011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sungging Pintowantoro, M.P.T., Ph.D..... (Pembimbing)



PENGARUH PENAMBAHAN FLUX SILIKA PADA PROSES
CONVERTING PADA TEMBAGA MATTE MENJADI
BLISTER

Nama Mahasiswa : Sahl Balbeid
NRP : 2710100011
Dosen Pembimbing : Sungging Pintowantoro S.T, M.T., Ph.D.

Abstrak

Pada optimalisasi matte hasil *smelting* reaktor *mini blast furnace* maka diperlukan proses *converting*. Proses *converting* ini sendiri menggunakan gas oksigen dan silika *flux* untuk reduktor yang dapat menghilangkan slag atau pengotor pada *matte* tembaga hasil proses *smelting*. *Silika flux* digunakan sebagai flux karena jumlahnya yang banyak di alam dan mudah bereaksi dengan besi, disini tujuannya untuk menghilangkan kandungan Fe dalam *matte* hasil *smelting*. Adapun langkah-langkah penelitian yang dibuat dengan preparasi awal dari matte tembaga dan silika *flux*, lalu melakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD dan XRF selanjutnya mencari persen massa dari Fe yang terkandung dalam sehingga dapat mengetahui berat optimal untuk silika *flux* yang dibutuhkan. Lalu membuat fraksi perbandingan untuk silika flux:Fe yaitu 0 ; 0.3 ; 0.5 ; 0.9 dan selanjutnya melakukan percobaan dengan menaburkan silika *flux* dipermukaan matte cair dan akan terbentuk *slag* dipermukaan. Dan selanjutnya melakukan uji XRD dan XRF pada blister tembaga dan *slag*. Hasil yang didapatkan pada blister maupun slag adalah grafik peningkatan kadar tembaga sejalan dengan penambahan flux silika yang dimasukkan pada hasil *converting*.

THE EFFECT OF SILICA FLUX ADDED FOR CONVERTING PROCESS OF COPPER MATTE TO BLISTER

Name : Sahl Balbeid

NRP : 2710100011

Advisor: Sungging Pintowantoro S.T, M.T., Ph.D.

Abstract

For optimal matte product of mini blast furnace reactor we need a converting process. On converting process using an air injection and silica flux for redactor to eliminate the slag or gangue in copper matte product of smelting. Silica flux is used in this research because silica quartz flux is many in this world and silica flux is easy to reaction to the iron (Fe). The steps for this research are first preparation tools and materials, the materials are copper matte and silica flux. First examination of copper matte and silica flux with XRD and XRF subsequently find percentage of Fe in copper matte for finding the optimal weight of silica flux that we need. Then we make a fraction of comparison silica flux:Fe 0 ; 0.3 ; 0.5 ; 0.9 and the next step is doing the research with silica flux added to the surface of molten copper matte and the slag is coming up then scoop the slag. The blister and slag product of converting we examination with XRD and XRF. The results are increased of copper rate in copper blister and also in slag in line with ratio of silica flux and iron. And for the gangue like Fe and S are decreased in line with ratio of silica flux and iron in copper blister.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb. Puji syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan berkat rahmat, taufiq serta hidayah Nya penyusun dapat menyelesaikan proyek tugas akhir ini dengan judul :

PENGARUH PENAMBAHAN *FLUX* SILIKA PADA PROSES *CONVERTING* PADA TEMBAGA *MATTE* MENJADI *BLISTER*

Dalam penyelesaian proyek tugas akhir ini penulis berpegang pada teori yang pernah penulis dapatkan dan bimbingan dari pembimbing tugas akhir, serta pihak-pihak yang membantu sampai terselesaikannya proyek tugas akhir ini.

Proyek tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Material dan Metallurgi Fakultas Teknologi Industri-ITS Surabaya sebagai wujud nyata dan implementasi ilmu yang telah diperoleh di bangku kuliah.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu hingga penulisan buku tugas akhir ini selesai. Penulis menyadari bahwa hasil dari proyek tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki dan dibenahi. Oleh karena itu kritik dan saran senantiasa penulis harapkan untuk kemajuan di masa yang akan datang. Atas segala kekurangan penulis mohon maaf dan semoga yang telah ada ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tembaga	5
2.2 Mineral Tembaga	6
2.3 Kalkopirit	8
2.4 Pengolahan Tembaga Secara Pirometalurgi	9
2.4.1 Benefikasi (Crushing, grinding dan flotasi)	11
2.4.2 Roasting	12
2.4.3 Matte Smelting	12
2.4.4 Converting	13
2.4.5 Elektro refining dari tembaga <i>blister</i>	13
2.5 Proses Converting Menggunakan Silika <i>flux</i>	14
2.5.1 Silika	14
2.5.2 Converting pada Matte	17
2.5.3 Batch Converting	19
2.5.4 Slag dan flux	22
2.6 Slag Hasil Converting	23
2.7 Termodinamika Dalam Proses Converting	25
2.8 Penelitian Sebelumnya	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian.....	33
3.2.1 Alat-alat Penelitian.....	33
3.2.2 Bahan-bahan Penelitian.....	38
3.3 Rancangan Penelitian.....	41
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	42
3.4.1 Persiapan Sampel Pnegujian Awal.....	42
3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan untuk Proses Converting	
3.4.3 Pengujian Sampel.....	43

BAB IV ANALISA DATA

4.1 Proses Converting pada Tembaga Matte.....	45
4.2 Karakterisasi Awal Matte dan Logam Tembaga.....	45
4.3 Pengaruh Penambahan Silika terhadap Tembaga blister Hasil Converting.....	49
4.4 Pengaruh Penambahan Silika terhadap Slag Hasil Converting.....	56

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65

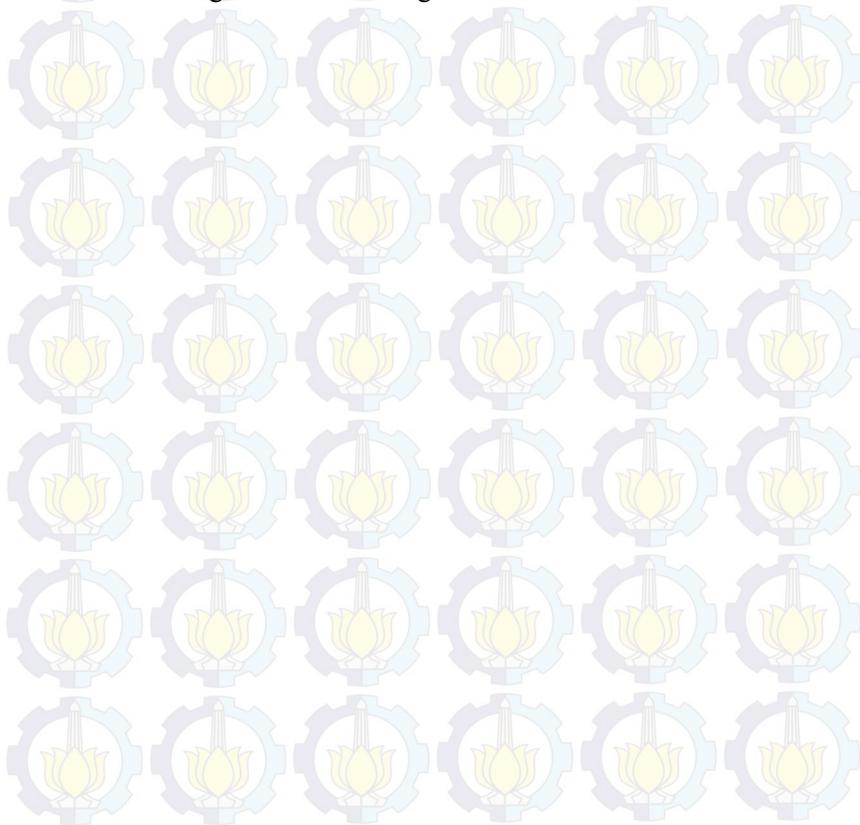
DAFTAR PUSTAKA.....	xii
----------------------------	------------

LAMPIRAN.....	67
----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kalkopirit.....	9
Gambar 2.2 Flow sheet Pengolahan bijih Tembaga.....	10
Gambar 2.3 Silika Flux.....	15
Gambar 2.4 Ikatan Si-O.....	16
Gambar 2.5 Ikatan Fe-Si-O.....	16
Gambar 2.6 Diagram Kesetimbangan Cu-S.....	18
Gambar 2.7 Skema Proses Converting Pada PS Converter.....	19
Gambar 2.8 Mekanisme Kerja Silika Dalam Matte dan Slag.....	20
Gambar 2.9 Skema Muffle Furnace.....	21
Gambar 2.9 Diagram Fasa Ternary Slag FeO-Fe ₂ O ₃ -SiO ₂	24
Gambar 2.10 Diagram kesetimbangan ternary FeO-Fe ₂ O ₃ - CaO/SiO ₂	24
Gambar 2.11 Diagram Ellingham.....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 3.2 Muffle Furnace.....	33
Gambar 3.3 Mesin XRD.....	33
Gambar 3.4 Mesin XRF <i>Portable</i>	34
Gambar 3.5 Termometer Infrared.....	34
Gambar 3.6 Timbangan Digital.....	34
Gambar 3.7 Alat Scooping Slag.....	35
Gambar 3.8 Cetakan Tembaga.....	35
Gambar 3.9 Kompresor.....	35
Gambar 3.10 Palu.....	36
Gambar 3.11 Obeng.....	36
Gambar 3.12 Penumbuk.....	36
Gambar 3.13 Helm Safety.....	37
Gambar 3.14 Sarung Tangan Safety.....	37
Gambar 3.15 Matte Tembaga.....	38
Gambar 3.16 Logam Tembaga.....	39
Gambar 3.17 Serbuk Silika.....	40
Gambar 3.18 LPG.....	40
Gambar 3.19 Skema Uji XRD.....	43
Gambar 3.20 Mesin Uji XRF.....	44

Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Awal Logam Tembaga.....	46
Gambar 4.2 Hasil Pengujian XRD Awal Matte Tembaga.....	47
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil Tembaga Blister.....	50
Gambar 4.4 Grafik Kadar Tembaga pada Blister Tembaga.....	53
Gambar 4.5 Tembaga Blister Hasil Converting.....	54
Gambar 4.6 Potongan Tembaga Blister.....	55
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Slag.....	57
Gambar 4.8 Slag Hasil Converting.....	60



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Komposisi Cu untuk Tiap Mineral Tembaga.....	7
Tabel 2.2 Sifat Termodinamika Beberapa Senyawa.....	26
Tabel 2.3 Penelitian Sebelumnya.....	29
Tabel 3.1 Hasil Pengujian XRF Awal Matte Tembaga.....	38
Tabel 3.2 Hasil Pengujian XRF Awal Logam Tembaga.....	39
Tabel 3.3 Hasil Pengujian XRF Silika Flux.....	40
Tabel 3.3 Rancangan Penelitian Pengaruh Jumlah Penambahan SiO ₂ (dalam rasio) Terhadap Hasil Proses Converting.....	41
Tabel 4.1 Hasil Pengujian XRD Awal Logam Tembaga.....	46
Tabel 4.2 Hasil Pengujian XRD Awal <i>Matte</i> Tembaga.....	46
Tabel 4.3 Pengujian XRF Awal Matte Tembaga.....	48
Tabel 4.4 Pengujian XRF Awal Logam Tembaga.....	48
Tabel 4.5 Pengujian XRF Awal Pasir Silika.....	48
Tabel 4.6 Hasil Pengujian XRD Blister Tembaga.....	50
Tabel 4.7 Hasil Pengujian XRF Tembaga Blister.....	52
Tabel 4.8 Hasil Pengujian XRD Slag.....	56
Tabel 4.9 Hasil Pengujian XRF Slag.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu Negara yang mempunyai potensi dibidang pertambangan contohnya emas, tembaga nikel, batu bara dan sebagainya. Dengan adanya potensi tersebut Indonesia seharusnya dapat mendongkrak ekonomi dan kesejahteraan masyarakat Indonesia itu sendiri. Dengan adanya sumber daya yang cukup Indonesia seharusnya sudah menjadi Negara maju yang dapat mengelola sumber daya mandiri. Contohnya dalam mengelola mineral tembaga yang banyak terdapat di Indonesia.

Selain itu Menurut data *USGS (United State Geological Survey)* pada *mineral year book* 2011, Indonesia menghasilkan produk tembaga (tanpa proses *smelting*) sebesar 542.700 metrik ton. Hal tersebut menempatkan Indonesia pada urutan ke lima dunia dalam kapasitas produksi tambang tembaga. Tetapi, hal tersebut tidak diimbangi dengan hasil produksi tembaga hasil proses *smelting*, Indonesia hanya mampu memproduksi produk *smelting* tembaga sebesar 276.200 metrik ton.

Indonesia termasuk Negara yang mempunyai hasil mineral tembaga yang sangat banyak dibandingkan dengan Negara lain, tetapi untuk proses *smelting* Indonesia masih ada diposisi bawah dibandingkan dengan Negara lain. Indonesia memiliki peringkat dibawah Cina, Amerika Serikat dan India. Serta Indonesia dikalahkan oleh India yang tidak banyak mempunyai produksi mineral tembaga dapat menghasilkan produk *smelting* yang lebih tinggi dibandingkan dengan Indonesia. Hal inilah yang perlu dibenahi oleh Negara kita.

Dikarenakan hal ini maka dari itu terbitlah peraturan perundang-undangan baru, yaitu Peraturan Menteri ESDM Nomor 07 Tahun 2012 dan UU MINERBA No 4. Tahun 2009 tentang peningkatan nilai tambah mineral dan batu bara



melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian mineral. Dengan adanya peraturan perundang-undangan tersebut maka Negara kita harus bersiap diri untuk dapat mencari alternatif dan inovasi pengolahan dari mineral-mineral yang ada. Di kabupaten Wonogiri kita mendapatkan banyak cadangan mineral tembaga yang tinggi dan dengan adanya rencana pembangunan industry pengolahan mineral maka dari itu kita harus mempersiapkan proses yang dapat mengolah mineral tersebut hingga menjadi produk hasil smelting.

Salah satu cara alternatif pengolahan mineral tembaga yaitu menggunakan pyrometallurgy atau proses smelting menggunakan *Mini Blast Furnace* (MBF). MBF sendiri adalah alat yang prinsip kerjanya sama seperti kupola dan *blast furnace* menggunakan metode *pyrometallurgy*. Dengan menggunakan metode *pyrometallurgy* untuk mengolah mineral tembaga maka perlu diadakan penelitian tentang mineral tembaga yang akan di olah. Mineral tembaga memiliki beberapa jenis, setiap jenis dari mineral tembaga akan menghasilkan reaksi yang berbeda-beda apabila diolah dengan proses *pyrometallurgy*. Tembaga sendiri banyak jenisnya antara lain kalkopirit (CuFeS_2), kalkosit (Cu_2S), bornit (Cu_5FeS_4), kovelit (CuS), dan enargit (Cu_3AsS_4). Mineral tembaga juga terdapat dalam bentuk deposit oksida, yaitu krisokola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), malasit ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), dan azurit ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$).

Setelah proses *smelting* dengan *mini blast furnace* dilakukan maka hasil dari proses *smelting* ini akan masuk dalam proses selanjutnya yaitu proses *converting*. Proses *converting* ini dilakukan menggunakan *muffle furnace* dengan metode menambahkan gas oksigen dan serbuk silika dalam *matte* tembaga.

Silika *flux* digunakan untuk menjadi reduktor sebagai pengikat pengotor atau *slag* dikarenakan jumlahnya yang banyak dialam dan rektifnya dari silika terhadap logam-logam seperti besi, karena umumnya pengotor dalam mineral



tembaga adalah Fe. Dan silika ini akan mengikat Fe dalam bentuk oksida yaitu FeO.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah untuk penelitian ini adalah bagaimana pengaruh dari penambahan *flux* silika pada proses *converting* hasil *smelting* mineral tembaga dari Kab. Wonogiri dan Sumbawa.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan silika *flux* pada proses *converting*.

1.4 Manfaat Penelitian

Memberikan proses alternatif untuk proses pengolahan dari mineral tembaga untuk skala kecil dan menengah. Serta manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi terhadap penambahan silika *flux* pada proses *converting*.

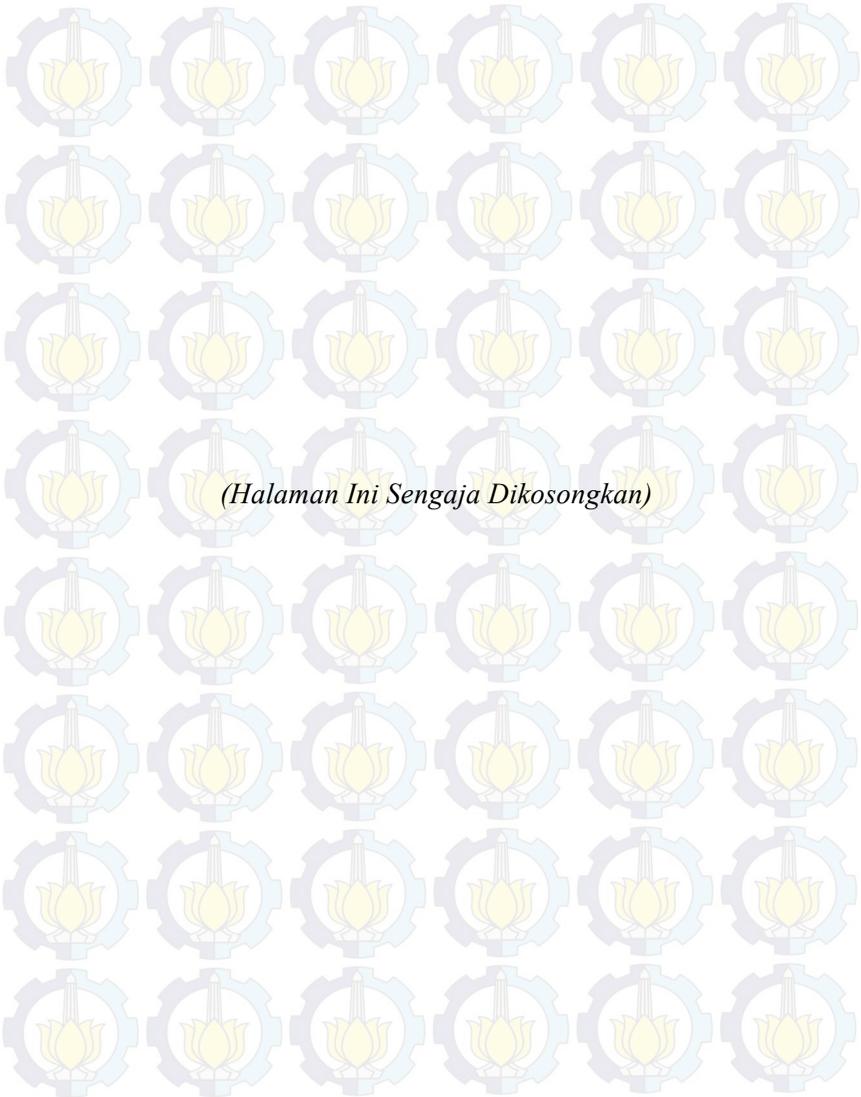
1.5 Batasan Masalah

Untuk menganalisa masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yaitu:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan logam tembaga kadar rendah dan matte tembaga dengan komposisi 517:483 (gram)
2. Kadar dari raw material logam tembaga adalah 73.65% Cu dan matte tembaga 41.01% Cu
3. Menggunakan tekanan, volume oksigen dan temperatur yang konstan
4. Ukuran butir dan komposisi dari *flux* silika dianggap homogen.
5. Kerja muffle furnace dianggap sempurna
6. Pengotor lainnya selain S dan Fe tidak dihitung.



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tembaga

Tembaga adalah salah satu metal yang mempunyai warna keemasan tetapi mendekati warna abu-abu, sudah ditemukan sejak jaman dahulu kala. Tembaga selalu menjadi material terpenting dalam dunia perindustrian. Dan untuk jaman sekarang seirng kali digunakan untuk material yang mempunyai berat yag ringan. Tembaga mempunyai konduktivitas panas dan *electrical* yang tinggi selain itu tembaga juga mempunyai *ductility* dan *workability* yang baik dan juga tahan akan korosi yang tinggi. (Habashi Fathi, 1997)

Serta tembaga banyak dijadikan paduan contohnya kuningan dan perunggu. Bijih dari tembaga biasanya mempunyai warna yang terang dan mengkilap contohnya merah, hijau dan biru. Untuk sekarang chili masih menjadi Negara yang memproduksi mineral tembaga tertinggi sementara untuk penghasil smelting dan produk jadi tembaga peringkat pertama adalah Amerika. Dilihat dari properties yang dimiliki tembaga banyak tergantung dari tingkat kemurniannya, selain itu tergantug pula terhadap oxygen content. (Habashi Fathi, 1997)

Tembaga (Cu) adalah salah satu logam yang mana memiliki struktur kristal *faced-centered cubic*. Di awal peradaban, tembaga dibentuk dengan ditempa menjadi bentuk yang diinginkan atau dengan metode *smelting* dan *casting*. Banyak jenis bijih tembaga seperti *oxide (cuprite)*, *sulfide(chalcopyrite, bronite, chalconite, dan covellite)*, *carbonat (malachite dan auzurite)*, atau dalam bentuk silika (*chrysocolla*). Banyak dari jenis jenis *ore* ini ditemukan pada permukaan bumi yang tidak terlalu dalam. (Horath, 2001)



2.2 Mineral Tembaga

Lebih dari 200 mineral mengandung tembaga didalamnya, tetapi hanya 20 saja yang mempunyai kadar *copper* yang tinggi. Tembaga mempunyai *typical chalcocic element* yaitu mineral pengotornya adalah sulfida seperti didalam mineral tembaga *chalcopyrite*, *botnite*, dan *chalcocite*. Yang kedua adalah *oxidation zone*, yaitu oksigen dan air yang membentuk tembaga oksida, *subsals* (subkarbonat dan subsulfat) dan silikat. (Habashi Fathi, 1997)

Mineral lain yang sering ditemukan bersama mineral tembaga adalah besi, zinc, antimony dan arsenic serta terkadang selenium, tellurium, bismuth, perak dan emas. Untuk cadangan mineral tembaga yang ada didunia masih banyak berada dikawasan amerika utara, amerika selatan, afrika, asia dan eropa.

Tembaga di alam umumnya berupa mineral tembaga-besi-sulfat dan tembaga-sulfat. Bijih tembaga yang paling umum adalah *sulphides*, *chalcocite* Cu_2S , *chalcopyrite* CuFeS_2 , *covellit* CuS , dan *Bornite* Cu_5FeS_4 . Konsentrasi mineral tersebut rendah dalam sebuah bijih. Umumnya copper ore mengandung dari 0,5% (*open pit mines*) hingga 1 atau 2 % Cu (*underground mines*). Tembaga murni yang diproduksi dari bijih bijih ini menggunakan metode pembentukan konsentrat, peleburan dan pemurnian. Tembaga juga didapat dari mineral yang teroksidasi, *cuprite* (Cu_2O): karbonat, *malachite*, dan *azurite*: silika, *chrysocholla*. bijih dalam bentuk ini kebanyakan diolah dengan menggunakan metode *hydrometallurgy*. (Davenport, 2002)

Tiap mineral tembaga memiliki persentase Cu yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan struktur kimia tiap mineral tembaga berbeda-beda. Tabel 2.2 menunjukkan perbedaan komposisi Cu pada tiap mineral tembaga.



Tabel 2.1 Perbedaan Komposisi Cu untuk Tiap Mineral Tembaga.

No	Tipe	Jenis Mineral	Rumus Kimia	% Cu Teoritis
1	Mineral sulfida primer (<i>hypogene sulfides</i>)	Kalkopirit Bornit	$CuFeS_2$ Cu_3FeS_4	34,6 63,3
	Mineral Sekunder			
2	<i>Supergene sulfides</i>	Kalkosit Kovelit	Cu_2S CuS	79,9 66,5
2	Tembaga alam	Logam	Cu^0	100
3	Karbonat	Malasit Azurit	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	57,5 55,3
4	Hidroksi-silikat	<i>Chrysocolla</i>	$CuO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$	36,2
5	Hidroksi-klorit	<i>Alacमितe</i>	$Cu_2Cl(OH)_3$	59,5
6	Oksida	Cuprit Tenorit	Cu_2O CuO	88,8 79,9
7	Sulfat	Antlerit <i>Brochantite</i>	$CuSO_4 \cdot 2Cu(OH)_2$ $CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$	53,7 56,2

Sumber : Devenport, 2002

Mining adalah ekstraksi yang dilakukan pada mineral dari batuan yang mengandung mineral logam berharga. Dalam proses mining ini ada beberapa metode yang dapat dilakukan yaitu dengan metode underground dan open pit, metode open pit adalah metode yang paling banyak digunakan karena lebih mudah untuk prosesnya.



2.3 Kalkopirit

Kalkopirit berasal dari bahasa Yunani "*chalkos*", yang artinya tembaga dan "*pyrites*" yang artinya api dan itu juga diketahui sebagai tembaga pirit (Szymanowski, 1996). Kalkopirit merupakan mineral tembaga dengan deposit yang paling besar (Nesse, 2000). Di alam, kalkopirit mengandung banyak mineral lain seperti seng, belerang dan besi. Tembaga ialah produk yang bernilai sedangkan belerang ialah produk yang beracun. Pada tahun 1980, 70% nilai produksi berasal dari produksi asam sulfur (Hyavarinen dkk, 2003). Hal tersebut tidak hanya sumber terbanyak dari tembaga sulfida, akan tetapi juga mineral yang paling stabil karena konfigurasi strukturalnya (*face-centered tetragonal lattice*). Hal itu juga paling banyak digunakan sebagai refraktori untuk proses hidrometalurgi (Haver dan Wang, 1971). Kalkopirit adalah mineral primer yang mana dengan perubahan dan peningkatan kadar yang baik dapat memproduksi mineral tembaga lain. Seperti bornit (Cu_5FeS), kovelit (CuS), kalkosit (Cu_2S) dan tembaga alam (Cu) (Brantley, 2003).

Kalkopirit memiliki struktur kimia berupa CuFeS_2 . Kalkopirit memiliki warna kuning tembaga dan kuning keemasan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Kalkopirit memiliki struktur kristal berbentuk *face-centered tetragonal*. Kalkopirit memiliki kekerasan sebesar 3,5 – 4 dalam skala Mohs. Komposisi dari kalkopirit ialah 34,63% Cu, 30,43% Fe, 34,94% S. Di alam, kalkopirit sering ditemukan bersama mineral lain, seperti Sphalerit, galena, tetrahedrit, pirit dan banyak tembaga sulfida yang lainnya (Mineral data publishing, 2001-2005).

Pada sekarang ini, terdapat dua metode untuk mengolah kalkopirit. Yang pertama dan paling penting ialah dengan metode pirometalurgi konvensional. Metode ini menggunakan berbagai tipe reaktor dan juga menggunakan teknologi flash, yang mana terdiri dari *crushing*, *grinding*, flotasi, *smelting*, *refining* dan *electro refining*. Metode yang kedua ialah dengan metode hidrometalurgi.



Gambar 2.1 Kalkopirit

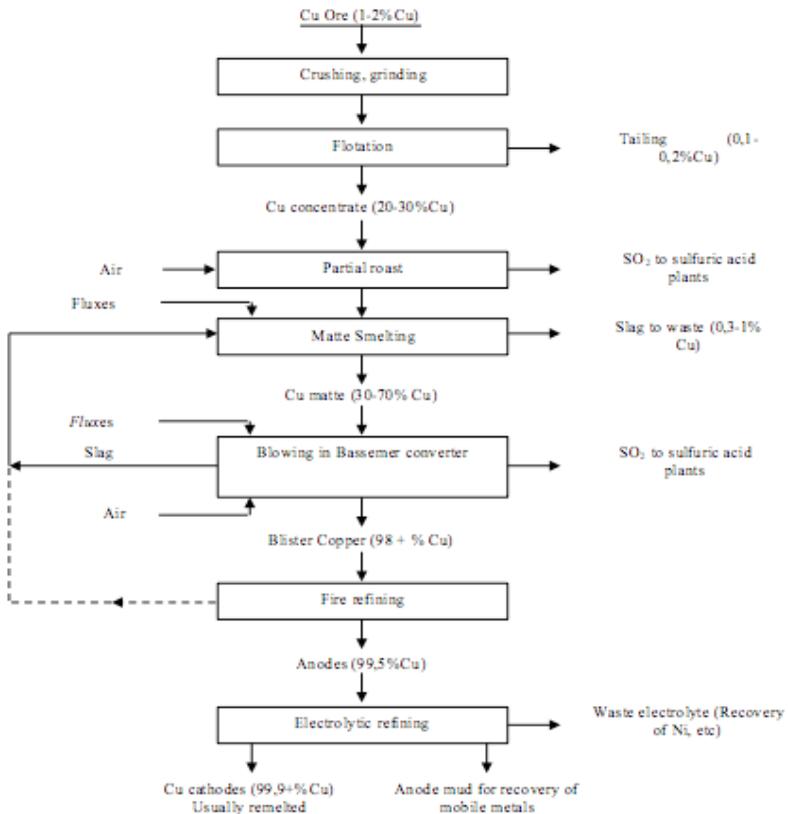
Pada sekarang ini, terdapat dua metode untuk mengolah kalkopirit. Yang pertama dan paling penting ialah dengan metode pirometalurgi konvensional. Metode ini menggunakan berbagai tipe reaktor dan juga menggunakan teknologi flash, yang mana terdiri dari *crushing*, *grinding*, flotasi, *smelting*, *refining* dan *electro refining*. Metode yang kedua ialah dengan metode hidrometalurgi. Hidrometalurgi terdiri dari *crushing*, *leaching* (baik *leaching* secara non-oksidasi, atmosferik dan tekanan), ekstraksi pelarut dan *electrowinning*. Hidrometalurgi dapat secara efektif dilakukan untuk mineral yang mengandung oksida, seperti CuO , Cu_2O , karbonat dan beberapa silikat, serta mineral sulfida dengan kalkopirit sebagai mineral tembaga yang dominan (Haver dan Wang, 1971).

2.4 Pengolahan Tembaga Secara Pirometalurgi

Dalam skema pengolahan mineral tembaga, ada beberapa istilah penting antara lain unit proses, unit operasi dan *flow sheet*. Unit proses ialah suatu langkah yang dicirikan oleh suatu reaksi



kimia tertentu. Unit operasi ialah suatu langkah yang disirikan oleh fitur-fitur fisik tertentu. (Rosenqvist, 2004).



Gambar 2.2 Flow Sheet Pengolahan Bijih Tembaga (Rosenqvist, 2004).

Di sisi lain, *flow sheet* adalah proses atau kombinasi proses yang digunakan dalam sebuah gambaran pabrik, yang mana terdiri dari unir proses dan unit operasi. Tiap mineral memiliki



*flow sheet*nya sendiri-sendiri, berbeda antara mineral satu dengan mineral lainnya (Rosenqvist, 2004).

Pengolahan tembaga memiliki *flow sheet* tertentu yang mana terdiri dari *crushing*, *grinding*, flotasi, *roasting*, *smelting*, *blowing*, *fire refining* dan elektrolitik *refining*. *Flow sheet* pengolahan mineral tembaga diperlihatkan pada Gambar 2.7.

2.4.1. Benefikasi (Crushing, grinding dan flotasi)

Sebelum dimasukkan ke *smelter*, *ore* harus dibenefikasi. Benefikasi ialah bagian proses ekstraksi yang mana tujuannya ialah meningkatkan sifat fisik dan kimia *ore*. Untuk proses benefikasi *high-grade ore* caranya dengan *crushing* sehingga membentuk *fine ore* dan *lump ore* (*ore* kasar). Sedangkan *Low-Grade* caranya dengan urutan : *washing*, *screening*, *magnetic separation*, *concentration* dll. Hasil dari benefikasi ini dinamakan sebagai konsentrat. Baik *fine ore* maupun konsentrat harus digumpalkan (diagglomerasi) sebelum masuk ke BF, karena jika *ore* atau partikel serbuk terlalu halus, maka tidak bisa menyediakan *counter flow* (turun) yang baik dan gas yang naik. Dua cara aglomerasi yang umum digunakan ialah *sintering* dan *pelletizing*. *Sintering* untuk *fine ore*, sedangkan *pelletizing* untuk konsentrat (Babich dkk, 2008).

Impuritas dalam *ore* dibagi menjadi impuritas yang berguna dan yang membahayakan. Impuritas yang membahayakan antara lain S, P, As, Zn, Pb, Na, K. Zn dan Pb dapat merusak lapisan refraktori dengan mengurangi *life time* dari *Blast Furnace*. Alkali menyebabkan pengurangan kekuatan kokas dan pellet, mengganggu distribusi gas dan pengaliran produk likuid (Babich dkk, 2008).

Crushing mineral tembaga dilakukan dengan menggunakan *jaw crusher* atau dengan *crusher* lainnya, sedangkan *grinding* dilakukan dengan menggunakan *ball mill*. Tujuan dari *crushing* dan *grinding* ini ialah untuk mengecilkan ukuran *ore* hingga ukuran tertentu yang diijinkan masuk ke *smelter*.



Setelah *ore* dikecilkan ukurannya, kemudian dilakukan konsentrasi yaitu dengan metode flotasi. Metode flotasi dilakukan dengan tujuan meningkatkan kadar Cu dalam *ore* dengan cara memanfaatkan sifat hidrofilik dan hidrofobik antara *ore* dan *gangue* terhadap cairan flotasi. Teknik flotasi yang paling sering digunakan ialah *Froth Flotation* (Babich dkk, 2008).

2.4.2. Roasting

Roasting disini bertujuan untuk menghilangkan impuritas yang ada pada konsentrat. Biasanya, konsentrat mengandung 10-56% air. Mineral tembaga tadi dipanaskan hingga temperatur 590°C. Impuritas-impuritas seperti arsenik, raksa dan beberapa belerang hilang, belerang dihilangkan dengan cara pembentukan gas SO₂. Yang tersisa ialah produk oksidasi yang mengandung persentase belerang yang cukup rendah untuk *smelting*. Reaksi yang terjadi pada saat *roasting* ialah sebagai berikut.



Kemudian, tembaga (I) sulfida diubah menjadi tembaga dengan tiupan udara akhir.



Pada 2005, *roasting* tidak lagi umum digunakan pada perlakuan konsentrat. Teknologi yang sedang umum digunakan ialah *smelting* langsung, seperti : *flash smelting*, Noranda, USA *smelting*, Mitsubishi atau dapur EL Temento (Babich dkk, 2008).

2.4.3. Matte Smelting

Tujuan dari *matte smelting* ialah menghilangkan unsur selain Cu pada *ore* tembaga, bisa dengan cara mengoksidasi atau dengan cara mereduksi dengan *gas furnace* untuk memproduksi fasa likuid sulfida yang kaya akan Cu (*matte*). Produk dari proses *smelting* ini antara lain (i) *matte* liquid sulfida (45-75% Cu) dan (ii) *slag*. Selain itu, proses *smelting* juga menghasilkan gas luar berupa SO₂ (10 – 60% SO₂). SO₂ ini berbahaya terhadap



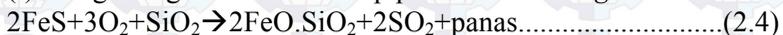
lingkungan, sehingga SO_2 ini harus dihilangkan sebelum dilepaskan ke lingkungan. Hal ini sering dilakukan dengan penangkapan gas SO_2 sebagai asam sulfurik. Berbagai jenis *smelter* dapat digunakan untuk proses smelting ini antara lain Mitsubishi, Outokumpu, Flash dan lain-lain (Devenport, 2002).

2.4.4. Converting

Converting dilakukan dengan cara mengalirkan udara yang kaya akan oksigen ke *matte*. Hal ini menghilangkan Fe dan S dari *matte* untuk menghasilkan tembaga cair mentah (99% Cu). Proses *converting* ini umumnya dilakukan pada konverter silindrik Pierce-Smith (Devenport, 2002).

Matte yang berupa cairan (1200°C) ditransfer dari *smelter* ke dalam ladell dan dituangkan ke dalam konverter melalui saluran terpusat yang besar. Kemudian *matte* tadi ditiupkan oksigen (*blast*) dan konverter diputar. Panas yang terbentuk dari proses oksidasi Fe dan S cukup untuk membuat proses berjalan secara autotermal. Contoh reaksi yang ada dalam konverter ialah sebagai berikut.

(i) Penghilangan FeS atau tahap pembentukan *slag*.



(ii) Tahap pembentukan tembaga *blister*.



SO_2 , 8 hingga 12 % volume dalam konverter off gas, ialah produk dari reaksi *converting*. Hal tersebut kemudian dikombinasikan dengan gas dari *smelter* dan ditangkap sebagai asam sulfurik (Devenport, 2002).

2.4.5. Elektro refining dari tembaga *blister*.

Tembaga dari proses konverter kemudian dimurnikan dengan cara elektrokimia menjadi katoda tembaga yang memiliki kemurnian sangat tinggi. Tembaga ini hanya memiliki impuriti kurang dari 20 ppm. Proses elektro refining ini membutuhkan anoda yang kuat, tipis dan datar untuk disisipkan katoda pada sel



refining. Anoda ini diproduksi dengan menghilangkan S dan O dari tembaga blister kemudian dicor pada cetakan berbentuk anoda. Proses elektrefining ini memerlukan :

- (i) Tembaga yang larut secara elektrokimia dari anoda yang tak murni ke dalam elektrolit $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$
- (ii) Tembaga murni (tanpa imupriti pada anoda) dari elektrolit ke baja tahn karat atau katoda tembaga (Deavenport, 2002).

2.5 Proses Converting Menggunakan *flux* silika

2.5.1 Silika

Silika adalah elemen dimana elemen silikon yang berikatan dengan oksigen, silikon adalah elemen kedua terbanyak yang ada di dunia setelah oksigen. Silikon yang mempunyai simbol kimia Si termasuk dalam non-metal. Silika (SiO_2) terbentuk dari campuran antara silikon dan oksigen, dikarenakan dua elemen pembentuk silika adalah elemen-elemen yang banyak terdapat di dunia maka silika pun banyak ditemui di alam, contohnya banyaknya pasir silika. Contohnya lainnya silika di alam ditemui dalam bentuk kuarsa (*quartz*). (*Society For Mining Metallurgy and Exploration*, 1998)

Dalam konsentrat tembaga/nikel sulfida pengotor yang paling banyak terdapat adalah besi dan sulfur. Dalam proses *pyrometallurgy* cara untuk menghilangkan pengotor tersebut biasa dengan cara oksidasi untuk menghasilkan sulfur dan mengubah besi menjadi besi oksida, tetapi besi oksida tidak akan hilang kecuali dengan menambah silika *flux* yang akan bereaksi dengan besi oksida dan membentuk *fayalite slag* yang tidak larut dalam fase sulfida. Dalam proses *converting* menggunakan *flux* tidak hanya kualitas dari *flux* yang digunakan yang berpengaruh tetapi ada juga pengaruh temperatur dan metode dalam menambahkan *flux*. (Davenport, 2002)



Gambar 2.3 flux Silika

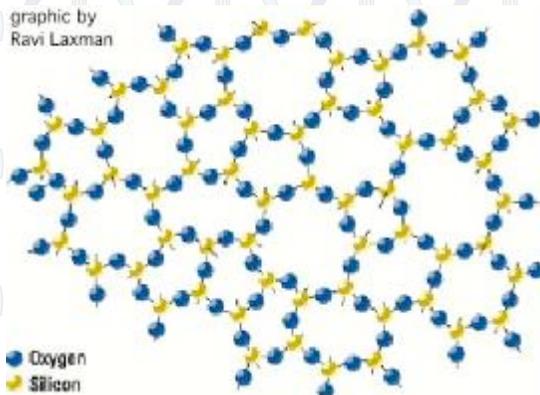
Silika atau dikenal dengan silikon dioksida (SiO_2) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan feldspar.

Silika biasa diperoleh melalui proses penambangan yang dimulai dari menambang pasir kuarsa sebagai bahan baku. Pasir kuarsa tersebut kemudian dilakukan proses pencucian untuk membuang pengotor yang kemudian dipisahkan dan dikeringkan kembali sehingga diperoleh pasir dengan kadar silika yang lebih besar bergantung dengan keadaan kuarsa dari tempat penambangan. Pasir inilah yang kemudian dikenal dengan pasir silika atau silika dengan kadar tertentu.

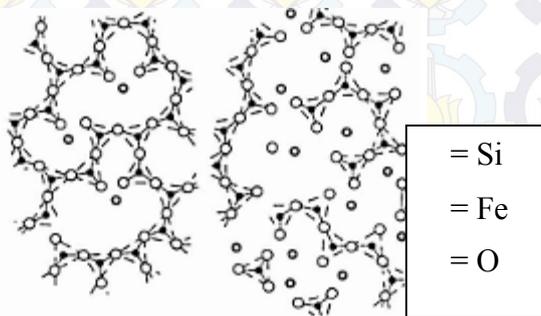
Dalam ekstraksi tembaga secara *pyrometallurgi*, biasanya silika berfungsi sebagai flux. Tujuan ditambahkan silika yaitu untuk mengikat slag dari proses ekstraksi tembaga sehingga memungkinkan untuk mendapatkan *recovery* tembaga yang tinggi. (Sanusi, 1984)



Ikatan Si dengan O sangat kuat sehingga untuk melepaskan ikatan antara Si dan O harus dibutuhkan energi yang cukup tinggi. Agar Fe dapat terikat dengan Si dan O untuk membentuk Slag. Sebelum terikatnya Fe dengan Si dan O, struktur Si dan O masih teratur α -quartz seperti yang terlihat pada Gambar 4.6. Tetapi setelah ikut Fe berikatan mengubah struktur Si-O menjadi tidak teratur yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Selain untuk mengikat Fe pada kalkopirit SiO_2 juga berpengaruh pada *Viscosity* slag yang terbentuk..(Davenport, 2002).



Gambar 2.4 Ikatan Si – O



Gambar 2.5 Ikatan Fe – Si – O



2.5.2 *Converting* pada *Matte*

Matte cair hasil dari proses *smelting* mengandung tembaga, besi dan sulfur yang menjadi kandungan utamanya, metal pengotor lainnya adalah As, Bi, Ni, Pb, Sb, Zn dan metal berharga yang tidak hilang dalam proses *smelting*. Maka setelah proses *smelting matte* akan masuk dalam *converter* untuk proses *converting* untuk membentuk '*blister copper*'. Pada umumnya proses *converting* ini untuk menghilangkan kandungan pengotor besi dan sulfur serta pengotor lainnya untuk menghasilkan *copper* cair yang mempunyai kemurnian 98.5-99.5% Cu dan rendah dalam kandungan sulfur dan oksigen (0.02-0.1% S dan 0.5-0.8% O). proses *converting* dilakukan dengan proses oksidasi pada temperatur tinggi 1250-1300C dimana oksidannya adalah udara menggunakan udara atau oksigen murni, dilihat dari teknologi yang sudah digunakan. Proses *converting* adalah proses eksotermik, ada dua jenis utama proses yang dilakukan:

1. *Batch converting*, menggunakan alat PS *converter*, dan
2. *Continous converting*, termasuk *bath converting* (Mitsubishi C-furnace dan Noranda *converter*) dan *flash converting* (Rajneet Kaur, 2007)

Pembentukan tembaga menggunakan gas oksigen yang disemprotkan dalam *matte* akan menghasilkan tembaga cair dan tembaga oksida, reaksinya adalah:

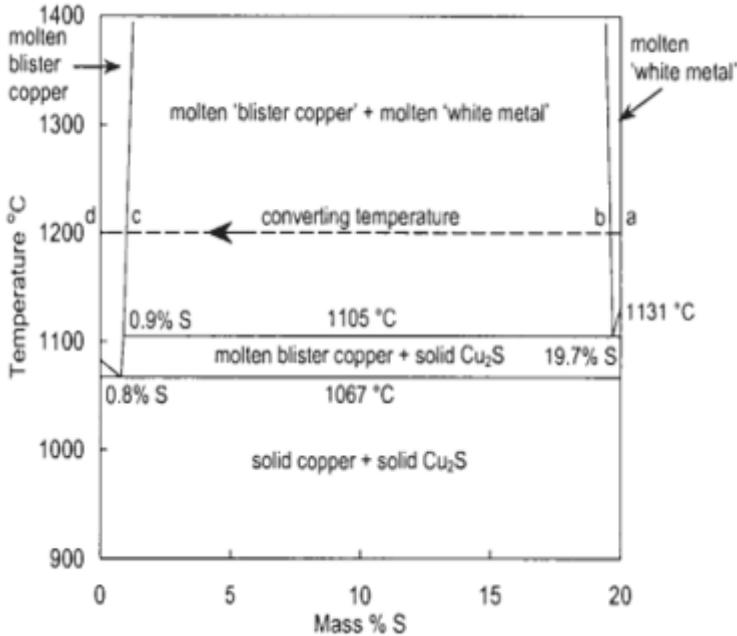


Beberapa tembaga juga mengalami reaksi berikut:





Adapun diagram kesetimbangan dari Cu dan S:



Gambar 2.6 Diagram Kesetimbangan Cu-S

Untuk proses *converting* sendiri ada beberapa hal yang dapat menaikkan produktivitasnya, yaitu:

- Menggunakan tembaga yang baik (rendah Fe-S)
- Menaikkan temperatur operasi (1200-1300C)
- Menaikkan efisiensi pemanfaatan gas Oksigen

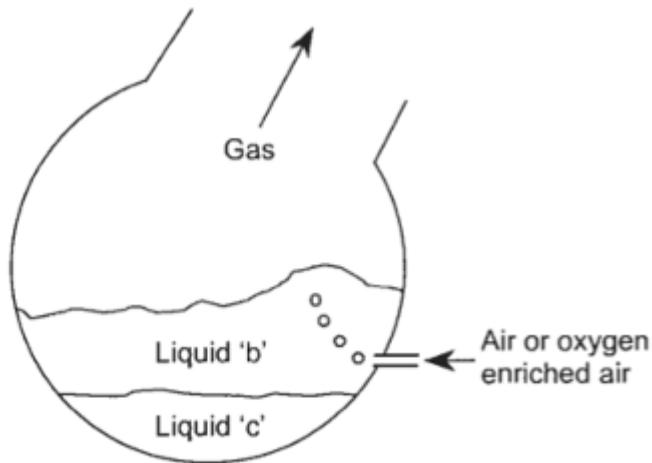
Produk yang diharapkan dalam proses *converting* ini adalah:

- Blister tembaga cair (99% Cu, 0.02% S dan 0.6% O)
- Slag cair Fe-Silika (4-8% Cu)
- Gas keluar SO₂



2.5.3 Batch Converting

Dalam melakukan *batch converting* alat yang umumnya digunakan adalah *Piece Smith Converter* yang memiliki proses semburan dari gas oksigen berada dibagian tengah *converter* sehingga udara masuk melalui saluran tersebut dan terdapat *mouth* dibagian atasnya yang umumnya digunakan untuk memasukkan silika *flux*. Namun di *converter* ini juga terdapat tembakan yang diperlukan untuk penambahan flux dengan menggunakan tekanan. Skema dari proses ini dapat dilihat pada gambar dibawah. Disana terdapat liquid b dan c, liquid b adalah matte yang ingin kita oksidasi dan liquid c adalah tembaga cair. (Davenport, 2002)



Gambar 2.7 Skema Proses Converting Pada PS Converter

Material utama untuk melakukan proses *converting* adalah matte dari proses smelting, termasuk silika *flux*, udara dan oksigen murni. Hasil dari proses *converting* ini adalah:

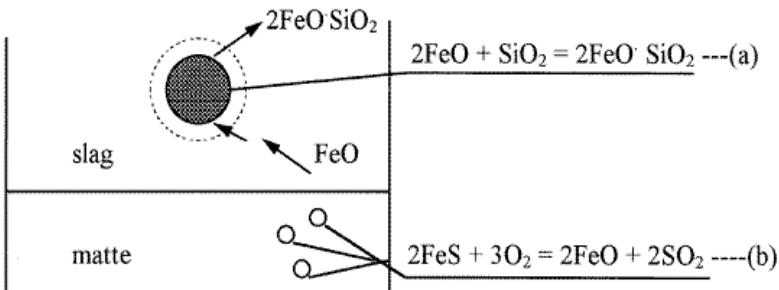


1. *Blister* tembaga cair
2. Besi-silika cair slag yang dimasukkan dalam *Cu recovery*, dan
3. Gas keluar SO_2 , gas panas

Secara keseluruhan proses *converting* mempunyai reaksi:
 $\text{Cu-Fe-S} + \text{O}_2 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Cu}_l + \{2\text{FeO}:\text{SiO}_2:\text{Fe}_3\text{O}_4\} + \text{SO}_2 \dots \dots \dots (2.9)$

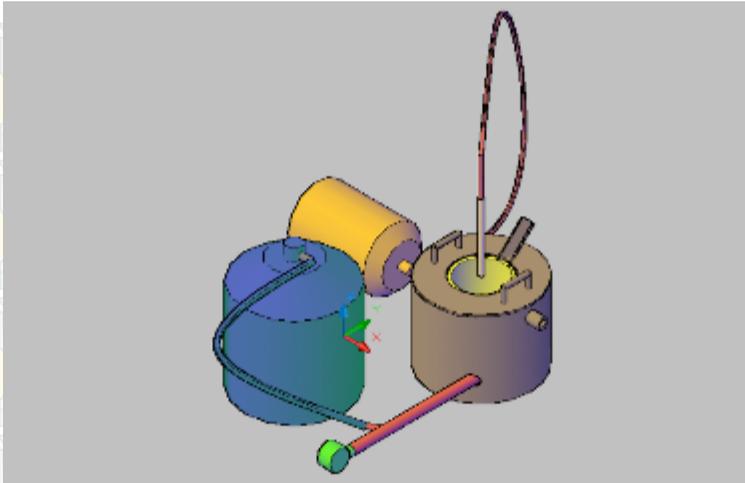
Sementara untuk mengikat *slag* FeO dengan SiO_2 yang terjadi pada temperatur 1300°C mempunyai reaksi seperti berikut:
 $\text{FeO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 \dots \dots \dots (2.10)$

Secara lebih lengkapnya digambarkan dengan gambar dibawah yaitu mekanisme hilangnya FeO dalam *matte* yang berubah menjadi *slag*.



Gambar 2.8 Mekanisme Kerja Silika Dalam Matte dan Slag

Dimana Cu-Fe-S adalah *matte* cair, O_2 adalah udara, dan SiO_2 adalah *flux* dan hasil dari reaksi yaitu $2\text{FeO} : \text{SiO}_2 : \text{Fe}_3\text{O}_4$ adalah *slag* yang terdapat beberapa Fe_3O_4 *solid*.



Gambar 2.9 Skema Muffle Furnace

Converting mempunyai dua tahapan, yaitu:

1. Pembentukan slag yang terjadi karena oksidasi dari Fe dan S menjadi FeO, Fe₃O₄ dan SO₂ dengan reaksi seperti berikut:



Temperatur peleburan dari FeO dan Fe₃O₄ adalah 1385 C dan 1597 C maka dari itu silika *flux* dimasukkan untuk membentuk *slag* cair dengan FeO dan Fe₃O₄. Pembentukan *slag* selesai ketika Fe dalam *matte* sudah turun hingga dibawah 1%. Produk utama yang dihasilkan dari proses pembentukan *slag* adalah cairan Cu₂S, *white metal* ~1200C

2. Pembentukan tembaga murni dimana pada proses ini sulfur dalam Cu₂S teroksidasi menjadi SO₂. Proses oksidasi dilakukan hingga tidak kandungan sulfur dalam tembaga turun hingga maksimal 0.03%. (Davenport, 2002)



2.5.4 Slag dan Flux

Hal utama dalam pembentukan *slag* dalam proses *converting* adalah untuk mengikat solid FeO dan Fe₃O₄ dan dihindari dari *matte* dengan cara membentuk *slag* cair, untuk menghasilkan hal tersebut maka diperlukan *flux* SiO₂ dalam flux. Indikator dari komposisi slag adalah:

$$\text{Mass\% SiO}_2 \text{ in slag} : \text{Mass\% Fe in slag}$$

SiO₂ ditambahkan dengan flux untuk menjadikan rasio dari SiO₂/Fe adalah ~0.5. level dari Fe₃O₄ yang diterima adalah 12 – 13%. Flux dalam proses *converting* dapat dilakukan dengan dua cara adalah memasukkan dari atas dengan manual dan menyemprotkan dengan tekanan menggunakan *air gun*. Pada umumnya bentuk dan ukuran *flux* juga diperhatikan, ukuran dari flux adalah 1–5cm untuk diameternya dan apabila berbentuk serbuk atau pasir umumnya berdiameter 0.1cm. (Davenport, 2002)

Ada beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam pembentukan *slag* cair, yaitu:

- Temperatur operasi yang tinggi
- Ukuran dari flux yang digunakan
- Mnegggunakan Flux yang reaktif

Castle *et al* (1976) dan Schonewille *et al* (1993) mengungkapkan bahwa reaktif *flux* yang reaktif umumnya mempunyai presentase *quartz* yang tinggi. (Davenport, 2002)

2.6 Slag Hasil Converting

Slag adalah larutan dari lelehan oksida. Fasa oksida tersebut memiliki FeO dari oksidasi Fe, SiO₂ dari flux, dan oksida pengotor dari batuan mineral. Oksida yang sering dijumpai pada slag yaitu FeO, Fe₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃. Struktur molekul lelehan slag dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, asam, basa

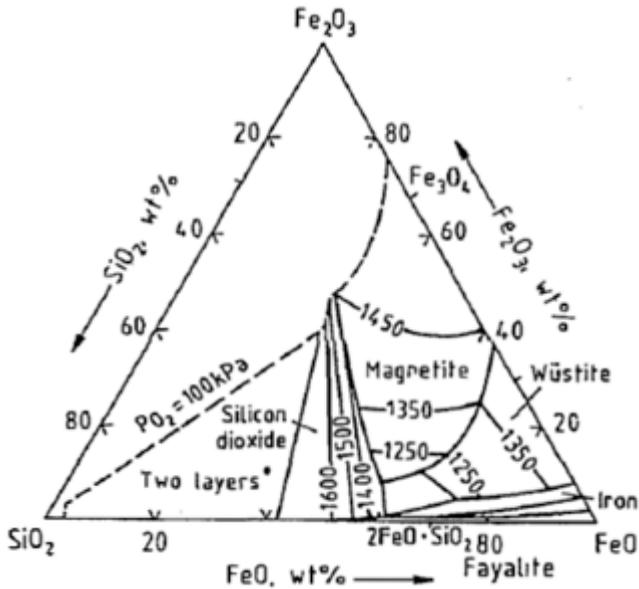


dan netral. Silika dan alumina merupakan sangat dikenal dengan slag jenis asam. Saat oksida meleleh, mereka bergabung, membentuk rantai poli-ion yang dapat dilihat pada gambar 2.5. slag asam ikatan poli-ion memiliki viskositas yang tinggi, membuat slag ini sulit untuk dialirkan. Slag asam juga memiliki kelarutan yang rendah dengan oksida asam yang lain. Ini dapat mengakibatkan kendala dalam pembentukan tembaga karena pengotor dalam bentuk oksida (As_2O_3 , Bi_2O_3 , Sb_2O_3 ,) tidak bisa dihilangkan ke dalam slag, mereka akan tetap dalam matte maupun tembaga.. (Davenport, 2002)

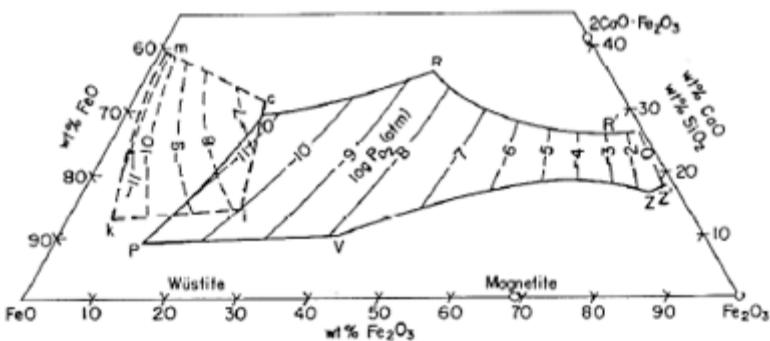
Slag dapat dianggap sebagai fasa oksida yang kompleks dalam sistem $FeO-SiO_2$. Atau karena SiO_2 yang relatif rendah pada kebanyakan slag digambarkan pada diagram ternary parsial $FeO-Fe_2O_3-SiO_2$ yang dapat dilihat pada gambar 2.9. Slag memiliki densitas yang rendah, yaitu 3,1 hingga 3,6 gram/cm³. Slag pada proses converting adalah dalam bentuk senyawa besi(II) silikat (40-50% Fe) dengan fasa magnetit yang tinggi, sebesar 15-30% Fe_3O_4 . (Fathi Habashi, 2007)

Pada Mitsubishi converter, menggunakan sistem slag CaO dibandingkan dengan SiO_2 . Slag ini memiliki viskositas yang rendah sekitar 0,1 kg/ms dan menghindari terjadinya pembentukan magnetit padat. (Davenport, 2002)

Komposisi besi silikat dan besi kalsium slag dapat dijelaskan dengan sistem $FeO-Fe_2O_3-SiO_2$ dan $FeO-Fe_2O_3-CaO$. Besi silikat memang telah lama digunakan pada smelting tembaga, tetapi memiliki permasalahan pada proses converting yang kontinyu. Perbandingan dari kedua slag dapat dilihat pada gambar 2.x bersama dengan tekanan parsial oksigen tertentu. (Rajneet Kaur, 2007)



Gambar 2.10 Diagram Fasa Ternary Slag FeO-Fe₂O₃-SiO₂ (Fathi Habashi, 2007)



Gambar 2.11 Diagram kesetimbangan ternary FeO-Fe₂O₃-CaO/SiO₂ (Rajneet Kaur, 2007)



Pada gambar 2.10, lelehan homogen pada sistem slag silikat dengan temperatur 1300°C dibatasi dengan daerah yang diarsir garis titik. Lelehan ini dapat setimbang dengan besi, wustite, magnetite, kapur, dan dikalsium ferit. Dengan daerah liquid kesetimbangan tekanan parsial oksigen dari 10^{-11} hingga 1 atm. Jika dibandingkan dengan silika, yang lelehannya akan homogen pada daerah yang diarsir dengan garis putus-putus hanya setimbang pada tekanan parsial oksigen dari 10^{-7} hingga 10^{-11} atm. Hal ini menandakan bahwa sistem slag kalsium lebih baik dibandingkan dengan silika. Pada kondisi setimbang dengan temperatur 1300°C, sistem slag kalsium dapat melarutkan magnetit pada tekanan parsial oksigen 10^{-11} hingga 1 atm. Hal ini akan menurunkan viskositas yang mengakibatkan penurunan tembaga dalam slag dan memudahkan slag mengalir pada saat tapping. (Rajneet Kaur, 2007)

2.7 Termodinamika Dalam Proses Converting

Tabel 2.2 di bawah menunjukkan beberapa sifat termodinamik yang penting dalam perhitungan termodinamika dalam proses smelting mineral tembaga.

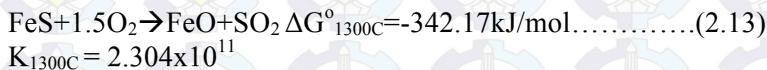
Tabel 2.2 Sifat Termodinamika Beberapa Senyawa

No.	Elemen	ΔH_{298} (kJ/mol)	Temperatur Transisi (K)	C_p ($J \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	ΔH_{fus} (kJ/mol)
1	Kalkosit (Cu_2S (α))	-80,115	298	81,59	-80,115
	Cu_2S (β)		376	97,28	-82,216
	Cu_2S (γ)		623	85,02	-75,618
	Cu_2S (L)		1400	85,02	-151,146
2	$\text{Cu}_{(l)}$	9,31	298 – 1365	$22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T$	-12,97
			1365 - 1600	31,38	



3	O _{2(g)}	0	-	$29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^5 T^{-2}$	-
4	FeO _(s)	-264,4	-	$51,58 + 6,78 \times 10^{-3} T - 1,59 \times 10^5 T^{-2}$	-
5	CO _{2(g)}	-393,5	-	$44,14 + 9,04 \times 10^{-3} T - 8,58 \times 10^5 T^{-2}$	-
6	SO _{2(g)}	-296,85	-	$43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^5 T^{-2}$	-
7	SiO ₂	-910.857	298 847 1079 1600	44.585 67.416 70.609 73.219	-910.857 -906.328 -902.532 -898.237

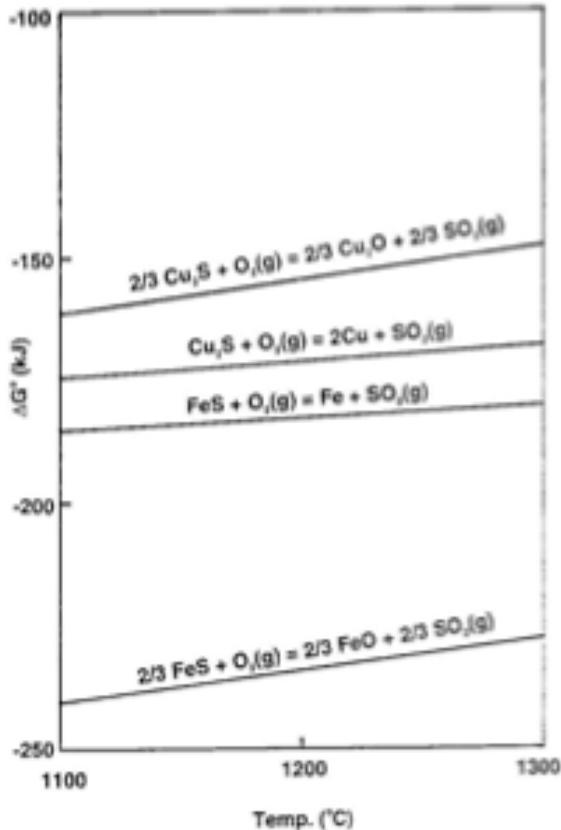
Tujuan dari proses *converting* adalah untuk mengilangkan pengotor seperti besi, sulfur dan pengotor lainnya dan menghasilkan *blister* tembaga (99% Cu) dan *slag*. Tahap pertama dalam proses *converting* adalah menghilangkan *slag*, yaitu oksidasi dari besi sulfur dengan cara menyemprotkan udara dan oksigen dalam matte Cu₂S-FeS untuk menghasilkan FeO dan SO₂



Oksigen yang disemprotkan kedalam *matte* adalah untuk proses oksidasi dari FeS menjadi FeO, dilihat dari energi bebas Gibbs maka nilai dari energi bebas Gibbs dari reaksi diatas rendah maka reaksi mudah terjadi, ini juga dilihat dari diagram Ellingham pada gambar 2.9 Pada kondisi standar. Energi bebas Gibbs dari formasi primer menyatakan urutan dari proses oksidasi komponen matte



dan energi bebas yang mempunyai nilai terendah maka akan teroksidasi terlebih dahulu. (Rajneet Kaur, 2007)

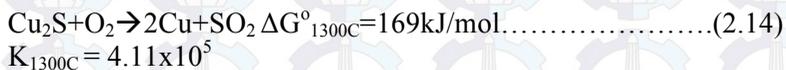


Gambar 2.12 Diagram Ellingham

Dilihat dari diagram Ellingham diatas maka terlihat garis yang paling bawah mempunyai energi bebas Gibbs yang paling terendah dan produknya lebih stabil. Dilihat dari diagram Ellingham juga maka terlihat bahwa sulfida besi dalam Cu_2S -FeS



matte akan teroksidasi menjadi oksida besi lebih dahulu dibandingkan dengan perubahan tembaga sulfida menjadi tembaga oksida atau bahan Cu_2S menjadi tembaga. proses dari *smelting* dan *converting* dasarnya adalah menghilangkan FeO yang lebih stabil dan dilihat dari energi bebas Gibbs formasi dari FeO per mol oksigen lebih bernilai negative dibandingkan tembaga oksida atau tembaga. Dari diagram Ellingham diatas maka didapatkanlah urutan-urutan dala proses menghilangkan pengotor dalam tmebaga, pertama adalah besi sulfida yang dihilangkan dari *matte* menjadi FeO dan menghasilkan Cu_2S dengan kurang dari 2-wt% besi. Lalu ada proses pembentukan *blister* tembaga dari tembaga sulfida, disini terdapat lagi tiga tahapan dilihat dari gambar 2.7 Diagram fase Cu-S, saat oksigen disemprotkan ke Cu_2S sulfur akan keluar menjadi SO_2 . Didapatkanlah persamaan berikut:



Ellingham digram juga menjelaskan bahwa oksidasi dari tembaga sulfida menjadi metal tembaga lebih siap dibandingkan dengan tembaga oksida. Ini dilihat dari nilai energy bebas Gibbs yang lebih rendah. (Rajneet Kaur, 2007)

2.8 Penelitian Sebelumnya

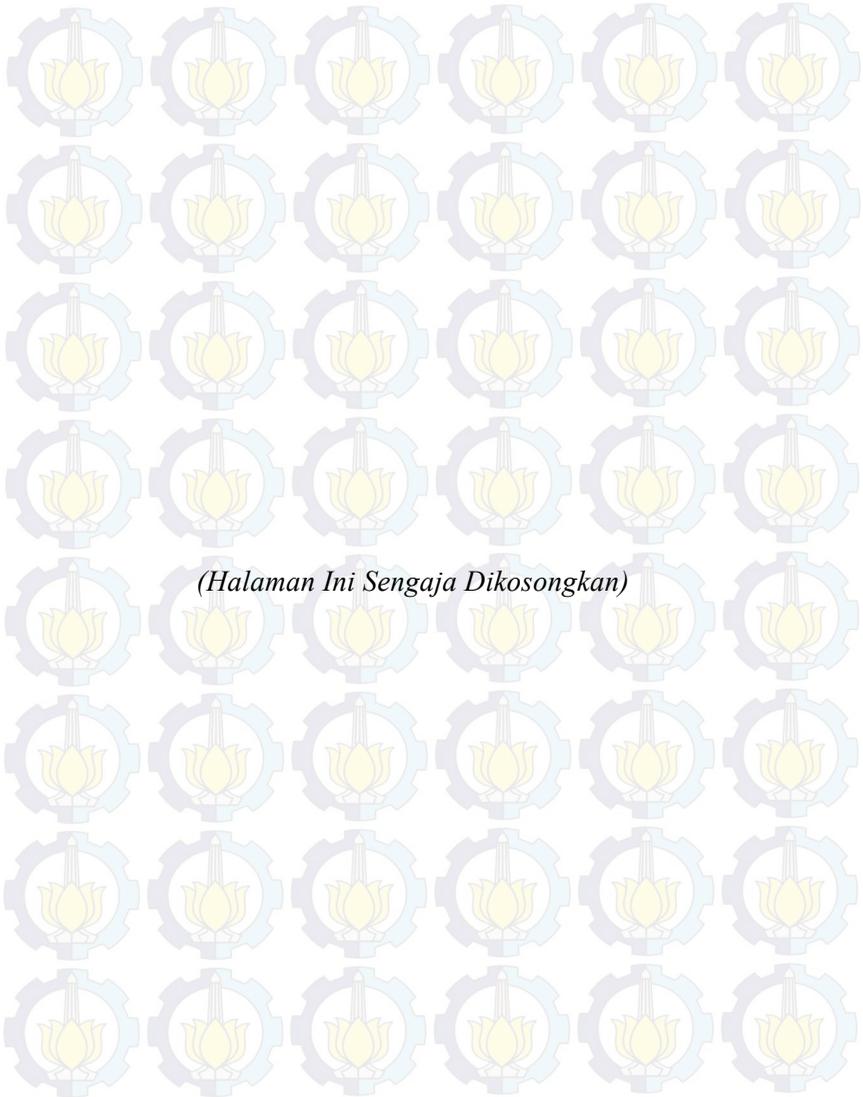
Kajian dari beberapa penelitian selanjutnya dapat dilihat dari tabel 2.3 dibawah ini

Tabel 2.3 Penelitian Sebelumnya

No	Penelitian	Oleh (Tahun)
1	Refining Tembaga	Walter O. Snelling (1932)
2	Refining Tembaga dan Penambahan Flux	Canning, Jr (1982)



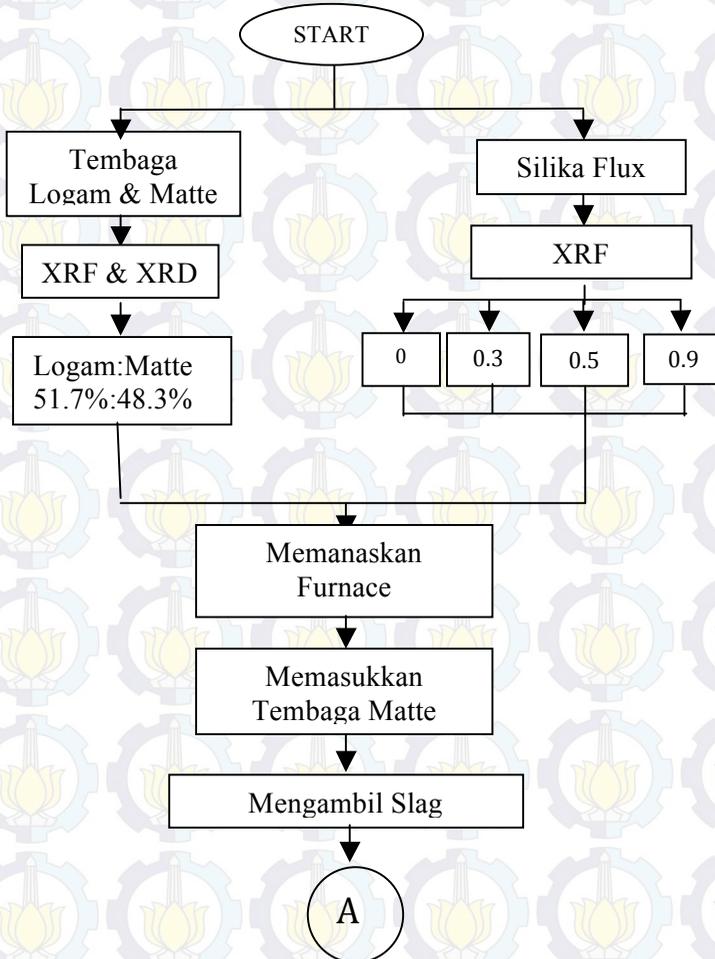
3	Permodelan Injeksi Gas pada Pierce Smith Converter	Jussi Vaarno (1997)
4	Permodelan Kinetik pada Elemen Utama saat Proses Converting	A.K Kylo (1998)
5	Slag Ferrous Calcium Silicate (FCS) Untuk Continous Converting Tembaga	Rajneet Kaur (2007)
6	Kesetimbangan Fasa Dalam Paduan Slag Kalsium Silikat: edisi IV Temperatur Liquid dan Solubility pada “Cu ₂ O”-FeO-Fe ₂ O ₃ -CaO-SiO ₂ Slag pada Temperatur 1250°C dan 1300°C serta Tekanan Oksigen 10 ⁻⁶ atm	Stanko Nikolic dkk (2008)
7	Efek Kadar Magnesium Oksida pada fluiditas slag di blast furnace	Jia Shyan Shiao (2008)
8	Permodelan Computational Fluid Dynamics (CFD) pada Parameter Proses Pencampuran pada Pierce Smith Converter dengan Perbandingan Permodelan Fisika	Deside K. Chibwe dkk (2011)
9	Meminimalisir Kehilangan Tembaga pada Slag Dengan Penambahan Colemanite (2CaO.3B ₂ O ₃ .5H ₂ O)	Aydin Rusen dkk (2012)
10	Oksidasi Desulfurisasi pada Slag Tembaga	LI Lei dkk (2012)
11	Permodelan Computational Fluid Dynamics (CFD) pada Aliran Fluida pada Pierce Smith Converter Dengan Menggunakan Lebih Dari Satu Poin Injeksi	Aaron Almaraz (2013)

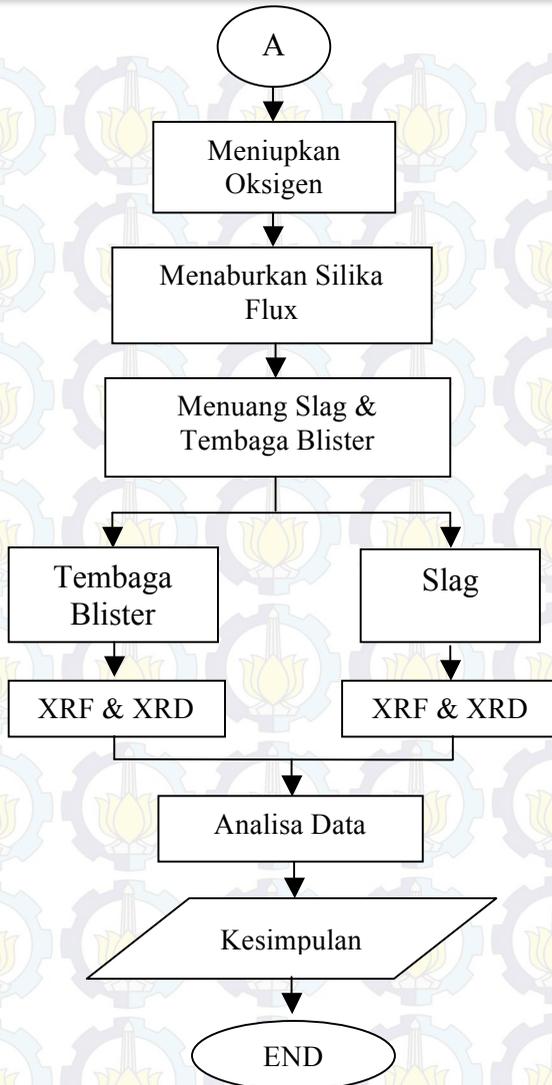


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat diagram alir seperti dibawah ini:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-alat Penelitian:

1. *Muffle Furnace*

Muffle furnace digunakan untuk memanaskan kembali produk hasil proses smelting. Proses ini bertujuan untuk memisahkan *slag* dan logam tembaga.



Gambar 3.2 Muffle Furnace

2. Mesin XRD

XRD ini berfungsi untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada bahan dan hasil penelitian.



Gambar 3.3 Mesin XRD



3. Mesin XRF
XRF berfungsi sebagai alat uji kadar yang ada pada bahan dan hasil penelitian.



Gambar 3.4 Mesin XRF *Portable*

4. Termometer infrared
Termometer infrared mempunyai fungsi untuk mendeteksi temperatur dari tembaga cair dan panas dari *muffle furnace*.



Gambar 3.5 Termometer Infrared

5. Timbangan digital
Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat silika *flux* yang kita gunakan untuk penelitian.



Gambar 3.6 Timbangan Digital



6. Alat scooping
Alat scooping digunakan untuk proses pengambilan slag saat penelitian.



Gambar 3.7 Alat Scooping Slag

7. Cetakan tembaga
Cetakan tembaga mempunyai fungsi untuk memproduksi tembaga cair yang sudah mengalami proses *converting*.



Gambar 3.8 Cetakan Tembaga

8. Kompresor
Kompresor berfungsi sebagai pengalir udara yang dimasukkan saat proses blowing gas oksigen saat matte tembaga sudah mencair sempurna.



Gambar 3.9 Kompresor



9. Palu

Palu berfungsi sebagai penghancur slag yang tertempel saat proses penyendokan slag.



Gambar 3.10 Palu

10. Obeng

Obeng berfungsi untuk mengencangkan sambungan antara lance dan kompresor.



Gambar 3.11 Obeng

11. Penumbuk

Penumbuk berfungsi untuk menghaluskan dari matte tembaga untuk pengujian. Selain itu diakhir penelitian juga dibutuhkan untuk menghaluskan dari slag untuk pengujian.



Gambar 3.12 Penumbuk



12. Helm Safety

Helm safety digunakan untuk peralatan safety saat melakukan proses converting terutama saat meniupkan udara ke cairan logam.



Gambar 3.13 Helm Safety

13. Sarung Tangan Safety

Sarung tangan safety juga dibutuhkan untuk peralatan safety agar terlindung oleh panas furnace saat proses berlangsung.



Gambar 3.14 Sarung Tangan Safety



3.2.2 Bahan-bahan Penelitian:

1. Matte Tembaga

Matte tembaga adalah bahan utama dalam penelitian ini, memiliki kadar Cu 40-50% yang terikat dengan sulfur dan pengotor seperti Fe dan Si. Adapun hasil dari pengujian XRF awal dari *matte* tembaga:

Tabel 3.1 Hasil Pengujian XRF Awal Matte Tembaga

Jenis	Cu (%)	Fe(%)	S(%)	Si(%)
<i>Matte</i>	41.01	10.93	9.89	1.87



Gambar 3.15 Matte Tembaga

2. Logam Tembaga

Logam tembaga adalah bahan utama selain dari tembaga matte itu sendiri. Logam ini termasuk hasil dari pembakaran mini blast furnace di Teknik Material dan Metalurgi. Logam yang dimasukan rata-rata mempunyai kadar Cu 70-80%. Hasil dari pengujian XRF dari logam tembaga awal adalah



Tabel 3.2 Hasil Pengujian XRF Awal Logam Tembaga

Jenis	Cu (%)	Fe(%)	S(%)	Si(%)
Logam	73.65	12.37	5.16	5.51



Gambar 3.16 Logam Tembaga

3. Silika *flux*

Silika *flux* disini digunakan saat proses *converting* yang tujuannya untuk mengikat *slag* Fe, serbuk silika ini didapatkan dari Surabaya dan sebelum dipakai dilakukan pengujian XRF untuk mengetahui komposisinya, hasilnya adalah.

Tabel 3.3 Hasil Pengujian XRF Silika Flux

Jenis	Si (%)
Silika Flux	84



Gambar 3.17 Serbuk Silika

4. Gas Oksigen

Gas oksigen didapatkan dari kompresor dengan menggunakan udara bebas flow yang digunakan adalah 11.85 l/menit selama 10 menit.

5. Gas LPG

LPG digunakan sebagai bahan bakar dari *muffle furnace*. Sehingga, dengan memanfaatkan LPG, temperatur pada *muffle furnace* dapat mencapai temperatur tertentu (1500°C).



Gambar 3.18 LPG



3.3 Rancangan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian, rancangan penelitian seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian Pengaruh Jumlah Penambahan SiO₂ (dalam rasio) Terhadap Hasil Proses Converting

No.	Rasio SiO ₂ :Fe (%)	Komposisi Tembaga Blister	Komposisi Slag
1	0		
2	0,3		
3	0,5		
4	0,9		

3.4 Pelaksanaan Penelitian:

3.4.1 Persiapan Sample Pengujian Awal:

Pertama-tama dalam penelitian ini ada langkah persiapan sample untuk mengetahui komposisi dari mineral tembaga sendiri dan silika *flux* yang digunakan dalam penelitian:

1. Menyiapkan matte tembaga dan melakukan penggerusan atau pengecilan ukuran dari matte hingga berbentuk serbuk.
2. Untuk silika flux bisa didapatkan dalam bentuk serbuk maka tidak dibutuhkan penggerusan.

3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan untuk Proses Converting:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan,
2. Mengecilkan ukuran matte tembaga sehingga dapat masuk kedalam crucible,



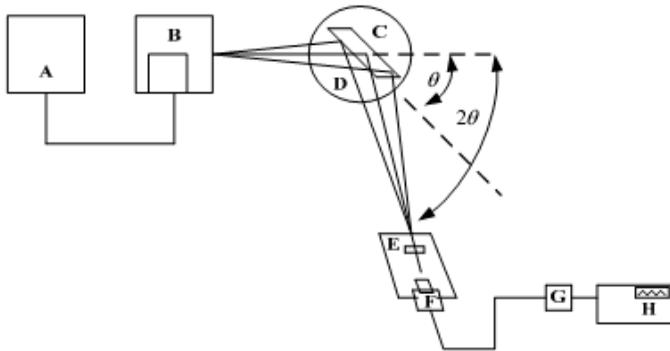
3. Menimbang matte tembaga dan silika flux sesuai tiap variabel,
4. Memanaskan *muffle furnace* hingga crucible memerah temperatur lebih dari 900°C ,
5. Memasukkan matte tembaga sedikit demi sedikit hingga semua matte tembaga meleleh sempurna,
6. Menyendok slag yang terbentuk diatas permukaan logam cair,
7. Meniupkan udara dari kompresor kedalam logam cair hingga waktu tertentu,
8. Memasukkan silika flux kedalam logam cair dan akan terbentuk slag yang cair,
9. Menuangkan slag kedalam cetakan,
10. Menuangkan logam kedalam cetakan,
11. Membuka cetakan dan melakukan sampling, untuk logam dipotong menggunakan grinda dan untuk slag dihaluskan menggunakan penumbuk,
12. Menguji XRD dan XRF hasil tembaga blister dan slag,
13. Menganalisa hasil.

3.4.3 Pengujian Sampel

1. XRD (X-Ray Diffractometer)

X-Ray Diffractometer adalah alat yang dapat memberikan data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi (2θ) dari suatu material. Tujuan dilakukannya pengujian analisis struktur Kristal adalah untuk mengetahui perubahan fasa struktur bahan dan mengetahui fasa apa saja yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji.

Karakterisasi ini dilakukan menggunakan alat difraktometer Sinar X, adapun prinsip kerja XRD ditunjukkan oleh Gambar 3.17 berikut :



Gambar 3.19 Skema Uji XRD

- Generator tegangan tinggi (A) berfungsi sebagai sumber sinar-X (B)
- Sampel berbentuk pellet (C) diletakkan pada holder (D)
- Berkas sinar X didifraksikan oleh sampel dan difokuskan melewati celah (E), kemudian masuk ke alat pencacah (F). Apabila sampel berputar sebesar 2θ maka alat pencacah berputar sebesar θ .
- Intensitas difraksi sinar-X direkam dalam bentuk kurva terhadap jarak antara bidang D.

2. XRF (X-Ray Fluorescence)

Untuk mengetahui komposisi dan kandungan dari hasil ekstraksi maka dilakukan pengujian pada sampel hasil ekstraksi menggunakan XRF. XRF adalah alat yang digunakan untuk menganalisis kandungan unsur dalam bahan yang menggunakan metode spektrometri. Alat ini mempunyai keunggulan analisis yaitu lebih sederhana dan lebih cepat dibanding analisis dengan alat lain. Alat XRF merupakan alat uji tak merusak yang mampu menentukan kandungan unsur



dalam suatu bahan padat maupun serbuk secara kualitatif dan kuantitatif dalam waktu yang relatif singkat.



Gambar 3.20 Mesin Uji XRF

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses *Converting* terhadap Tembaga *Matte*

Proses *converting* dengan menggunakan *converter muffle furnace* digunakan dengan memasukkan *matte* dan memanaskannya hingga temperatur melting dan menghasilkan tembaga *blister* dan *slag*, setelah itu melakukan proses oksigen *enrich* agar *slag* dapat terikat dengan oksigen dan setelah itu untuk mengikat *slag* tersebut menggunakan pasir silika dengan komposisi yang berbeda. Setelah melakukan proses tersebut maka terbentuklah tembaga *blister*, dan dilihat apakah adanya pengaruh dari komposisi pasir silika terhadap kemurnian dari tembaga *blister* dan dari *slag* yang terbentuk. Proses ini menggunakan temperatur operasi 1300°C. Lebih lanjutnya dapat dilihat dihasil percobaan dibawah.

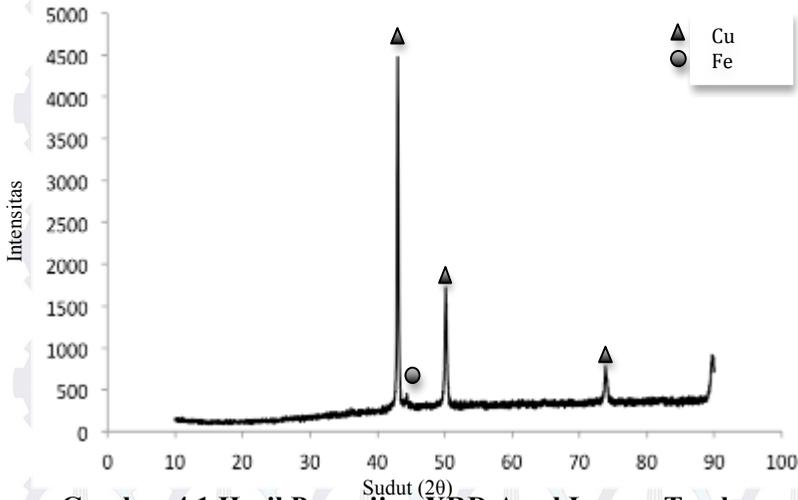
4.2 Karakterisasi Awal *Matte* dan Logam Tembaga

Karakterisasi yang dilakukan pada *matte* dan logam tembaga bahan untuk melakukan penelitian ini dilakukan menggunakan pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dan XRF (*X-Ray Fluorescence*). Pengujian ini bertujuan untuk melihat fasa yang terbentuk dan kadar dari Cu, Fe dan Si yang pada logam awal maupun *matte* tembaga, sehingga kita dapat menghitung komposisi dari silika flux yang dibutuhkan dengan membandingkan kadar Si dan Fe yang terdapat pada logam dan *matte* awal. Selain itu kita dapat mengetahui kenaikan kadar Cu dari logam dan *matte* awal dengan *blister* hasil proses nantinya. Setelah melakukan pengujian ini baru kita dapat melakukan penelitian ini, sebab dari hasil pengujian awal ini lah kita dapat mendapatkan komposisi yang tepat untuk bahan baku penelitian yang dilakukan. Hasil yang diperoleh dari pengujian XRD yaitu:



Tabel 4.1 Hasil Pengujian XRD Awal Logam Tembaga

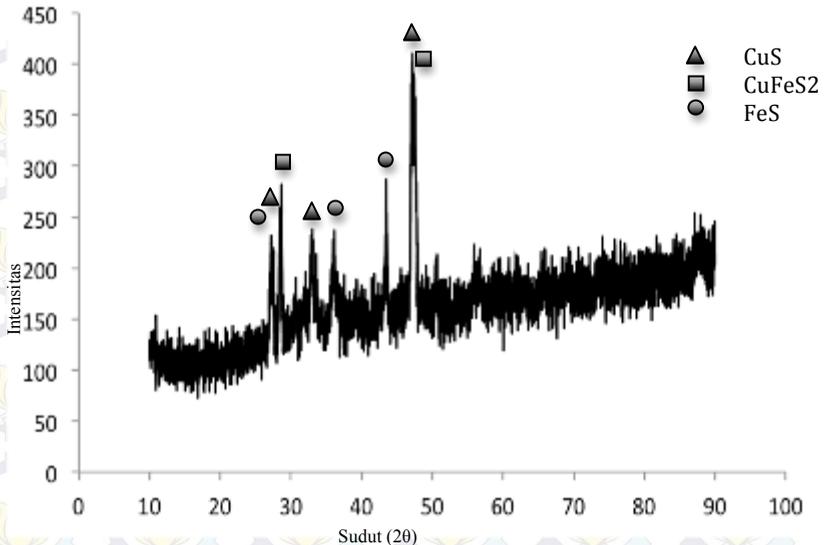
Ref. Kode	Nilai	Nama Unsur	Ketidaktepatan [$^{\circ}2\theta$]	Faktor Skala	Rumus Kimia
03-065-9743	87	Copper	-0.362	0.923	Cu
01-087-0722	81	Iron	-0.293	0.030	Fe



Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Awal Logam Tembaga

Tabel 4.2 Hasil Pengujian XRD Awal Matte Tembaga

Ref. Kode	Nilai	Nama Unsur	Ketidaktepatan [$^{\circ}2\theta$]	Faktor Skala	Rumus Kimia
01-075-4063	58	Copper Iron Sulfide	-0.458	0.750	Cu_2FeS_2
01-076-6653	44	Copper sulfide	-0.053	0.744	$\text{Cu}_{1.81}\text{S}$
01-074-7399	14	Iron Sulfide	-0.379	0.236	$\text{Fe}_{0.88}\text{S}$



Gambar 4.2 Hasil Pengujian XRD Awal Matte Tembaga

XRD ini dilakukan di laboratorium XRD jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS dan dianalisa dengan menggunakan *software High Score*. Dari hasil XRD logam dan *matte* tembaga di gambar 4.1 dan 4.2 dapat terlihat bahwa dari logam sendiri memiliki intensitas fasa tembaga yang tinggi tetapi masih terdapat peak fasa Fe (Besi) yang terlihat. Proses *converting* yang dilakukan gunanya untuk menghilangkan pengotor Fe yang ada.

Sementara untuk hasil XRD awal dari *matte* tembaga terlihat bahwa intensitas yang tinggi adalah fasa tembaga besi (Cu_2FeS_2), fasa tembaga sulfide (CuS) dan fasa besi sulfide (FeS). Proses *converting* ini gunanya untuk menghilangkan Fe dan S yang ada didalam *matte*, dan untuk menghilangkannya diperlukan udara oksigen dan silika untuk mengikat pengotor. Sehingga pengotor nanti akan mengapung saat proses membentuk slag dan gas keluar SO_2 .



Disini juga terdapat pengujian awal yang dilakukan dengan pengujian XRF, yang dilakukan uji XRF antara lain tembaga matte, logam tembaga serta silika yang berfungsi untuk flux.

Tabel 4.3 Pengujian XRF Awal Matte Tembaga

Jenis	Cu (%)	Fe(%)	S(%)	Si(%)
<i>Matte</i>	41.01	10.93	9.89	1.87

Tabel 4.4 Pengujian XRF Awal Logam Tembaga

Jenis	Cu (%)	Fe(%)	S(%)	Si(%)
Logam	73.65	12.37	5.16	5.51

Tabel 4.5 Pengujian XRF Awal Pasir Silika

Jenis	Si (%)
Silika Flux	84

Pengujian XRF ini dilakukan di laboratorium XRF Universitas Sebelas Maret Solo. Dan hasil yang terlihat pada matte awal adalah kadar tembaga yang tidak terlalu tinggi dengan pengotor yang masih tinggi yaitu berupa besi, sulfur dan silika. Untuk mengurangi kadar dari sulfur menggunakan hembusan udara dan untuk mengurangi kadar besi menggunakan hembusan udara serta silika flux. Dan yang kedua adalah hasil pengujian XRF awal dari logam tembaga, dalam logam tembaga awal masih banyak terdapat pengotor walaupun mempunyai kadar dari tembaga yang cukup tinggi yaitu 73.65%. Tetapi dilihat dari segi pengotor besi, sulfur dan silika masih tinggi, maka dari itu diperlukan proses converting untuk lebih memurnikannya.

Logam dan matte ini sendiri masih memiliki banyak pengotor dikarenakan logam dan matte ini sendiri adalah hasil



dari blast furnace yang menghasilkan banyak pengotor dan membutuhkan pemurnian lebih lanjut seperti converting serta refining. Besi yang berada dalam logam ataupun matte awal berasal dari ore tembaga yang diolah itu sendiri, setiap ore tembaga pasti mempunyai kandungan Fe tetapi dengan kadar yang berbeda-beda. Maka dari itu dibutuhkan adanya pengikatan Fe pada proses converting, yaitu menggunakan hembusan udara dan juga silika flux.

Dalam proses blast furnace dapat memperoleh hasil yaitu matte dan juga logam apabila bahan baku ore yang dimasukkan mempunyai kadar tembaga yang cukup tinggi, tetapi hasil dari blast furnace rata-rata masih mempunyai kadar S dan Fe yang tinggi pada logam hasil blast furnace. Maka dari itu untuk menghilangkannya dibutuhkan proses selanjutnya untuk mengikat pengotor dan menjadikan kadar Cu semakin tinggi.

4.3 Pengaruh Penambahan Silika terhadap Tembaga Blister Hasil Converting

Silika yang dimasukkan dalam penelitian ini mempunyai beberapa variasi berat, sesuai dengan yang didapatkan di literatur bahwa kadar dari silika yang terkandung dalam slag dibandingkan dengan kadar besi dalam slag mempunyai perbandingan 0.5. Dari inilah kita dapat memperkirakan variable berat silika yang kita pakai dalam penelitian ini, perbandingan yang diuji coba dalam penelitian ini dimulai dari 0, 0.3, 0.5 dan 0.9. Dari perbandingan tersebut dapat diketahui berat dari masing-masing yang harus ditambahkan dalam tiap penelitian. Untuk melihat komposisi yang tepat maka dilakukanlah beberapa pengujian pada blister tembaga hasil converting, pengujian yang dilakukan adalah XRD dan XRF.

Dalam alat seperti PS converter silika ini juga ditambahkan untuk mengikat slag yang ada, tetapi dengan cara yang berbeda yaitu dengan menggunakan injeksi udara untuk menaburkan dan meratakan silika flux ini sendiri. Tetapi disini dengan menggunakan alat muffle furnacepun dapat melakukan

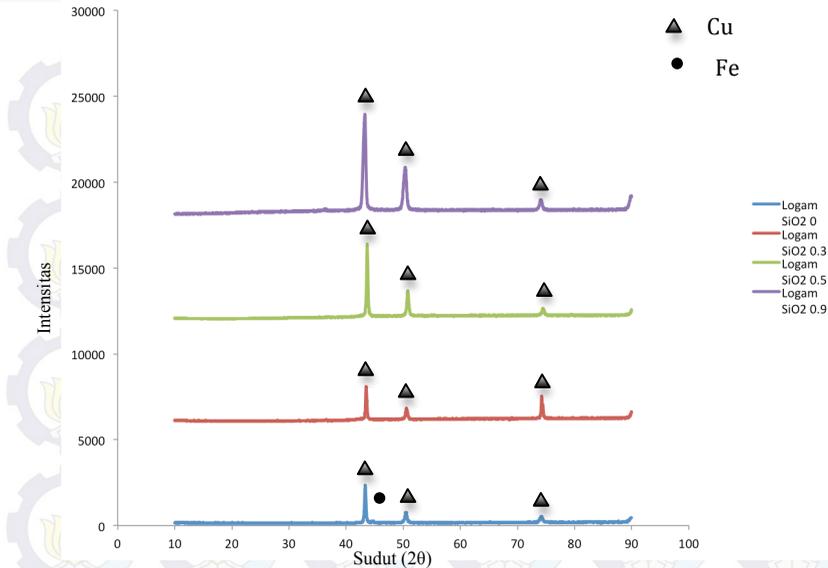


percobaan ini tidak perlu membeli alat converter. Pertama dapat dilihat dari hasil pengujian XRD.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian XRD Blister Tembaga

	Ref. Kode	Nilai	Nama Unsur	Ketidaktepatan [$^{\circ}2\theta$.]	Faktor skala	Rumus Kimia
1; 0	00-003-1005	91	Copper	0.047	0.621	Cu
2; 0.3	01-071-4611	88	Copper	0.471	0.928	Cu
3; 0.5	00-003-1005	87	Copper	0.194	0.868	Cu
4; 0.9	03-065-9743	82	Copper	-0.116	0.986	Cu

Dari tabel 4.6 dapat dilihat bahwa hasil dari XRD ini sendiri adalah menandakan tiga peak dari tembaga, tetapi dengan intensitas yang berbeda. Intensitas yang berbeda ini menandakan adanya perbedaan pada jumlah fasa Cu yang terbentuk dari 4 sampel blister tembaga. Dapat dibandingkan dengan logam awal yang masih teridentifikasi besi yang terkandung pada hasil proses converting ini peak yang terlihat hanya Cu tidak ada yang lain, dengan demikian bisa dikatakan bahwa dari hasil XRD ini tidak terlihat fasa pengotor yang ada, hanya fasa Cu saja yang ada pada tembaga blister hasil proses converting. Hasil dari pengujian XRD berupa intensitas dan sudut dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil Tembaga Blister

Pengujian XRD ini menggunakan sinar X yang mempunyai range sudut $10^{\circ} - 90^{\circ}$ dan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 \AA . Difraktogram hasil dari pengujian XRD diatas terlihat bahwa dari keempat blister yang diujikan terdapat tembaga pada peak yang sama, tetapi ketinggian intensitas fasa yang berbeda antara satu sama lain. Peak tembaga berada pada sudut 43.5° , 50.6° dan 74.2° sesuai dengan PCPDFWIN No. 04-0836. Dengan adanya perbedaan ketinggian intensitas fasa Cu setiap blister tembaga dapat dilihat bahwa jumlah fasa tembaga yang terbentuk semakin meningkat. Ini dikarenakan adanya penambahan silika flux yang dapat mengikat Fe yang menjadi pengotor utama dalam proses converting tembaga pada umumnya, maka dari itu intensitas fasa tembaga semakin meningkat dengan adanya penambahan silika flux.



Dibandingkan dengan pengujian awal logam tembaga dan matte tembaga pada gambar 4.1 dan 4.2 maka terjadi peningkatan jumlah fasa Cu dan penurunan dari fasa pengotor yaitu Fe maupun S.

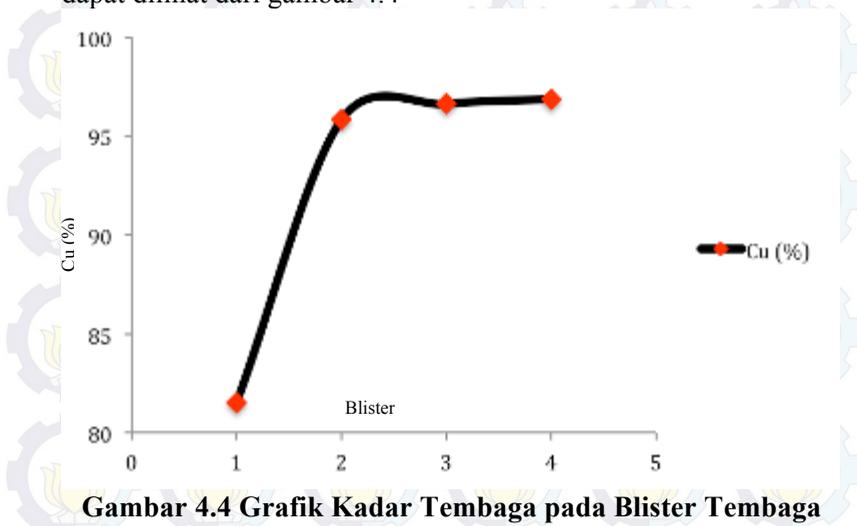
Tabel 4.7 Hasil Pengujian XRF Tembaga Blister

	Cu (%)	Fe(%)
Blister 1; 0	81.51	8.06
Blister 2; 0.3	95.82	0.046
Blister 3; 0.5	96.63	0.042
Blister 4; 0.9	96.88	0.030

Dari hasil pengujian XRF diatas dapat dilihat bahwa terjadi tren peningkatan dari jumlah tembaga yang terkandung dan terjadi penurunan dari jumlah kadar pengotor terutama Fe. Ini dikarenakan oleh sifat silika yang sangat reaktif terhadap Fe maka Fe banyak terikat oleh silika. Peningkatan pada perbandingan 0.3 sangat signifikan dibandingkan dengan yang lainnya, antara tanpa adanya silika flux dengan perbandingan 0.3 naik 14.31% kadar tembaganya. Serta dari kadar besi pun dapat dilihat adanya penurunan yang signifikan antara tanpa penambahan silika dan perbandingan 0.3. Sementara untuk penambahan silika selanjutnya tidak terlihat signifikan karena untuk perbandingan ideal dari silika dan besi sendiri adalah 0.5. dengan penambahan silika 0.5 perbandingan dengan penambahan silika 0.3 adalah 0.81% dan antara perbandingan 0.5 dan 0.9 memiliki peningkatan kadar sebesar 0.25%. peningkatan kadar tembaga (Cu) ini dikarenakan pengotor yang kadarnya telah turun, terlihat di hasil pengujian XRF tabel 4.7 kadar Fe yang ada semakin turun semakin bertambahnya jumlah silika flux yang dipakai. Antara blister 1 dengan blister 2 penurunannya signifikan hingga 8.014%, dan seterusnya penurunan berlanjut hingga titik terendah ada pada blister 4 yang memiliki kadar Fe 0.030%. Jadi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan silika semakin



meningkatkan kadar Cu dalam proses converting. Tren ini juga dapat dilihat dari gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Kadar Tembaga pada Blister Tembaga

Dapat dilihat grafik diatas memiliki tren peningkatan dari blister tembaga 1 hingga blister tembaga 4. Ini dikarenakan pengaruh dari penambahan silika yang semakin ditingkatkan serta penambahan udara bebas yang dilakukan. Untuk 1 kali percobaan menggunakan total 1. Kg campuran logam dan matte (51.7%:48.3%). Untuk blister tembaga pertama tanpa menggunakan tambahan silika flux, untuk yang kedua dengan perbandingan 0.3 menggunakan silika flux dengan berat 17.8 gr. Untuk komposisi ketiga dengan perbandingan 0.5 menggunakan berat silika flux 41.15 gr, dan komposisi terakhir dengan perbandingan 0.9 menggunakan silika flux 87.8 gr. Nilai dari berat silika flux didapatkan dari komposisi matte dan logam awal yang dilihat menggunakan pengujian XRF dan dihitung sesuai dengan perbandingannya, setelah itu kita akan mendapatkan nilai perbandingan dari Si dan Fe, dan tanpa adanya penambahan silika flux nilai perbandingan dari silika dan besi yaitu 0.14, sehingga



silika tidak mampu mengikat semua besi yang ada. Maka dari itu nilai komposisi dari silika ditingkatkan dari 0.3, 0.5 dan 0.9.

Alasan dari mengapa menggunakan silika sebagai flux untuk mengikat slag adalah karena sifat dari silika itu sendiri yang sangat reaktif serta ketersediaannya yang banyak sehingga dapat mudah untuk didapatkan. Silika disini diharapkan dapat mengikat slag yaitu Fe yang teroksidasi menjadi FeO sehingga membentuk slag $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_3$. Sedangkan untuk menghilangkan kadar dari sulfur disini menggunakan oksigen yang berasal dari udara bebas untuk membentuk SO_2 sehingga nantinya akan terbentuk blister tembaga dengan kadar tembaga yang tinggi.

Apabila hasil dari setelah *converting* dibandingkan dengan sebelum *converting* dilihat dari hasil XRF maka terjadi peningkatan pada kadar Cu dan penurunan pada kadar Fe. Target yang diinginkan dengan adanya penelitian ini adalah kadar blister tembaga yang mencapai 95% Cu dengan pengotor yang sedikit.

Selain dapat dibedakan dengan menggunakan pengujian kita juga dapat melakukan pengamatan visual terhadap tembaga hasil proses *converting* ini. Tembaga dengan warna yang agak kemerahan itulah tembaga yang kemurniannya baik, dan tembaga yang mempunyai warna kekuningan tembaga dengan kadar sulfur yang masih tinggi. Seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.5 Tembaga Blister Hasil Converting



Gambar 4.6 Potongan Tembaga Blister

Pada gambar 4.6 potongan tembaga blister sudah menunjukkan warna tembaga yang memiliki kadar yang tinggi, tetapi pada gambar sebelumnya 4.5 permukaan dari logam ini masih berwarna kuning keemasan.

Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan jumlah Silika yang digunakan dimana pada awalnya seperti menurut perhitungan reaksi kesetimbangan stoikonometri pada reaksi



Dilakukan perhitungan untuk mengetahui kebutuhan SiO_2 yang digunakan untuk mengikat Fe.

Pada blister tembaga 2, 3 dan 4 mengalami peningkatan kadar Cu seiring dengan meningkatnya penambahan silika. Dimana dengan dilakukannya penambahan silika mengakibatkan ikatan antar atom Cu dengan Fe akan semakin rendah karena atom – atom dari SiO_2 ini masuk diantara atom Cu dengan Fe. Yang mengakibatkan Fe cenderung berdifusi keluar dan berikatan dengan SiO_2 yang membentuk $\text{FeO}.\text{SiO}_2$ (slag). Karena telah hilangnya pengotor dari konsentrat mengakibatkan kemurniaan kadar Cu akan meningkat. Hal ini didukung oleh data XRD (*X-Ray Diffraction*) dan XRF (*X-Ray Fluoresence*) dimana persentase fasa Cu meningkat

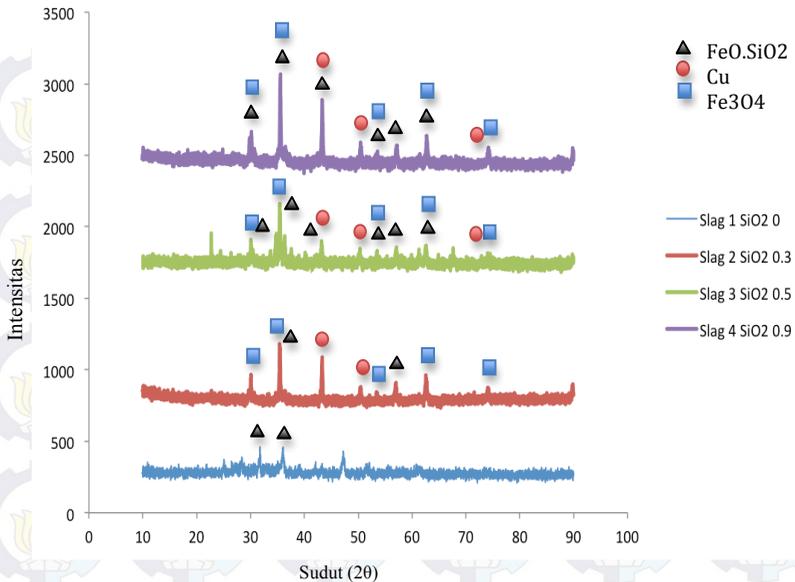


4.4 Pengaruh Penambahan Silika Terhadap Slag Hasil Converting

Hasil lain dari proses converting selain blister tembaga terdapat pula slag atau pengotor yang berupa Fe yang telah berikatan dengan O dan Si. Disini kita melihat pengaruh dai Si terhadap pengikatan Fe di slag serta banyaknya kehilangan Cu yang ada pada slag. Apabila kadar Cu dalam slag tinggi maka proses pemisahan slag kurang maksimal. Pengujian yang dilakukan untuk mengidentifikasi fasa dan mengidentifikasi unsur pada slag menggunakan pengujian XRD dan XRF sama seperti pada blister tembaga. Dan hasil dari XRD adalah

Tabel 4.8 Hasil Pengujian XRD Slag

	Ref. Kode	Nilai	Nama Unsur	Ketidaktepatan [$^{\circ}$ 2Th.]	Faktor skala	Rumus Kimia
Slag1	01-071-1399	25	Iron Silicate	0.138	0.562	Fe ₂ SiO ₄
Slag 2	00-052-1140	68	Iron Silicon Oxide	0.048	0.862	Fe _{2.95} Si _{0.05} O ₄
	03-065-9743	70	Copper	-0.118	0.624	Cu
Slag 3	00-003-0863	53	Iron Oxide	0.036	0.941	Fe ₃ O ₄
	00-052-1140	53	Iron Silicon Oxide	-0.043	0.882	Fe _{2.95} Si _{0.05} O ₄
	01-074-6141	41	Iron Oxide	0.151	0.211	Fe _{3.71} O ₄
	00-004-0836	53	Copper	-0.120	0.275	Cu
Slag 4	01-088-0315	60	Iron Oxide	-0.128	1.002	Fe ₃ O ₄
	01-074-0977	27	Iron Silicate	-0.585	0.957	Fe ₂ (Si O ₄)
	01-071-4610	65	Copper	-0.042	0.608	Cu



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Slag

Hasil XRD dari slag yang didapatkan terlihat fasa slag yang diinginkan yaitu Fe_2SiO_4 , serta terdapat fasa Cu dan Fe_3O_4 . Terlihat peak yang tinggi ditempati oleh fasa Fe_2SiO_4 . Dilihat dari hasil difragtogram perbandingan antara slag1 hingga slag 4 maka intensitas dari Fe_2SiO_4 semakin meningkat dengan adanya penambahan silika flu, ini menandakan fasa yang terbentuk semakin meningkat. Fasa ini terbentuk karena adanya silika flux yang ditambahkan sehingga silika dapat mengikat Fe yang ada dan mengapung sebagai slag.

Sementara itu fasa lain yang terbentuk adalah Fe_3O_4 , fasa ini memiliki ketinggian intensitas yang hamper sama di setiap variable pengujian. Tetapi di sudut (2θ) 43° terjadi intensitas yang fluktuatif, pada slag 2 dan slag 4 intensitasnya tinggi tidak sama dengan slag 1 dan slag 3 yang memiliki intensitas yang rendah. Hal ini dikarenakan tidak stabilnya udara yang masuk saat proses



peniupan udara, karena proses ini dilakukan manual. Fe_3O_4 sendiri dapat terbentuk karena adanya penambahan oksigen yang berasal dari udara bebas yang akan mengikat Fe menjadi oksida FeO , Fe_2O_3 ataupun Fe_3O_4 . Fasa Fe_3O_4 ini memiliki kerugian dalam prosesnya dikarenakan sifat Fe_3O_4 itu sendiri yang sifatnya mengerosi dari crucible.

Dan fasa ketiga yang banyak terbentuk adalah Cu itu sendiri, semakin tingginya kadar silika maka akan meningkatkan kadar Cu dalam slag, ini dikarenakan silika apabila ditambahkan saat proses converting akan menaikkan viskositas dari slag itu sendiri. Tetapi saat penelitian ini berlangsung slag yang terbentuk hanya viskositasnya tinggi saat peniupan udara saja tetapi saat selesai peniupan slag yang terbentuk viskositasnya menjadi rendah sehingga kesulitan untuk proses pengambilannya. Saat peniupan udara slag membentuk foam diatas permukaannya. Terjadinya foam karena peniupan dilakukan di permukaan CuS dan akan membentuk Fe_3O_4 dan CuO (Davenport, 2012). Jadi terjadinya foam diinginkan saat proses converting karena foam terjadi saat udara menembak Cu yang berikatan dengan S dan membentuk Cu dan udara keluar yaitu SO_2 . Setelah proses peniupan udara selesai dilakukan maka foam diangkat tetapi masih ada slag tersisa dan slag inilah yang akhirnya ditapping kedalam cetakan.

Selanjutnya pengujian yang dilakukan adalah pengujian XRF yang menunjukkan unsur apa saja yang terkandung pada slag. Dan disini kita melihat kadar unsur Fe dan Cu.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian XRF Slag

	Fe (%)	Cu (%)
Slag 1	27.76	7.47
Slag 2	17.35	16.415
Slag 3	17.38	16.48
Slag 4	18.075	16.42



Hasil dari pengujian XRF ini menunjukkan bahwa kadar Fe yang rendah setelah penambahan silika dan penambahan kadar Cu setelah penambahan slag. Ini dipengaruhi oleh proses saat melakukan pengambilan slag, karena saat proses pengambilan slag 1 dan slag 2 hingga slag 4 berbeda. Saat pengambilan slag 1 dilakukan dengan alat scooping karena viskositas dari slag yang masih tinggi. Tetapi saat pengambilan slag 2 hingga slag 4 mengalami kesulitan saat mengambil slag dengan alat scooping karena viskositas yang rendah, maka dari itu slag 2 hingga slag 4 dilakukan pengambilannya dengan cara tapping atau penuangan pada satu cetakan. Inilah yang menyebabkan Cu ikut tertuang saat tapping slag. Inilah yang menyebabkan kadar Cu pada slag 2 hingga slag 4 meningkat. Viskositas dari slag semakin tinggi itu menandakan semakin banyaknya jumlah Fe_3O_4 yang terbentuk (Davenport, 2012), tetapi proses ini terjadi saat penginjeksian udara dilakukan dengan adanya atau terbentuknya foam yang tingkat viskositasnya sangat tinggi. Dan ini menandakan banyaknya Fe_3O_4 yang terbentuk dan mengapung diatas sebagai slag. Setelah foam kental di scooping maka akan terlihat slag yang masih mempunyai viskositas yang rendah dan slag inilah yang langsung ditapping kedalam cetakan dan saat inilah Cu ikut tertuang dengan slag dan menjadikan kadar Cu dalam slag dengan penambahan silika tinggi hasilnya.

Untuk kadar Fe yang menurun ini juga disebabkan oleh kadar Cu yang tinggi. Tetapi dilihat dari hasil XRD intensitas dari Fe_3O_4 semakin meningkat dari slag 1 hingga slag 4. Pada slag ini mempunyai banyak sekali kandungan unsur tetapi yang paling dominan ialah Fe dan Cu, selain itu terdapat pula Ca, Ni, Pb dan lainnya tetapi dengan kadar yang kecil. Slag yang terbentuk disini berwarna hitam dan mudah untuk dihancurkan, seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.8 Slag Hasil Converting

Setelah mendapatkan slag dan menunggu hingga temperatur turun maka slag dijadikan serbuk dengan alat penumbuk agar mudah untuk dianalisa dan juga agar homogen.

Pada proses converting untuk menghasilkan blister tembaga pada umumnya menggunakan Flux. Flux yang digunakan adalah pasir silika (SiO_2) dan Batu kapur (*Limestone*). Tujuan dilakukan penambahan flux adalah untuk membentuk slag, slag yang terbentuk adalah ikatan – ikatan antar pengotor yang terkandung didalam matte. Pengotor dari matte harus dipisahkan dari unsur utamanya yaitu Cu yang diinginkan. Slag yang terbentuk pada proses converting ini adalah FeO.SiO_2 .

Sehingga untuk meningkatkan kadar Cu dari blister tembaga maka Fe yang terkandung didalamnya harus dibuang dengan cara penambahan flux. Flux adalah bahan yang bereaksi dengan pengotor dalam proses converting dan memisahkan pengotor itu dalam bentuk cairan kental yang disebut terak (slag). Oleh karena massa jenisnya, slag tersebut mengapung diatas tembaga.

Dalam percobaan ini ada beberapa tahapan reaksi yang terjadi, dari pemisahan Cu, Fe dan S hingga terbentuknya Cu murni dan slag FeO.SiO_2 . inilah tahapannya:



1. Pemisahan ikatan FeS karena O₂ menjadi FeO dan SO₂
2. Pemisahan CuS oleh O₂ menjadi Cu dan SO₂
3. Pengikatan FeO oleh SiO₂ menjadi FeO.SiO₂. urutan rekasinya seperti berikut:



$$\Delta G_{1573} = -1151.01 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta G_{1573} = -771.375 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta G_{1573} = -488.76 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta G_{1573} = -486,23 \text{ kJ/mol}$$

Pemisahan ikatan FeS menjadi FeO dan SO₂ dengan cara injeksi udara diatas adalah reaksi pertama yang terjadi dikarenakan energy bebas gibbsnya yang lebih rendah dibanding lainnya. Injeksi oksigen ini menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur operasi dikarenakan adanya proses eksotermal yang terjadi dengan keluarnya gas SO₂. Selanjutnya adalah pembentukan magnetite (Fe₃O₄), pembentukan magnetite ini mempunyai energy bebas gibbs yang rendah pula, maka dari itu terbentuklah fasa Fe₃O₄ pada slag. Setelah proses tersebut terbentuklah Cu murni dengan melepas ikatan Cu-S karena adanya O₂. Dan raksi terakhir yang terjadi adalah pengikatan Fe oleh silika menjadi slag yang mengapung.

Jadi untuk penelitian ini tingkat dari penambahan silika flux berpengaruh terhadap kenaikan kadar dari tembaga pada proses converting tembaga matte menjadi tembaga blister. Hal ini dapat ditunjukkan melalui pengujian-pengujian yang telah



dilakukan yaitu XRF dan XRD. Tetapi dengan bertambahnya kadar dari silika juga akan menaikkan viskositas dari slag sehingga untuk proses penyendokan yang seharusnya berlangsung kesusahannya untuk mengangkat slagnya. Maka dari itu slag akan dituang pada cetakan, setelah slag habis dari cairan akan berubah warna menjadi lebih mengkilap dan itulah yang menandakan tembaga cair. Setelah itu akan ada pergantian cetakan untuk mencetak tembaga blister. Jumlah bahan baku yang dimasukkan dalam penelitian ini adalah 1 Kg, dengan perbandingan bahan baku antara logam tembaga dan matte adalah 51.7% logam tembaga dan 48.3% matte. Lalu setelah itu dilakukan proses *converting* dengan menggunakan peniupan udara dan silika flux, peniupan udara yang dilakukan dengan debit yang sama setiap variabelnya yaitu dengan volume total 118.5 liter dan menggunakan waktu 10 menit sehingga flownya menjadi 11.85 liter/menit. Nilai tersebut bisa didapatkan dari perhitungan jumlah oksigen yang terdapat pada lampiran.

Dan untuk perhitungan jumlah silika yang didapatkan menggunakan perbandingan SiO_2 dan Fe dari hasil XRF. Tanpa adanya penambahan silika perbandingan antara SiO_2 dan Fe adalah 0.14, ini masih kurang dari yang dibutuhkan untuk mengikat semua Fe yaitu perbandingannya adalah 0.5 (Davenport, 2002). Dan untuk mengetahui titik optimum maka perbandingan SiO_2 dan FeO yang dijadikan variabel untuk penelitian ini. Pertama menggunakan komposisi 0 gr silika, kedua 17.8 gr silika, ketiga 41.15 gr dan keempat 87.8 gr.

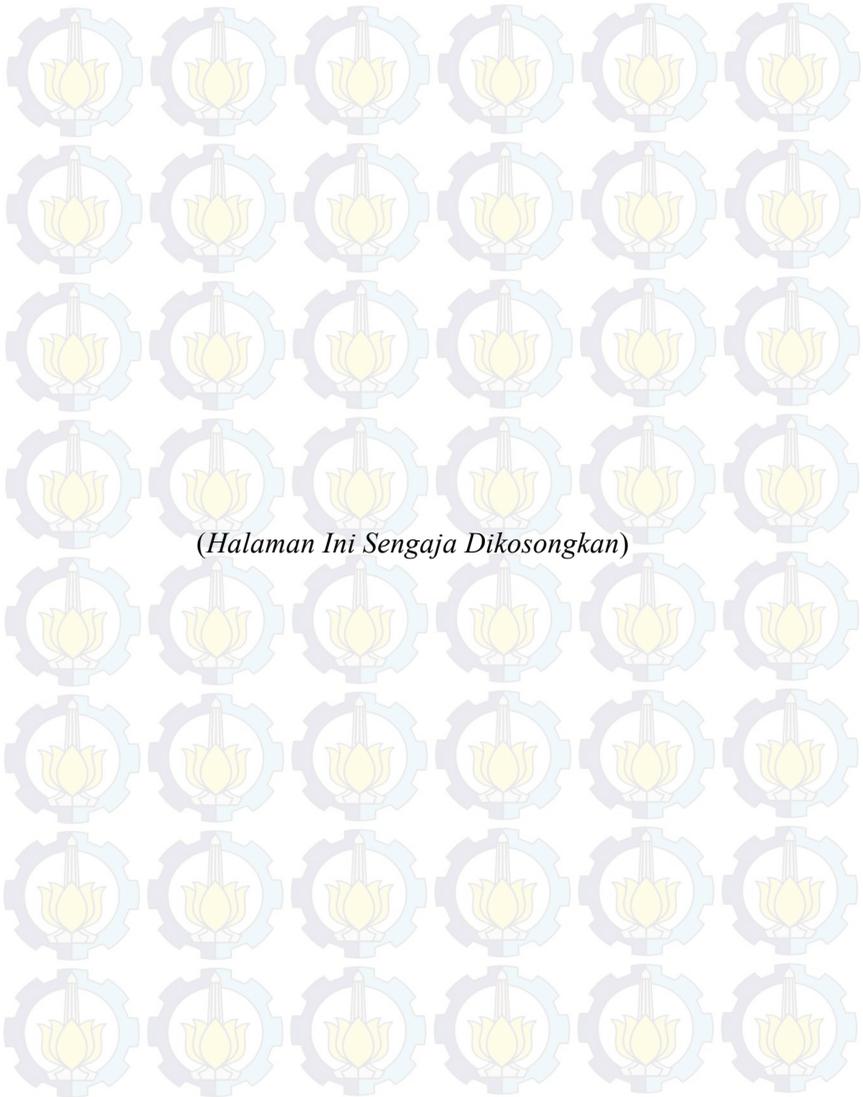
Hasil yang didapatkan juga menunjukkan adanya peningkatan kadar Cu sejalan dengan peningkatan kadar silika pada proses *converting* yang telah didapatkan. Tetapi untuk kehilangan Cu yang terambil oleh slag juga lebih banyak dengan semakin meningkatnya silika flux yang ditambahkan dikarenakan slag yang viskositasnya semakin rendah sehingga untuk pengambilannya harus menggunakan cara *tapping*. Cara ini kurang efektif untuk proses pemisahan karena akan ada Cu yang akan ikut mengalir dengan slag karena viskositas slag yang



rendah. Maka harus ada cara lain untuk melakukan proses pengambilan slag agar tembaga cair tidak ikut terambil.

Maka dengan adanya penelitian ini diharapkan adanya kemajuan dalam bidang pengolahan mineral dan metalurgi ekstraksi di Indonesia ini sendiri. Karena sudah diterapkannya tentang UU Minerba pada tahun 2014 ini maka dari itu kita harus mengolah hasil dari bumi kita ini dengan semaksimal mungkin untuk memajukan Indonesia. Dengan adanya penelitian ini dapat dikatakan kita tidak perlu memakai atau membeli alat dari luar negeri sendiri, kita dapat membuatnya sendiri hanya dengan bermodalkan tabung bekas dan semen tahan api serta crucible. Dan ini bisa diimplementasikan untuk industri dengan skala dan kapasitas alat yang lebih besar.





(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh penambahan silika flux terhadap proses converting pada tembaga matte menjadi tembaga blister mendapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh silika flux dapat meningkatkan kadar tembaga (Cu) pada proses converting. Pada proses ini menggunakan silika dan udara untuk pembentukan slag, dan hasilnya adalah kadar Cu yang tinggi 96.88%.
2. Silika flux dapat menurunkan kadar Fe dalam blister tembaga hasil proses converting hingga 0.03%.
3. Komposisi perbandingan silika dan besi adalah komposisi perbandingan 0.9.
4. Pada slag hasil converting kadar tembaga yang terkandung meningkat karena proses tapping slag yang tidak efektif.

5.2 Saran

Dari penelitian ini ada beberapa saran yang perlu diperbaiki untuk kebutuhan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlu diperbaiki untuk proses pengambilan slag yang lebih efektif agar tembaga cair tidak ikut tertuang saat proses penuangan.
2. Pengukuran temperatur saat proses berlangsung yang masih kurang bisa terkontrol.
3. Pengukuran viskositas slag harus diukur.
4. Selain menggunakan flux silika bisa ditambahkan kapur atau dolomite saat proses.



DAFTAR PUSTAKA

- Babich, A., Senk, D., Gudenau, W.H., Mavrommatis, K.Th., (2008), *Iron Making Textbook*, 1st edition, Institut für Eisenhüttenkunde der RWTH Aachen, Aachen.
- Brantley, S. L., 2003, "Reaction Kinetics of Primary Rock-Forming Minerals Under Ambient Conditions," In Drever, J. I. (Ed.), *Treatise on Geochemistry* Vol. 5 (Holland, H.D., Turekian, K.K, Exec. Eds.) Elsevier, pp. 73 - 117.
- Chakrabati, D.J., Laughin, D.E., 1983. "The Cu-S (Copper-Sulfur) System". *Bulletin of Alloy Phase Diagram*, 4, 254-271.
- Davenport, W. G., King, M., Schlesiner, M., Biswas, A.K., (2002), *Extractive Metallurgy of Copper*, 4th Edition, Tucson, Pergamon
- Dunn, J.G., Ginting, A.R., dan Connor, B.O., 1964. A Thermoanalytical Study of The Oxidation of Chalchocite. *Journal of Thermal Analysis*, 41, 671-686.
- Gaskell, R. D. 1973. Introduction To Metallurgical Thermodynamics. Tokyo: McGraw – Hill Kogakusha, LTD.
- Haver, R. R., and Wang, M. M., 1971, "Recovery of copper, iron, and sulphur from chalcopyrite concentrates using a ferric chloride leach," *J. Metals*, 23 (2), 25 - 29.
- Horath, L., (2001), *Fundamentals of materials Science for Technologist: Properties, Testing, and laboratory Exercises*, 2nd Edition, New Jersey, Prentice Hall.
- International Copper Study Group (2012), *The World Copper Factbook 2012*, ICSG, Lisbon.
- Jr, Canning. 1982. *Copper Refining with Silica Flux*
- Kaur, Rajneet, (2007), *FCS Slag For Continous Copper Converting*, Thesis Submitted in Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD), Rio Tinto .
- Mineral Data Publishing (2001-2005), *Chalcopyrite*, Version 1.

Mineral Data Publishing (2001-2005), *Chalcocite*, Version 1.

Mineral Data Publishing (2001-2005), *Malachite*, Version 1.

Rosenqvist, T., (2004), *Principles of Extractive Metallurgy*, 2nd edition, Tapir Academic Press, Trondheim.

Sarangi, B. dan Sarangi, A., (2011), *Sponge Iron Production in Rotary Kiln*, 1st Edition, PHI Learning Private Ltd, New Delhi.

Sinapiar, Folo Daniel. 2012. Analisa Pengaruh Silika dan Waktu Penyinaran Terhadap Ekstraksi Kalkopirit PT.Newmont Menggunakan Gelombang Mikro.

Snelling, Walter O. 1932. *Copper Refining*

LAMPIRAN

1. Perhitungan Stoikiometri

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses converting terdapat beberapa reaksi kimia yang terjadi. Antara lain pengikatan Fe_3O_4 (magnetit) dengan SiO_2 pada slag dan pemurnian Cu. Dengan perhitungan stoikiometri, penelitian ini dapat mengetahui jumlah perbandingan massa flux yang ditambahkan dengan senyawa yang bereaksi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

Berdasarkan hasil XRF dengan perbandingan massa Fe, Cu, dan S. Pada penelitian ini menggunakan logam tembaga dan matte dengan kadar sulfur masing-masing 5,16% dan 9,89%. Dari masing-masing kadar Sulfur, maka jumlah CuS dan FeS dapat diketahui dengan cara sebagai berikut

Logam

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(CuS)} = 32/95,5 = 0,334$$

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(FeS)} = 32/88 = 0,363$$

$$\text{Total CuS dan FeS} = 0,334 + 0,363 = 0,697$$

$$\begin{aligned} \% \text{CuS dalam logam tembaga} &= (0,334/0,697) \times 5,16\% \\ &= 2,42\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{FeS dalam logam tembaga} &= (0,363/0,697) \times 5,16\% \\ &= 2,73\% \end{aligned}$$

Matte

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(CuS)} = 32/95,5 = 0,334$$

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(FeS)} = 32/88 = 0,363$$

$$\text{Total CuS dan FeS} = 0,334 + 0,363 = 0,697$$

$$\begin{aligned} \% \text{CuS dalam logam tembaga} &= (0,334/0,697) \times 9,89\% \\ &= 4,64\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{FeS dalam logam tembaga} &= (0,363/0,697) \times 9,89\% \\ &= 5,24\% \end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah CuS dan FeS dalam masing-masing raw material, dihitung jumlah masing-masing sesuai dengan fraksi massa yang dipakai dalam penelitian yaitu 1,07:1 (51,69% : 48,31%).

$$\begin{aligned}\text{Total \% CuS} &= (2,42 \times 51,69/100) + (4,64 \times 48,31/100) \\ &= 3,49\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total \% FeS} &= (2,73 \times 51,69/100) + (5,24 \times 48,31/100) \\ &= 3,94\%\end{aligned}$$

Masing-masing CuS dan FeS dapat dihitung jumlah massa dalam setiap kali percobaan dengan cara.

$$\begin{aligned}\text{Massa CuS} &= 3,49\% \times 1000 \text{ gr} \\ &= 34,9 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa FeS} &= 3,94\% \times 1000 \text{ gr} \\ &= 39,4 \text{ gr}\end{aligned}$$

Setiap massadapat dihitung jumlah molnya yaitu

$$\begin{aligned}\text{Mol CuS} &= 34,9/95,5 \\ &= 0,36\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol FeS} &= 39,4/88 \\ &= 0,44\end{aligned}$$

2. Perhitungan massa SiO₂ yang digunakan

Dari pengujian XRF awal kita mendapatkan persen kadar dari Fe dan Si maka dari itu kita dapat menghitung perbandingan SiO₂ : Fe . dan didapatkan hasil XRF awal sebagai berikut:

Logam:

%Fe: 12.37

%Si: 5.51

Matte:

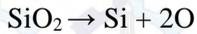
%Fe: 10.93

%Si: 1.87

setelah mendapatkan persen kadar Fe dan Si lalu kita menentukan presentase perbandingan berat dari logam:matte, yaitu:

51.69%:48.30%

lalu mencari tahu kadar SiO₂ menggunakan persen Si pada logam dan matte:



$$\text{Si}/\text{SiO}_2 = 28/60 = 0.46$$

$$\begin{aligned} \% \text{SiO}_2 \text{ pada matte} &= 1.87 \times 0.46 \\ &= 0.86\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{SiO}_2 \text{ pada logam} &= 5.51 \times 0.46 \\ &= 2.53\% \end{aligned}$$

Lalu dicari rata-rata dari matte dan logam dengan mempertimbangkan rasio:

$$\frac{2.53 \times 51.69}{100} + \frac{0.86 \times 48.30}{100} = 1.722\% \text{ SiO}_2$$

Untuk rata-rata Fe:

$$\frac{12.37 \times 51.7}{100} + \frac{10.93 \times 48.30}{100} = 11.674\% \text{ Fe}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi perbandingan awal SiO}_2:\text{Fe} &\text{ adalah} = 1.722 : 11.674 \\ &= 0.14 \end{aligned}$$

Lalu melakukan perbandingan dan mendapatkan berat flux yang harus ditambahkan:

$$\begin{aligned} 3.5022 : 11.674 &= \mathbf{0.3} = 3.5022 - 1.722 = 1.7802/100 \times 1000 \\ &= 17.802 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5.8370 : 11.674 &= \mathbf{0.5} = 5.837 - 1.722 = 4.115/100 \times 1000 \\ &= 41.15 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10.506 : 11.674 &= \mathbf{0.9} = 10.506 - 1.722 = 8.784/100 \times 1000 \\ &= 87.84 \text{ gr} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Jumlah Oksigen yang Digunakan

Pada proses converting, peniupan udara O_2 dilakukan untuk mengoksidasi unsur S pada senyawa CuS dan FeS. Jumlah oksigen yang dipakai sebagai berikut.



$$\text{Mol CuS} = 34.9/95.5$$

$$= 0.36 \text{ mol}$$

$$\text{Mol } O_2 = (1/1) \times 0.36$$

$$= 0.36 \text{ mol}$$



$$\text{Mol FeS} = 39.4/88$$

$$= 0.44 \text{ mol}$$

$$\text{Mol } O_2 = (3/2) \times 0.44$$

$$= 0.66 \text{ mol}$$

Untuk mencari total volume O_2 yang dibutuhkan menggunakan persamaan gas ideal

$$P V = n R T$$

Dengan persamaan gas ideal, tekanan dicari dengan persamaan

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

P_1 dan T_1 menggunakan tekanan atmosfer, dan T_2 menggunakan temperatur 1300°C (1573K) sehingga

$$1 \text{ atm} / 298 \text{ K} = P_2 / 1573 \text{ K}$$

$$P_2 = 5,27 \text{ atm}$$

Maka

$$5.27 \times V = 0.36 \times 0.0812 \times 1573$$

$$V_{O_2} = 8.9 \text{ liter}$$

$$5.27 \times V = 0.66 \times 0.0812 \times 1573$$

$$V_{O_2} = 15.99 \text{ liter}$$

$$V_{O_2} \text{ Total} = 8.9 + 15.99$$

$$V_{O_2} = 24.89 \text{ liter}$$

Volume tersebut menggunakan komposisi 100% O_2 sedangkan pada proses converting ini menggunakan udara bebas dengan kompresor.

$$(100/21) 24.89 = 118.5 \text{ liter}$$

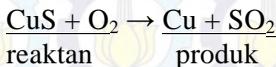
Menentukan debit untuk proses converting

$$Q = 118.5 \text{ liter} / 10 \text{ menit}$$

$$Q = 11.85 \text{ liter/menit}$$

4. Perhitungan Energi Gibbs pada Proses Converting

Pada reaksi converting ditinjau energi bebas gibbs untuk menentukan reaksi terjadi spontan atau tidak. Dengan sifat termodinamika dari setiap elemen pada reaksi yang terjadi pada proses converting. Dapat dicari nilai energi bebas gibbs yang terjadi pada proses converting temperatur 1300°C (1573 K) dengan persamaan.



$$\Delta H(\text{Cu})_{1573} = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{Cu}) dT$$

$$= 9,31 +$$

$$\int_{298}^{1365} (22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T) dT +$$

$$\int_{1365}^{1573} (31,38) dT - 12,97$$

$$= 9,31 + 29,72 + 6,527 - 12,97$$

$$= 32,58 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2) dT$$

$$= -296,85$$

$$+$$

$$\int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T -$$

$$3 T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT$$

$$= -296,85 + 66,436$$

$$= -230,414 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}\Delta H(\text{CuS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CuS}) dT \\ &= -53,1 + \\ &\int_{298}^{1573} C_p(-125,13 + 0,0567T + \\ &0,8422T^{1/2}) dT\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= -53,1 - 94,78 \\ &= -147,88 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2) dT \\ &= 0 + \\ &\int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - \\ &1,67 \times 10^{-5} T^2) dT\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 0 + 42,7 \\ &= 42,7 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned}\Delta H_{1573} &= (32,58 - 230,414) - (-147,88 + 42,7) \\ &= -92,98 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Lalu mencari nilai ΔS

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{Cu})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{Cu})}{T} dT \\ &= 0,033 + \int_{298}^{1365} \frac{22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T}{T} dT + \\ &\int_{1365}^{1573} \frac{31,38}{T} dT \\ &= 0,033 + 0,101 + 0,00445 \\ &= 0,138 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT \\ &= 0,248 + \\ &\int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2}{T} dT\end{aligned}$$

$$= 0,248 + 0,082$$

$$= 0,330 \text{ kJ/molK}$$

$$\begin{aligned} \Delta S(\text{CuS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CuS})}{T} dT \\ &= 0,066 - 0,098 \\ &= -0,032 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT \\ &= 0,205 + \\ &\quad \int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^{-5} T^{-2}}{T} dT \\ &= 0,205 + 0,054 \\ &= 0,25 \text{ kJ/molK} \end{aligned}$$

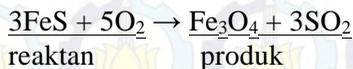
Maka

$$\begin{aligned} \Delta S_{1573} &= (0,138 + 0,330) + 0,032 - 0,25 \\ &= 0,25 \text{ kJ/molK} \end{aligned}$$

Sehingga nilai ΔG_{1573} dapat dicari dengan

$$\begin{aligned} \Delta G_{1573} &= -92,98 - 1573 \times 0,25 \\ &= -486,23 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Lalu reaksi



$$\begin{aligned} 3\Delta H(\text{FeS})_{1573} &= 3(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeS}) dT) \\ &= 3(-100 + \int_{298}^{411} (95,5) dT \\ &\quad + \int_{411}^{598} (72,3) dT + \int_{598}^{1463} (168,5) dT + \\ &\quad \int_{1436}^{1573} (195,6) dT) \\ &= 274,74 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$5\Delta H(\text{O}_2)_{1573} = 5(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2) dT)$$

$$\begin{aligned}
&= 50 + \\
&\int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-5} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2) dT \\
&= 5(0 + 42,7) \\
&= 213,5 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{Fe}_3\text{O}_4) dT \\
&= -1118,4 + \int_{298}^{900} (297,4) dT + \int_{900}^{1573} (199,3) dT \\
&= -805,3 \text{ kJ/mol} \\
3\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} &= 3(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2) dT) \\
&= 3(-296,85 \\
&+ \\
&\int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2) dT \\
&= 3(-296,85 + 66,436) \\
&= -691,2 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\Delta H_{1573} = -1984,7 \text{ kJ/mol}$$

Lalu

$$\begin{aligned}
3\Delta S(\text{FeS})_{1573} &= 3(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeS})}{T} dT) \\
&= 3(0,06 + \int_{298}^{411} \frac{95,05}{T} dT + \int_{411}^{598} \frac{72,3}{T} dT \\
&+ \int_{598}^{1463} \frac{168,5}{T} dT + \int_{1463}^{1573} \frac{195,6}{T} dT) \\
&= 3(0,28) \\
&= 0,84 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

$$5\Delta S(\text{O}_2)_{1573} = 5(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT)$$

$$= 5(0,205 +$$

$$\int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^{-5} T^{-2}}{T} dT$$

$$= 5(0,205 + 0,054)$$

$$= 1,25 \text{ kJ/molK}$$

$$\Delta S(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1573} = \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{T} dT$$

$$= 0,14 + \int_{298}^{900} \frac{297,4}{T} dT + \int_{900}^{1573} \frac{199,3}{T} dT$$

$$= 0,14 + 0,43 \text{ kJ/molK}$$

$$= 0,57 \text{ kJ/molK}$$

$$3\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} = 3(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT)$$

$$= 3(0,248 +$$

$$\int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^{-2}}{T} dT$$

$$= 3(0,248 + 0,082)$$

$$= 0,990 \text{ kJ/molK}$$

Maka

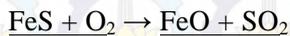
$$\Delta S_{1573} = -0,53 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga

$$\Delta G_{1573} = -1984,7 + 1573 \times 0,53$$

$$= -1151,01 \text{ kJ/mol}$$

Lalu reaksi:



reaktan produk

$$\Delta H(\text{FeO})_{1573} = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeO}) dT$$

$$= -264,4 + \int_{298}^{1573} (60,7) dT$$

$$= -187,008 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2) dT$$

$$\begin{aligned}
&= -296,85 \\
&+ \int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2) dT \\
&= -296,85 + 66,436 \\
&= -230,414 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{FeS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeS}) dT \\
&= -100 + \int_{298}^{411} (95,5) dT \\
&+ \int_{411}^{598} (72,3) dT + \int_{598}^{1463} (168,5) dT + \\
&\int_{1436}^{1573} (195,6) dT \\
&= 91,58 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2) dT \\
&= 0 + \\
&\int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-5} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2) dT \\
&= 0 + 42,7 \\
&= 42,7 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Maka

$$\Delta H_{1573} = -551,68 \text{ kJ/mol}$$

Lalu

$$\begin{aligned}
\Delta S(\text{FeO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeO})}{T} dT \\
&= 0,06 + \int_{298}^{1573} \frac{64,07}{T} dT \\
&= 0,16 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

$$\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} = \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT$$

$$= 0,248 + \int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2}{T} dT$$

$$= 0,248 + 0,082$$

$$= 0,330 \text{ kJ/molK}$$

$$\Delta S(\text{FeS})_{1573} = \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeS})}{T} dT$$

$$= 0,06 + \int_{298}^{411} \frac{95,05}{T} dT + \int_{411}^{598} \frac{72,3}{T} dT$$

$$+ \int_{598}^{1463} \frac{168,5}{T} dT + \int_{1463}^{1573} \frac{195,6}{T} dT$$

$$= 0,28 \text{ kJ/molK}$$

$$\Delta S(\text{O}_2)_{1573} = \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT$$

$$= 0,205 + \int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2}{T} dT$$

$$= 0,205 + 0,054$$

$$= 0,25 \text{ kJ/molK}$$

Maka

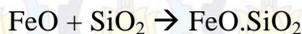
$$\Delta S_{1573} = -0,04 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga

$$\Delta G_{1573} = -551,68 + 1573 \times 0,04$$

$$= -488,76 \text{ kJ/mol}$$

Lalu reaksi



$$\Delta H_{\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2} = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p dT$$

$$= -561,767 + \int_{298}^{1573} 34,59 dT + \left(\int_{298}^{900} 31,004 + \int_{900}^{1079} 32,47 dT + \int_{1079}^{1573} 33,67 dT \right)$$

$$= -476,458$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{FeO}} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeO}) dT \\ &= -264,4 + \int_{298}^{1573} (60,7) dT \\ &= -187,008 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{SiO}_2} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p dT \\ &= -910,85 + \left(\int_{298}^{900} 67,4 dT + \int_{900}^{1079} 70,6 dT + \int_{1079}^{1573} 73,2 dT \right) \\ &= -821,307\end{aligned}$$

Maka

$$\Delta H_{1573} = -527,56$$

Lalu

$$\begin{aligned}\Delta S_{\text{FeO.SiO}_2} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} C_p/T dT \\ &= 51,84 + \int_{298}^{1573} 34,59/T dT + \left(\int_{298}^{900} 31,004/T dT + \int_{900}^{1079} 32,47/T \right. \\ &\quad \left. dT + \int_{1079}^{1573} 33,67/T dT \right) \\ &= 0,162\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S_{\text{FeO}} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} C_p/T dT \\ &= 60,7 + \int_{298}^{1573} 60,7/T dT \\ &= 0,167\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S_{\text{SiO}_2} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} C_p/T dT \\ &= 41,46 + \left(\int_{298}^{900} 67,4/T dT + \int_{900}^{1079} 70,6/T dT + \int_{1079}^{1573} \right. \\ &\quad \left. 73,2/T dT \right) \\ &= 0,156\end{aligned}$$

Maka

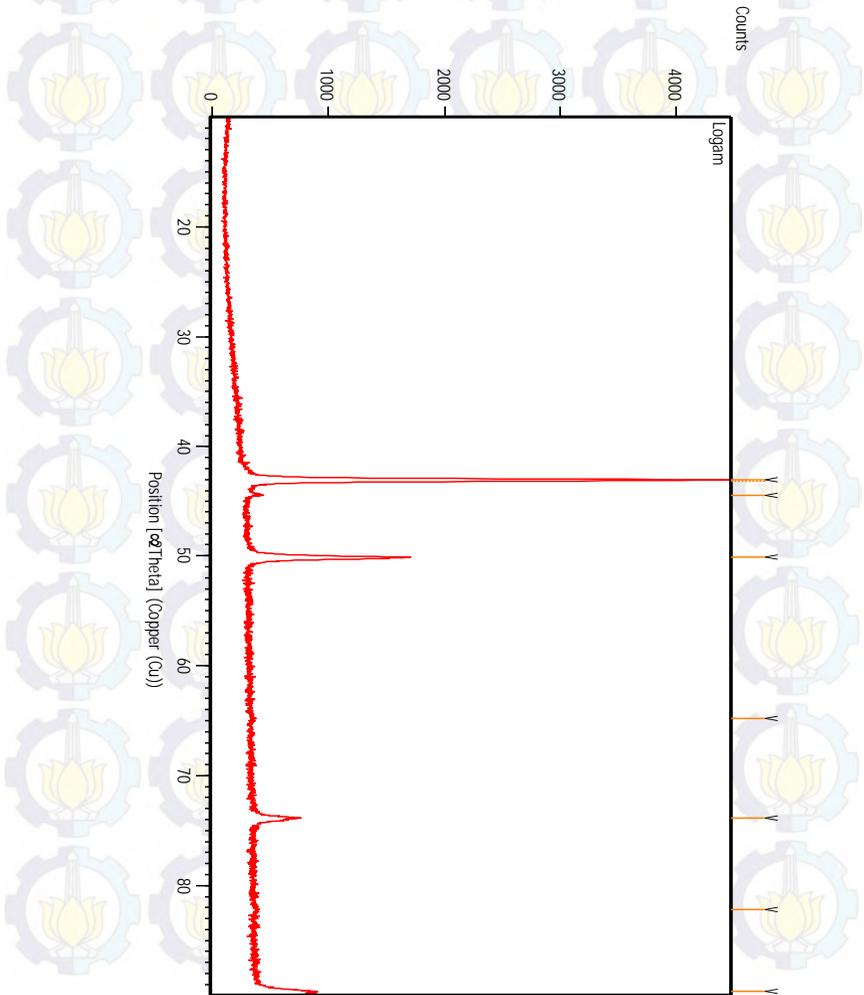
$$\Delta S = -0,155 \text{ kJ/mol}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}\Delta G &= -527,56 - 1573 \times 0,155 \\ &= -771,375 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

1. Hasil Pengujian XRD

1.1 Hasil XRD Logam Awal



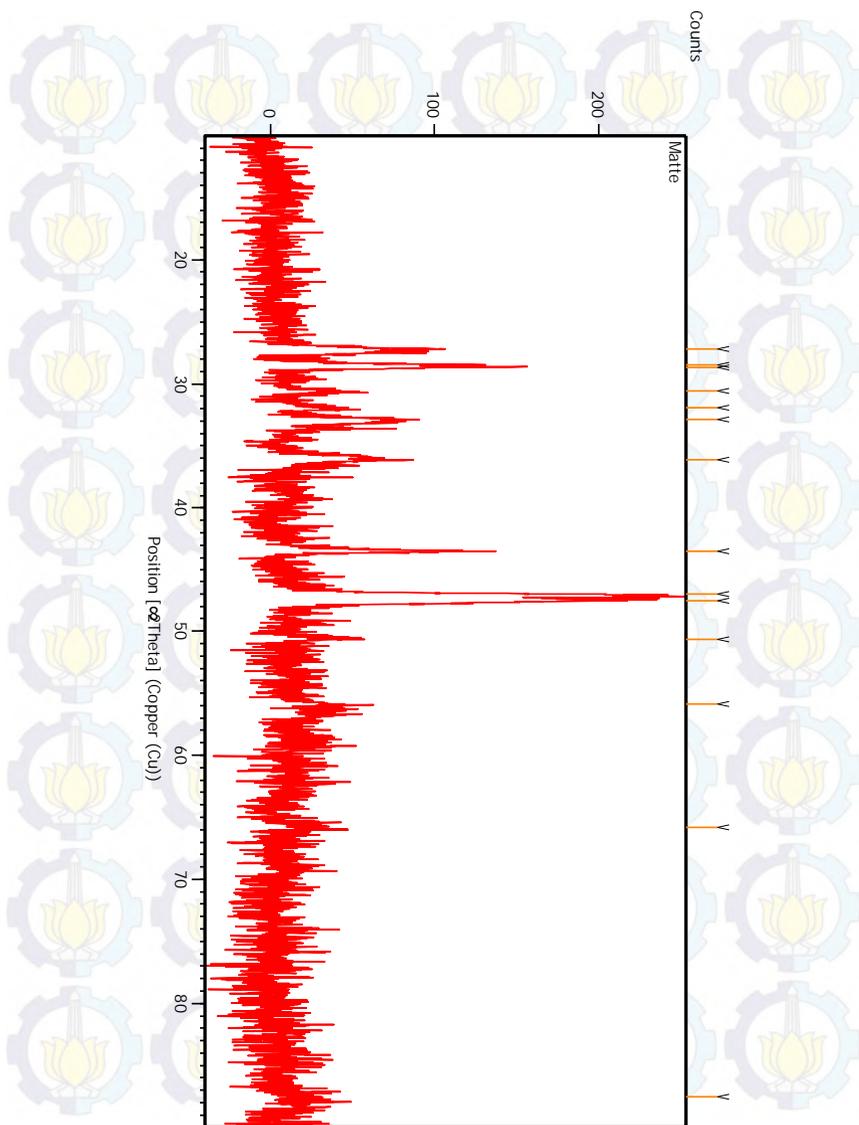
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.0126	4134.57	0.1836	2.10118	100.00
43.1534	2398.98	0.1020	2.09985	58.02
44.4444	133.49	0.1224	2.03675	3.23
50.1441	1400.16	0.1836	1.81778	33.86
64.7934	20.36	0.9792	1.43772	0.49
73.8651	350.47	0.1428	1.28196	8.48
82.1565	23.97	0.9792	1.17229	0.58
89.6489	491.93	0.3264	1.09272	11.90

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2 θ]	Scale Factor	Chemical Formula
*	03-065-9743	87	Copper	-0.362	0.923	Cu
*	01-087-0722	81	Iron	-0.293	0.030	Fe

1.2 Hasil XRD Matte Awal



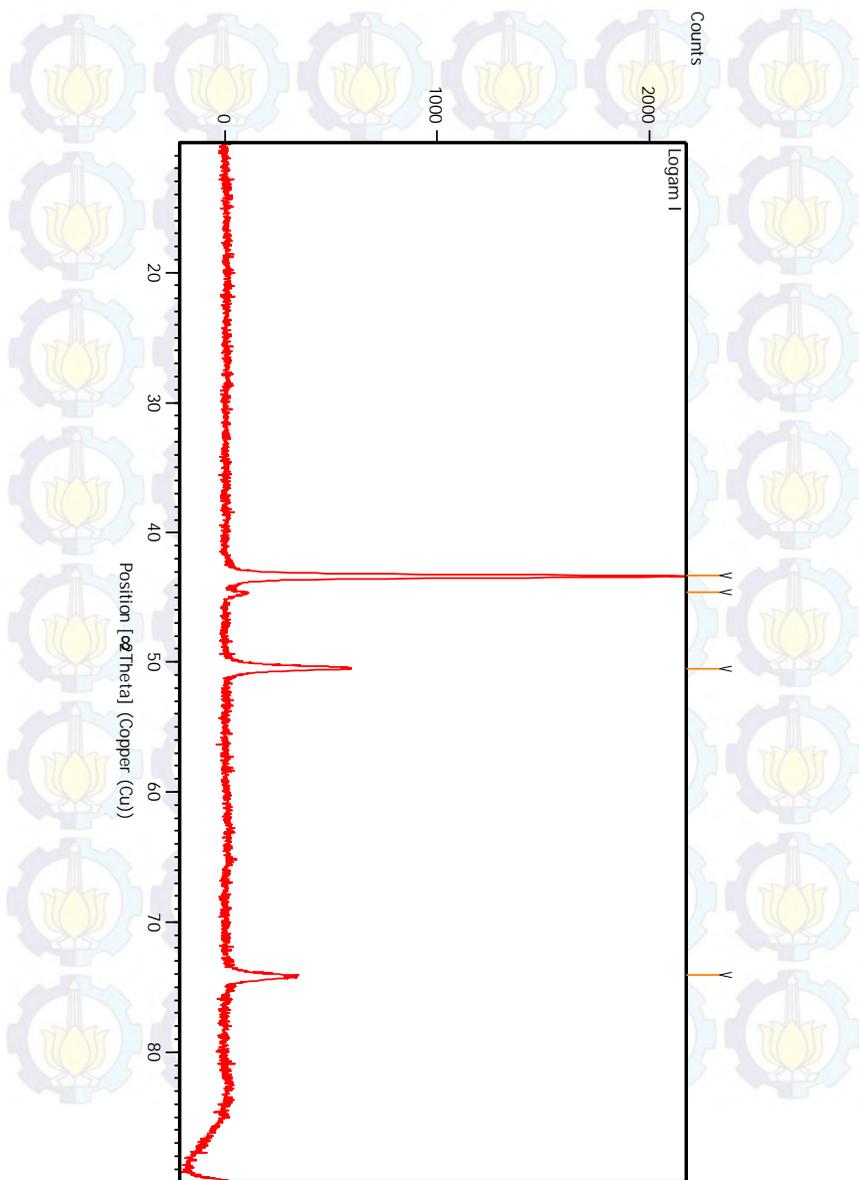
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27.1860	104.07	0.1004	3.28026	54.60
28.4466	114.46	0.1004	3.13770	60.05
28.6483	140.25	0.1338	3.11606	73.58
30.6033	29.68	0.4015	2.92131	15.57
31.9170	24.66	0.4015	2.80401	12.94
32.8742	67.19	0.4015	2.72452	35.25
36.1188	66.30	0.4684	2.48687	34.78
43.4663	109.46	0.1673	2.08202	57.42
47.0408	190.61	0.1673	1.93181	100.00
47.5231	187.54	0.2676	1.91332	98.39
50.6884	36.71	0.2676	1.80102	19.26
55.8605	29.12	0.4015	1.64591	15.28
65.7818	17.89	0.6691	1.41967	9.39
87.5390	14.49	0.8029	1.11446	7.60

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-075-4063	58	Copper Iron Sulfide	-0.458	0.750	Cu ₂ Fe S ₂
*	01-076-6653	44	Copper sulfide	-0.053	0.744	Cu _{1.81} S
*	01-074-7399	14	Iron Sulfide	-0.379	0.236	Fe _{0.88} S

1.3 Hasil XRD Blister Tembaga Komposisi Perbandingan 0



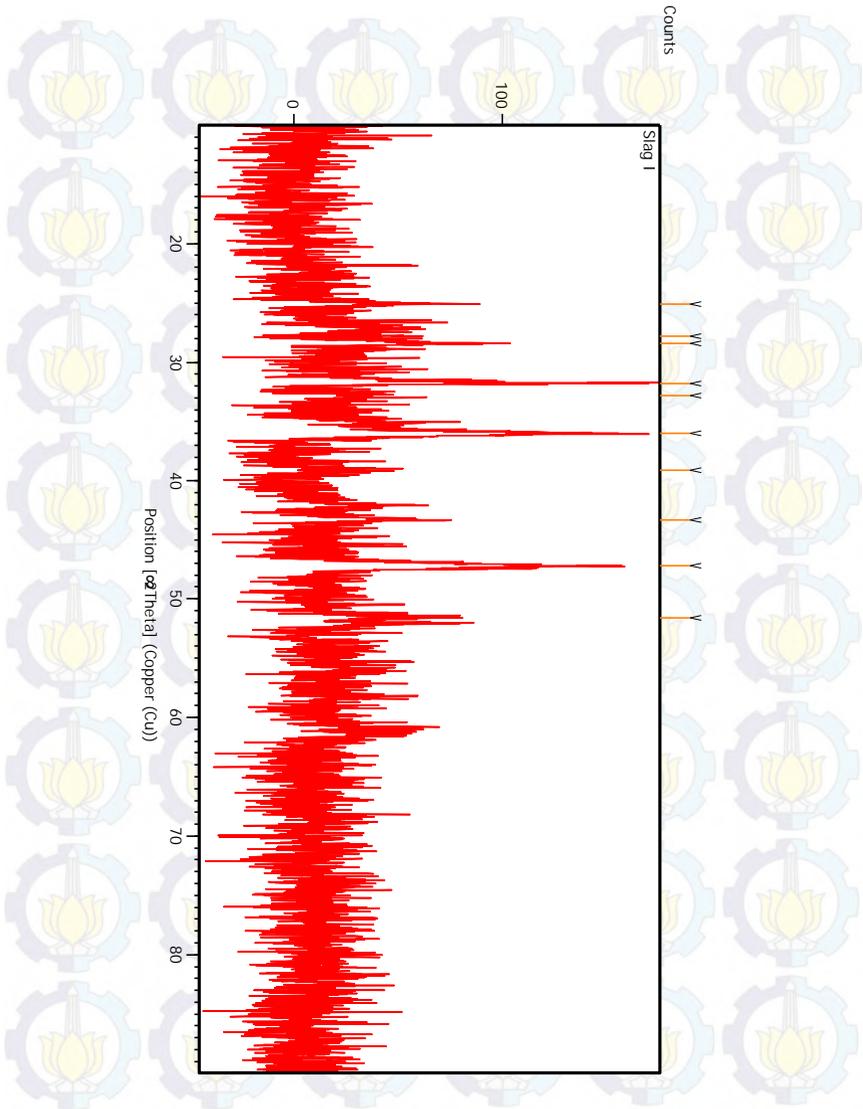
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2957	1999.16	0.2175	2.08982	100.00
50.5163	583.24	0.3011	1.80675	29.17
74.0987	327.98	0.1338	1.27956	16.41

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2 θ]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-003-1005	91	Copper	0.047	0.621	Cu

1.4 Hasil XRD Slag Komposisi Perbandingan 0



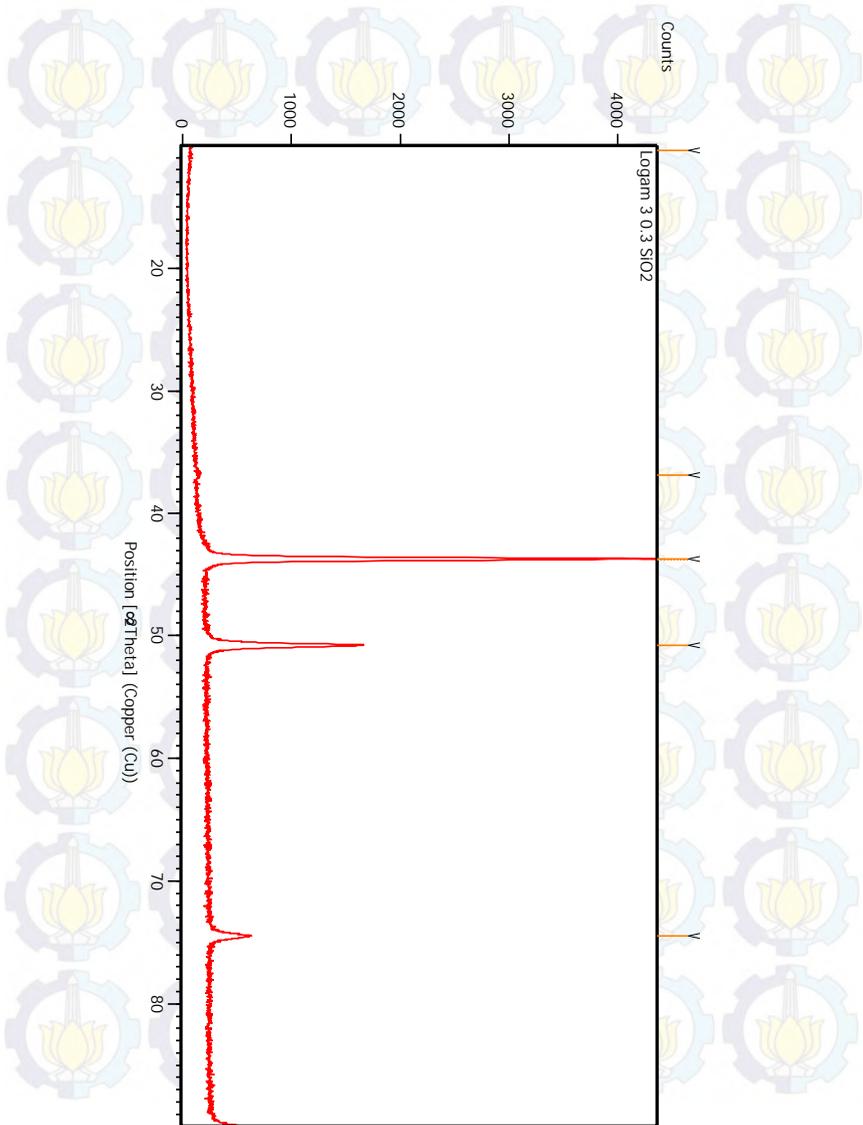
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.1030	58.08	0.2676	3.54752	42.82
27.8014	41.20	0.1004	3.20903	30.38
28.3946	71.25	0.2007	3.14332	52.53
31.7875	111.82	0.1338	2.81513	82.45
32.8364	29.44	0.5353	2.72757	21.71
35.9892	135.62	0.2342	2.49553	100.00
39.0671	26.96	0.6691	2.30572	19.88
43.2796	50.84	0.2007	2.09056	37.48
47.2133	128.08	0.4015	1.92515	94.44
51.5830	51.23	0.2676	1.77187	37.78

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2 θ]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-075-1381	32	Silicon Oxide	-0.443	0.482	Si O2
*	01-071-1399	25	Iron Silicate	0.138	0.562	Fe2 Si O4

1.5 Hasil XRD Blister Tembaga Komposisi Perbandingan 0.3



Peak List: (Bookmark 3)

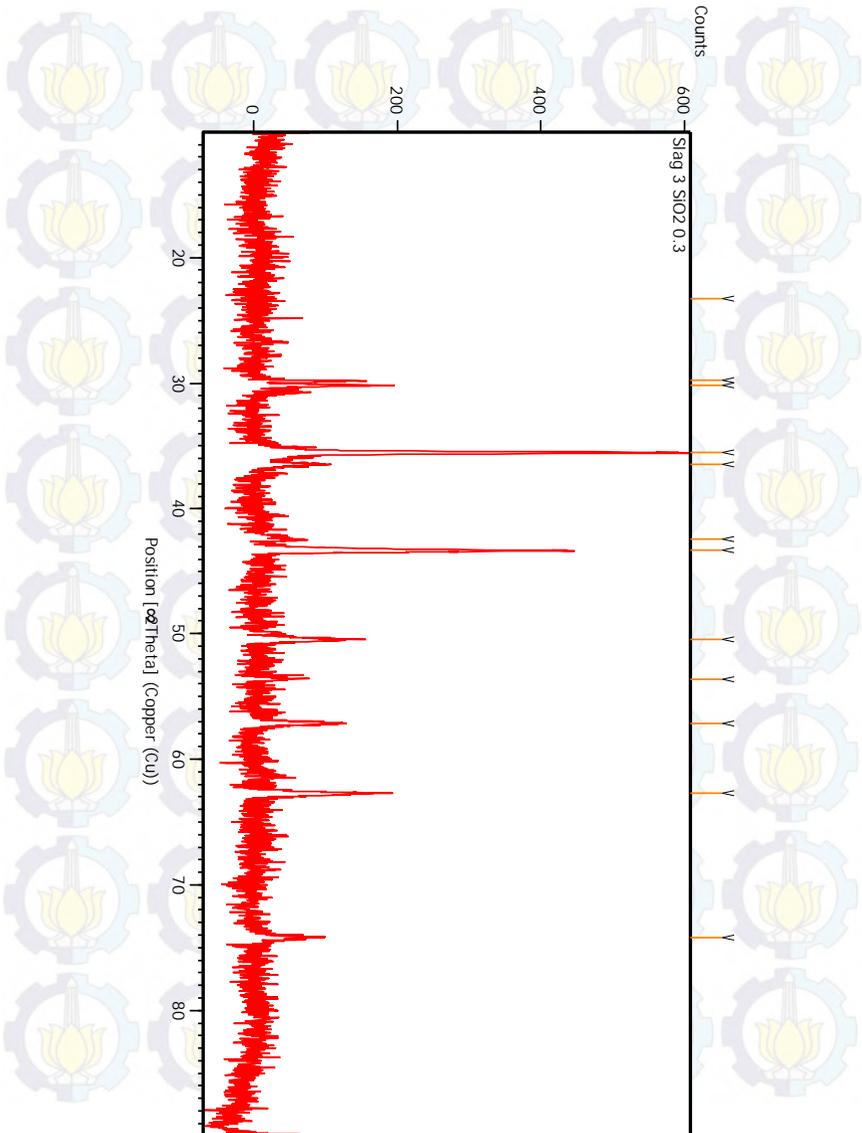


Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM Left	[°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.6702	4048.37		0.1632	2.07105	100.00
43.7772	2985.81		0.1020	2.07137	73.75
50.7642	1450.85		0.1020	1.79702	35.84
74.4488	372.48		0.2448	1.27335	9.20

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2 θ]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-071-4611	96	Copper	0.465	0.928	Cu

1.6 Hasil XRD Slag Komposisi Perbandingan 0.3



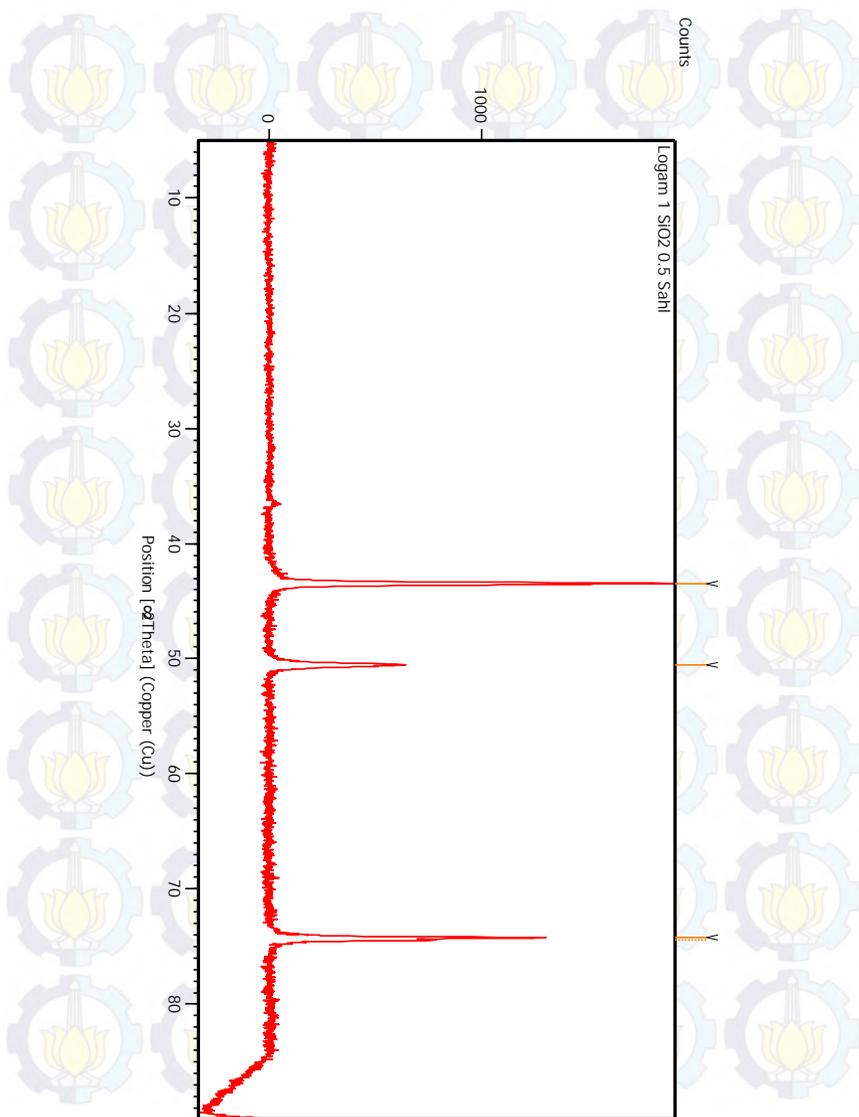
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.2910	13.25	0.1004	3.81924	2.24
29.7815	140.46	0.1004	3.00003	23.79
30.1558	197.06	0.0836	2.96363	33.38
35.5271	590.36	0.1338	2.52692	100.00
36.4769	98.18	0.1673	2.46327	16.63
42.4397	47.36	0.4015	2.12997	8.02
43.3116	408.45	0.1004	2.08909	69.19
50.4805	115.51	0.2676	1.80795	19.57
53.6143	48.39	0.2007	1.70944	8.20
57.1378	115.79	0.2342	1.61211	19.61
62.7002	170.95	0.2007	1.48181	28.96
74.1898	86.36	0.2676	1.27821	14.63

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-052-1140	68	Iron Silicon Oxide	0.048	0.862	Fe ₂ Si _{0.05} O ₄
*	03-065-9743	70	Copper	-0.118	0.624	Cu
*	00-003-0863	53	Iron Oxide	0.036	0.941	Fe ₃ O ₄

1.7 Hasil XRD Blister Tembaga Komposisi Perbandingan 0.5

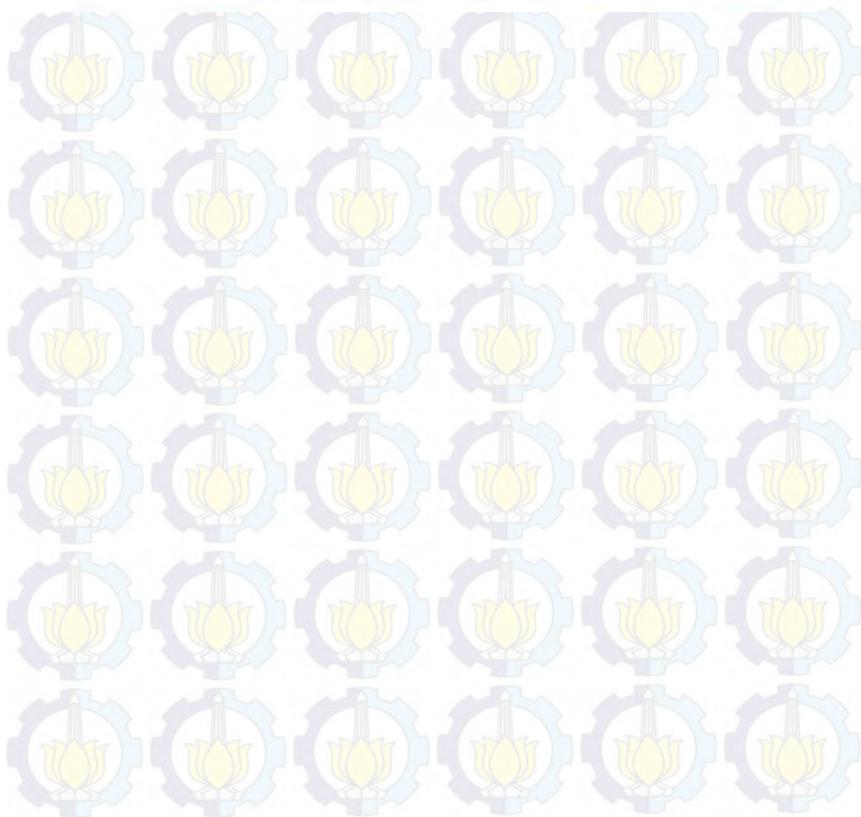


Peak List: (Bookmark 3)

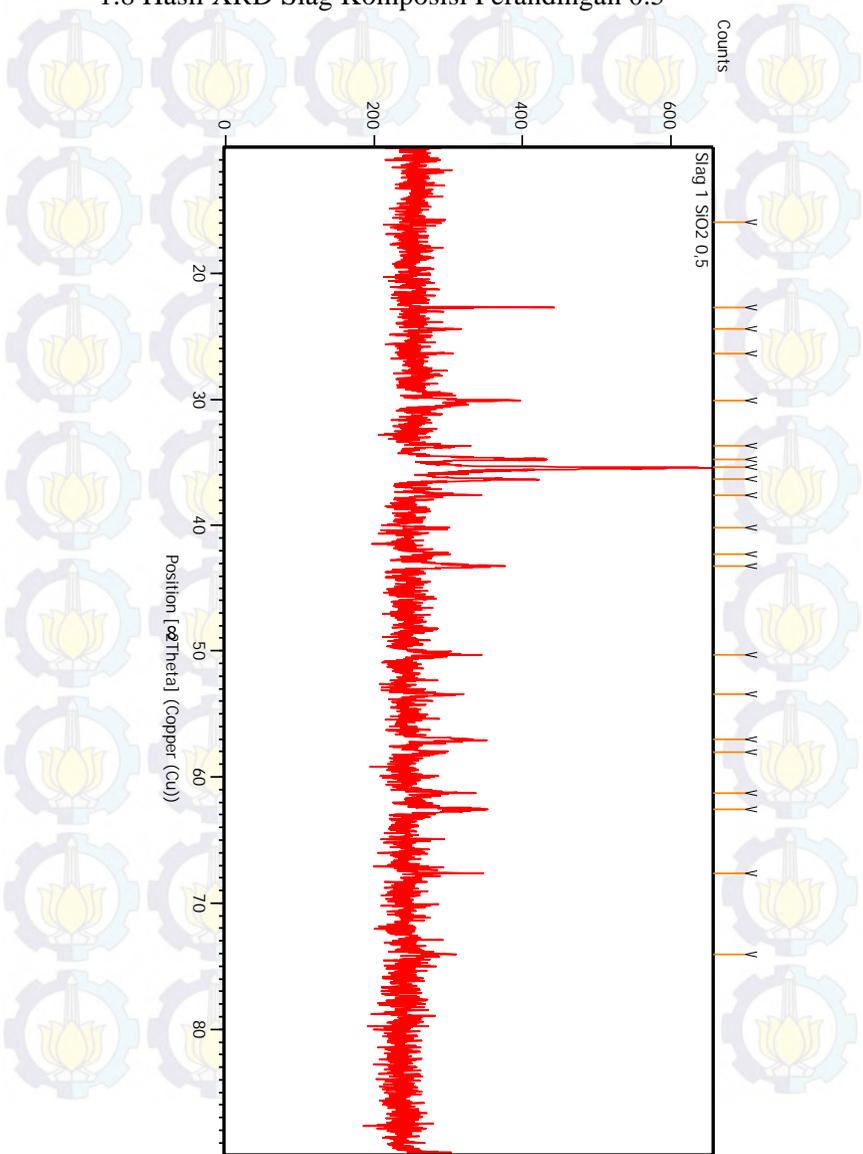
Pos. [$^{\circ}$ 2 θ .]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2 θ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.5018	1886.03	0.1338	2.08040	100.00
50.5825	632.82	0.1338	1.80454	33.55
74.2434	1295.69	0.1632	1.27637	68.70
74.4569	769.37	0.1020	1.27640	40.79

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2 θ .]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-003-1005	89	Copper	0.186	0.827	Cu



1.8 Hasil XRD Slag Komposisi Perandingan 0.5



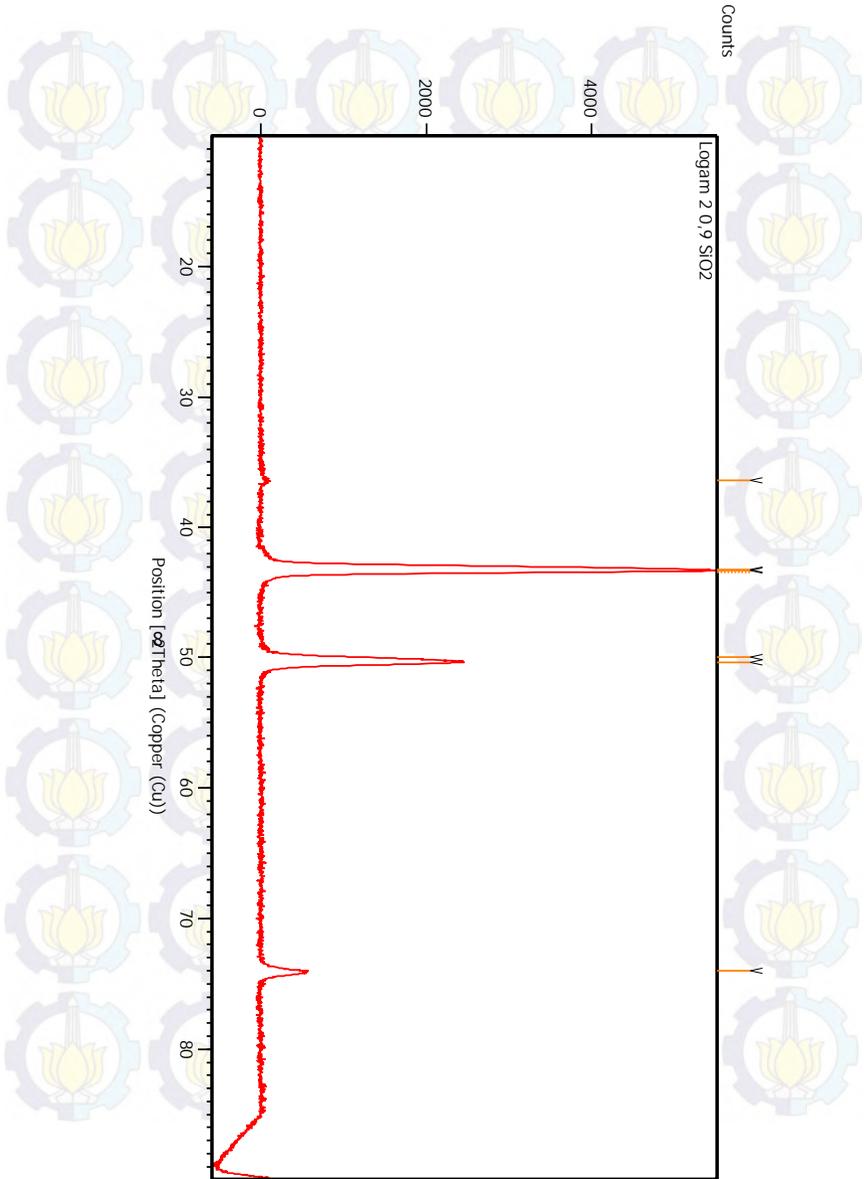
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
15.9397	22.84	0.2676	5.56021	5.78
22.7069	195.94	0.0502	3.91615	49.55
24.4369	64.39	0.1338	3.64269	16.29
26.3742	48.97	0.1004	3.37935	12.39
30.0900	123.23	0.1338	2.96997	31.17
33.7028	74.90	0.1673	2.65941	18.94
34.7615	174.18	0.1338	2.58080	44.05
35.4087	395.40	0.1004	2.53510	100.00
36.3206	150.40	0.1673	2.47352	38.04
37.5799	87.72	0.1338	2.39348	22.18
40.2025	32.15	0.1338	2.24318	8.13
42.2539	44.30	0.4015	2.13890	11.20
43.2101	126.75	0.1338	2.09376	32.06
50.3306	60.83	0.3346	1.81298	15.39
53.4662	68.66	0.1673	1.71382	17.36
57.0266	85.11	0.2007	1.61499	21.53
58.0447	38.01	0.3346	1.58907	9.61
61.2591	64.20	0.2007	1.51317	16.24
62.5409	102.60	0.1338	1.48520	25.95
67.6411	111.15	0.0612	1.38395	28.11
74.0454	50.56	0.3346	1.28035	12.79

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2 θ]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-076-0958	47	Iron Oxide	-0.052	0.942	Fe ₃ O ₄
*	01-089-3609	39	Silicon Oxide	0.349	0.252	SiO ₂
*	00-004-0836	53	Copper	-0.120	0.275	Cu

1.9 Hasil XRD Blister Tembaga Komposisi Perendangan 0.9



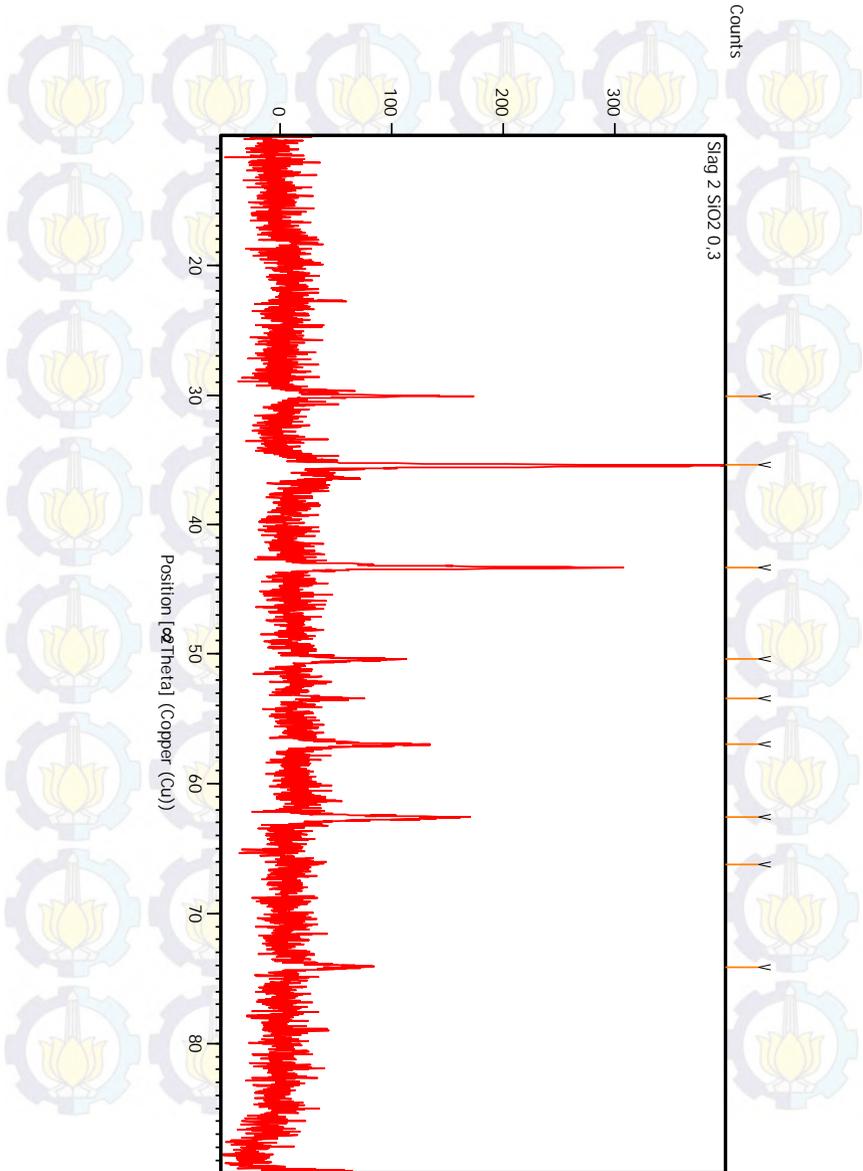
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2121	5292.97	0.1836	2.09194	98.21
43.3136	5389.46	0.1428	2.08727	100.00
43.4234	3812.67	0.0612	2.08742	70.74
50.3891	2408.89	0.4080	1.80952	44.70
74.0037	538.43	0.2856	1.27990	9.99

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2 θ]	Scale Factor	Chemical Formula
*	03-065-9743	82	Copper	-0.116	0.986	Cu

1.10 Hasil XRD Slag Komposisi Perbandingan 0.9

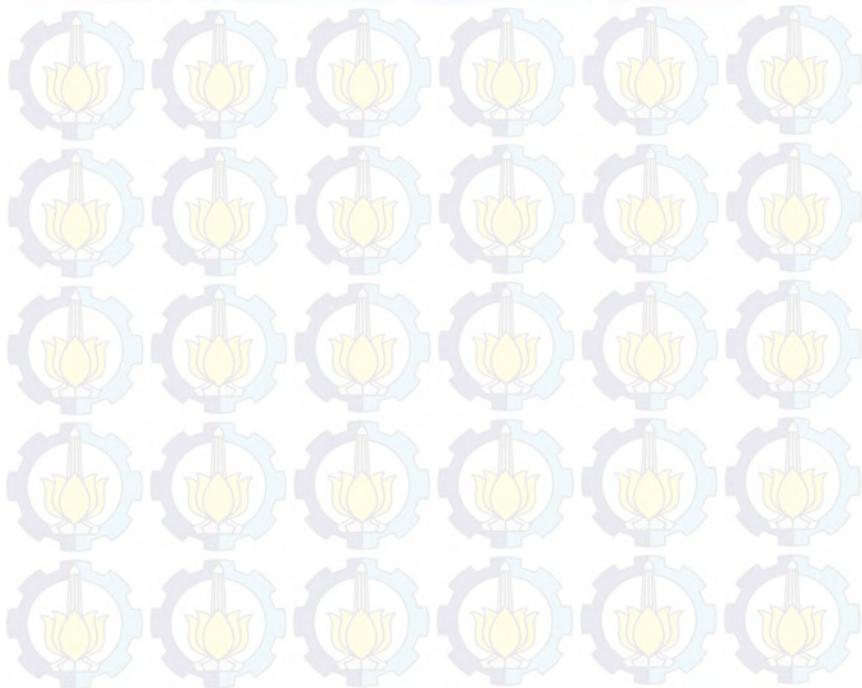


Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2 θ .]	Height [cts]	FWHM Left [°2 θ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.0663	157.75	0.1004	2.97225	40.27
35.3954	391.72	0.0836	2.53602	100.00
43.2817	284.00	0.1171	2.09047	72.50
50.3975	103.80	0.1673	1.81073	26.50
53.4078	43.74	0.2007	1.71556	11.17
56.9622	111.92	0.1673	1.61666	28.57
62.5776	139.14	0.1338	1.48442	35.52
66.2241	15.66	0.8029	1.41125	4.00
74.1150	56.76	0.2676	1.27932	14.49

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2 θ .]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-088-0315	60	Iron Oxide	-0.128	1.002	Fe ₃ O ₄
*	01-074-0977	27	Iron Silicate	-0.585	0.957	Fe ₂ (SiO ₄)
*	01-071-4610	65	Copper	-0.042	0.608	Cu



2. Hasil Pengujian XRF

2.1 Hasil Pengujian XRF Logam Awal

PT Agrofarm Nusa Raya
Jl. Ponorogo-Madiun KM 4 (Jl. Industri)
Babadan Ponorogo
Jawa Timur



S1 Report

Name: 3x3 Cu No.: 66 Date: 1/31/2014 Time: 2:19:00 PM

Duration: 80.0 s

Application: Alloys

Method: MultiMatrix4015

Alloys: C630-Al Brz (0.0)
 C623-Al Brz (0.0)
 C955-Al Brz (0.0)

Element		Concentration [%]	Stddev. [%]
Aluminium	Al	1.49	0.27
Silicon	Si	5.51	0.18
Phosphorus	P	0.10	0.03
Sulfur	S	5.16	0.06
Titanium	Ti	0.05	0.01
Iron	Fe	12.37	0.07
Cobalt	Co	0.07	0.01
Nickel	Ni	1.13	0.03
Copper	Cu	73.65	0.17
Tungsten	W	0.43	0.01
Lead	Pb	0.03	0.01

This analysis was performed with a Bruker handheld XRF analyzer.

THIS REPORT WAS CREATED WITH A SOFTWARE VERSION THAT IS INTENDED FOR
BRUKER REPRESENTATIVES AND DISTRIBUTORS ONLY!

Operator

2.2 Hasil Pengujian XRF Matte Awal



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MIPA TERPADU
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
Cu	29	41.01%	Fit spectrum	Cu KA1/EQ20
O	8	33.40%	Chem. bindings	
Fe	26	10.93%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
S	16	9.89%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Si	14	1.87%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Ca	20	1.60%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
Al	13	0.46%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Cl	17	0.25%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
P	15	0.22%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
K	19	0.13%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
Ni	28	0.07%	Fit spectrum	Ni KA1/EQ20
Ti	22	0.06%	Fit spectrum	Ti KA1/EQ20
Mn	25	0.04%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
Pb	82	0.02%	Fit spectrum	Pb LA1/EQ20
Sn	50	0.02%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40
As	33	0.01%	Fit spectrum	As KA1/EQ20

2.3 Hasil Pengujian XRF Silika Flux

04-Jun-2014 11:06:37

Sample results - Averages

Page 1

Sample ident	
Silika flux	

Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	04-Jun-2014 08:44:50
Measurement period - end	04-Jun-2014 09:24:36
Position	8

Compound	Si	K	Ca	Ti	V	Cr
Conc Unit	84.0 +/- 0.097 %	1.6 +/- 0.05 %	7.32 +/- 0.08 %	0.79 +/- 0.02 %	0.080 +/- 0.015 %	0.091 +/- 0.018 %

Compound	Mn	Fe	Ni	Cu	Ba	Hg
Conc Unit	0.13 +/- 0.01 %	3.91 +/- 0.06 %	1.31 +/- 0.02 %	0.22 +/- 0.006 %	0.1 +/- 0.03 %	0.46 +/- 0.06 %

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Sahl Balbeid lahir di Denpasar, Bali 19 September 1992. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara, sebelum masuk sebagai mahasiswa ITS pada tahun 2010 penulis menjalani pendidikan di SD Muhammadiyah 2 Denpasar, SMP Cipta Dharma Denpasar dan SMA Negeri 5 Denpasar. Selanjutnya masuk sebagai mahasiswa ITS Jurusan Teknik Material dan Metalurgi yang masuk dalam Fakultas Teknologi Industri.

Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam bidang akademik dan non-akademik dalam tahun ketiga penulis pernah menempati jabatan sebagai direktur Badan Semi Otonom Kewirausahaan HMMT FTI ITS periode 2012-2013.

Penulis mempunyai pengalaman kerja yang dilakukan pada tahun 2013 di PT. Newmont Nusa Tenggara Indonesia dalam rangka menyelesaikan mata kuliah kerja praktek. Selama kerja praktek ditempatkan di divisi laboratorium Metalurgi yang bertanggung jawab dalam proses metalurgi.

Tugas akhir yang dibuat adalah tentang optimalisasi proses converting pada hasil smelting tembaga agar meningkatkan kadar pada hasil akhir tembaga dengan menggunakan variabel perbandingan silika flux dan kadar Fe yaitu 0 ; 0.3 ; 0.5 dan 0.9.

Sahl Balbeid

087861979788

sahl_balbeid@yahoo.com