



TUGAS AKHIR – TL184834

**REVIEW PENGARUH VARIASI FLUKS TERHADAP PROSES
REFINING BLISTER TEMBAGA**

**MUHAMMAD AFNI NADZIR FALAH
NRP. 0251164000091**

**Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, Ph. D.
Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph. D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – TL 184834

**REVIEW PENGARUH VARIASI FLUKS TERHADAP
PROSES REFINING BLISTER TEMBAGA**

MUHAMMAD AFNI NADZIR FALAH
NRP. 0251164000091

Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, Ph. D.
Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph. D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

**REVIEW : THE EFFECT OF FLUX VARIATIONS ON
REFINING COPPER BLISTER PROCESS**

MUHAMMAD AFNI NADZIR FALAH
NRP. 0251164000091

Supervisor
Sungging Pintowantoro, Ph. D.
Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph. D.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

REVIEW PENGARUH VARIASI FLUKS TERHADAP PROSES REFINING TEMBAGA BLISTER

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan
Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekaya Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD AFNI NADZIR FALAH

NRP 0251164000091

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sungging Pintowantoro, Ph. D..... (Pembimbing I)
2. Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph.D..... (Pembimbing II)



SURABAYA
Juli 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW PENGARUH VARIASI FLUKS TERHADAP PROSES REFINING TEMBAGA BLISTER

Nama : Muhammad Afni Nadzir Falah
NRP : 0251164000091
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Sungging Pintowantoro, Ph. D.
Pembimbing II : Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph.D.

Abstrak

Tembaga merupakan salah satu mineral yang berlimpah di Indonesia. Kementerian Perindustrian Indonesia (KIN) menargetkan bahwa pada tahun 2025, Indonesia akan menjadi negara industri tangguh dunia yang bertumpu pada tiga industri yaitu industri agro, industri alat angkut, dan industri telematika. Untuk mendukung tercapainya target ini, maka perlu dilakukan serangkaian pengolahan dan pemurnian untuk meningkatkan nilai tambah mineral tembaga nasional,. Proses pemurnian dilakukan dengan menggunakan metode Pyrometallurgy atau proses yang dilakukan dengan Mini Blast Furnace (MBF), dengan memerhatikan aspek seperti waktu holding, jumlah udara, laju oksigen maupun fluks yang digunakan untuk mengoptimalkan pemisahan matte dengan slag. Pada review ini telah dilakukan analisis pengaruh penambahan variasi fluks terhadap kadar kemurnian tembaga blister Berdasarkan beberapa penelitian tertentu, dapat disimpulkan bahwa penambahan fluks dapat meningkatkan secara signifikan kadar tembaga (Cu) pada proses converting. Penambahan fluks silika dan fluks dolomite didapatkan kadar Cu mencapai 95%. Penambahan fluks juga dapat mengurangi jumlah tembaga (Cu) didalam slag. Selain itu, penambahan fluks juga akan membentuk fasa slag yang berbeda-beda pula, pada fluks Silika akan lebih cenderung mengarah kepada fasa fayalit, sedangkan pada fluks dolomite, slag yang terbentuk adalah sistem slag kalsium.

Kata Kunci: *fluks , slag, smelting, tembaga*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW : THE EFFECT OF FLUX VARIATIONS ON REFINING COPPER BLISTER PROCESS

Student Name : Muhammad Afni Nadzir Falah
NRP : 0251164000091
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Sungging Pintowantoro, Ph. D.
Co-Supervisor : Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph. D.

Abstract

Copper is one of the abundant minerals in Indonesia. The Indonesian Ministry of Industry (KIN) is targeting that by 2025, Indonesia will become a world tough industrial country based on the three (3) future reliable industries, namely the agro industry, the transportation equipment industry, and the telematics industry. To support the achievement of this target, it is necessary to carry out a series series of processing and refining to increase the added value of national copper minerals. The purification process can be carried out using the Pyrometallurgy method or the process which is carried out with Mini Blast Furnace (MBF), taking into account aspects such as holding time, the amount of air, the rate of oxygen and flux used to optimize the separation of matte with slag. In this review, an analysis of the effect of adding flux variations on the purity level of copper blister has been analyzed. Based on certain studies, it can be concluded that the addition of flux can significantly increase copper (Cu) levels in the converting process. Addition of silica flux and dolomite flux obtained Cu levels reached 95%. The addition of flux can also reduce the amount of copper (Cu) in the slag. In addition, the addition of flux will also form different slag phases as well, the silica flux will be more likely to lead to the fayalite phase, whereas in the dolomite flux, the slag formed is a calcium slag system.

Keywords: *copper, flux, slag, smelting*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb. Dengan mengucapkan puji syukur penulis mengucapkan kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas nikmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Review Penambahan Fluks Terhadap Proses Refining” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS

Penulis merasa bahwa dalam penyusunan laporan ini menemui beberapa kendala, dan serta menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna. Maka dari pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih sebesar – besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu menjadi sumber perlindungan dan pencerahan bagi penulis dalam melaksanakan penyusunan Tugas Akhir
2. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph. D. dan Ibu Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph. D., serta Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir. Terimakasih atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir
3. Orang Tua, Keluarga dan teman – teman yang selalu mendukung serta memberikan doa selama penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi semua pihak

Surabaya, Juli 2020
Penulis

Muhammad Afni Nadzir Falah

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Review.....	2
1.4 Tujuan Review	3
1.5 Manfaat Review	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tembaga	5
2.2 Kalkopirit.....	7
2.3 Refining Tembaga.....	8
2.3.1 Benefikasi (<i>Crushing, Grinding dan Flotasi</i>)	9
2.3.2 Roasting.....	10
2.3.3 Smelting	11
2.3.4 Converting.....	12
2.4 Fluks	13
2.4.1 Limestone	13
2.4.2 Silika	15
2.5 Slag	16
2.6 Termodinamika dalam Converting	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir	21
3.2 Metode Penelitian	22
3.3 Pengujian Material	24
3.3.1 SEM.....	25

3.3.2	XRF	25
3.3.3	XRD	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Analisis Data	27
4.1.1	Data Hasil Penambahan Fluks Dolomite.....	27
4.1.2	Data Hasil Penambahan Fluks Silika	29
4.1.3	Data Hasil Penambahan Fluks Colemanite	31
4.1.4	Data Hasil Penambahan Fluks B ₂ O ₃	34
4.2	Pembahasan.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
5.3	Kritik.....	44
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		49
UCAPAN TERIMA KASIH.....		55
BIODATA PENULIS		57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Persebaran tembaga di Indonesia	7
Gambar 2.2	<i>Flow Sheet Refining</i> Tembaga	9
Gambar 2.4	Pierce – Smith Converter	13
Gambar 2.5	Ikatan Fe – Si – O	17
Gambar 2.6	Diagram Ellingham	20
Gambar 3.1	Diagram Alir	22
Gambar 3.2	Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM	25
Gambar 4.1	Grafik Peningkatan Kadar %Cu	28
Gambar 4.2	Efek Penambahan <i>Additive</i> (CaO, B ₂ O ₃ , CC)	29
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Hasil XRD	30
Gambar 4.4	Grafik Kadar Tembaga	31
Gambar 4.5	Grafik efek Penambahan Colemanite dalam kehilangan tembaga pada converter slag	32
Gambar 4.6	Temperatur terhadap Cu dalam Converter Slag	32
Gambar 4.7	Data Hasil Penelitian Penambahan Fluks Colemanite	33
Gambar 4.8	<i>Chemical Analysis</i> penambahan Colemanite, Cao dan B ₂ O ₃ dalam Converter Copper	34
Gambar 4.9	Grafik penurunan kadar %Cu pada Slag	38

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Tembaga	5
Tabel 2.2	Jenis Mineral Tembaga.....	6
Tabel 3.1	Metode Penelitian pada <i>Paper Review</i>	23
Tabel 4.1	Hasil Uji XRF unsur Cu, Fe dan S	27
Tabel 4.2	Hasil uji penelitian	28
Tabel 4.3	Hasil Pengujian XRD Blister Tembaga.....	29
Tabel 4.4	Hasil Pengujian XRF Tembaga Blister	30

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang mempunyai potensi sumber daya alam yang tergolong besar. Salah satu contohnya adalah kandungan bijih yang terdapat di Indonesia seperti nikel, tembaga, emas, besi, timah, dan sebagainya. Hal ini merupakan keuntungan untuk Indonesia dibidang teknologi maupun ekonomi baik secara langsung maupun tidak langsung. Adanya sumber daya yang melimpah tersebut mendorong kita untuk mengolah menjadi barang tukar yang lebih tinggi harganya. Di dunia internasional, Indonesia merupakan salah satu bagian dari industri besar tembaga.

Menurut data Kementerian Ekonomi dan Sumber Daya Alam (ESDM), Indonesia mencatatkan produksi tembaga sebesar 176.400 ton. Hal ini menempatkan Indonesia sebagai negara dengan produksi tembaga yang berlimpah. Kementerian Perindustrian Indonesia pada tahun 2025 dalam KIN menargetkan bahwa Indonesia menjadi negara industri tangguh dunia yang bertumpu pada tiga industri andalan masa depan yaitu industri agro, industri alat angkut, dan industri telematika, yang menjadikan industri logam sebagai tulang punggung industri Indonesia, karena ketiga industri andalan ini sangat memerlukan industri logam. Hal ini tertuang dalam PerPres No 28 tahun 2008 tentang Kebijakan Industri Nasional atau KIN (Trisnadi Hidir, 2014). Kebijakan tersebut juga menunjang UU No 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, yang mewajibkan Kontrak Karya dan Pemegang IUP tembaga untuk melakukan peningkatan nilai tambah melalui pengolahan dan pemurnian di dalam negeri. Kegiatan pengolahan dan pemurnian dapat dilakukan sendiri atau bekerjasama dengan pihak lain.

Dikarenakan hal tersebut maka Indonesia membutuhkan teknologi pengolahan mineral tembaga yang mampu mengolah mineral tembaga nasional. Salah satu teknologi yang dapat

diaplikasikan yaitu menggunakan metode *Pyrometallurgy* atau proses smelting yang dilakukan dengan *Mini Blast Furnace* (MBF). Proses pemurnian pada tembaga sendiri memiliki beberapa tahap yaitu *roasting*, *smelting*, *converting* dan *refining*. Setiap proses tersebut memiliki beberapa aspek yang ditinjau untuk mencapai hasil yang maksimal pada produksi bijih tembaga. Pada proses pemurnian tembaga atau proses *converting* mempunyai tujuan untuk mendapatkan tembaga (*blister*) dengan kemurnian yang lebih tinggi. Metode ini dilakukan dengan cara memanaskan tembaga matte dan mengalirkan udara atau oksigen.

Pada proses pemurnian ini, memiliki banyak aspek yang ditinjau seperti waktu pemanasan dan holding, jumlah udara, laju oksigen maupun fluks yang digunakan untuk mengoptimalkan pemisahan matte dengan slag. Pengaruh penggunaan fluks untuk proses ini, serta juga penambahan fluks berguna sebagai proses desulfurisasi pada matte untuk memisahkan pengotor menjadi slag. Maka dari itu, pada review kali ini akan dibahas bagaimana pengaruh dari variasi fluks terhadap proses pemurnian. Sehingga dapat diketahui apa saja yang dapat dikembangkan dalam variasi ini.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah untuk review ini adalah bagaimana pengaruh dari jenis fluks terhadap proses refining atau proses pemurnian.

1.3 Batasan Review

Adapun batasan masalah pada review kali ini yaitu;

1. Metode yang digunakan adalah *converting* untuk tembaga
2. Pembahasan meliputi secara umum pengaruh penambahan jenis fluks terhadap proses refining
3. Pada review kali ini tidak akan menentukan jenis fluks mana yang memiliki pengaruh terbaik
4. Komposisi Raw material yang digunakan pada review kali ini dianggap sama

1.4 Tujuan Review

Tujuan dari review ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan variasi fluks terhadap kadar kemurnian tembaga blister

1.5 Manfaat Review

Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan jenis fluks terhadap proses pemurnian tembaga. Serta memberikan alternatif fluks yang lebih baik untuk proses pengolahan dari mineral tembaga

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tembaga

Tembaga merupakan salah satu logam berat yang banyak dimanfaatkan dalam industri, terutama dalam industri elektroplating, tekstil dan industri logam (Anita Wardah, dkk, 2013). Tembaga merupakan sebuah unsur logam ulet dan mampu tempa serta memiliki sifat konduksi panas dan elektrik yang baik dan juga sifat tahan korosi yang tinggi (Habashi Fathi, 1997)

Tembaga memiliki konduktifitas thermal 10 kali lebih tinggi dari pada baja. Ini membuat tembaga lebih baik untuk *chill*, *casting molds*, dan aplikasi lainnya yang membutuhkan perubahan cepat oleh panas. Titik lebur tembaga adalah 1981°F (1092°C). namun oksida yang terbentuk ketika tembaga terkena panas atau kondisi lingkungan jangka panjang (Horath, 2001)

Tabel 2.1 Karakteristik Tembaga (Sumber: Mekanik ITM, 2018)

Sifat – Sifat	Tembaga Murni
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20°C	8.93
Titik Cair (°C)	1083
Konduktifitas panas 20 – 400 °C (W/mK)	393
Modulus Elastisitas (Gpa)	128
Modulus Kekakuan (Gpa)	46.8

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

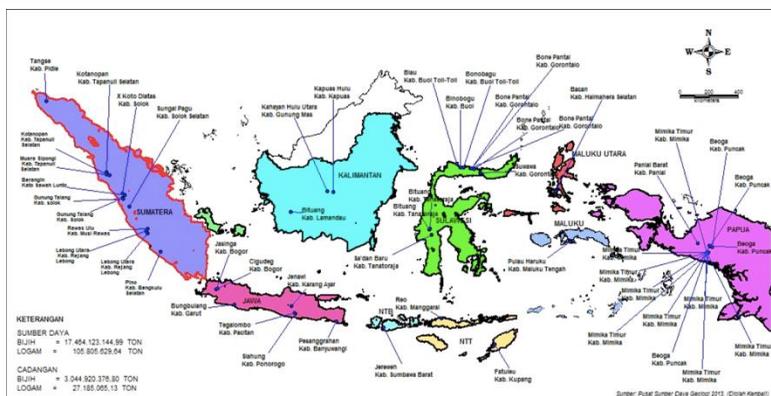
metode pembentukan konsentrat, peleburan dan pemurnian. Tembaga juga didapat dari mineral yang teroksidasi, *cuprite* (Cu_2O): karbonat, *malachite*, dan *azurite*: *silica*, *chrysocholla*. bijih dalam bentuk ini kebanyakan diolah dengan menggunakan metode *hydrometallurgy*. (Davenport, 2002)

Tembaga memiliki presentase Cu yang berbedaa – beda didalam bijih atau mineral tembaga. Hal ini dikarenakan struktur kimia tiap mineral tembaga yang berbeda.

Tabel 2.2 Jenis Mineral Tembaga

No	Tipe	Jenis Mineral	Rumus Kimia	%Cu
1	Mineral Sulfida Primer (<i>hypogene Sulfides</i>)	Kalkopirit	CuFeS_2	34,6
		Bornit	Cu_5FeS_4	63,3
2	<i>Supergene sulfides</i>	Kalkosit	Cu_2S	79,9
		Kovelit	CuS	66,5
3	Tembaga alam	Logam	Cu	100
4	Karbonat	Malasit	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57,5
		Azurit	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55,3
5	Hidroksi Silikat –	<i>Chrysocolla</i>	$\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	59,5
6	Hidroksi Klorit -	<i>Alacamite</i>	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	59,5
7	Oksida	Cuprit	Cu_2O	88,8
		Tenorit	CuO	79,9
8	Sulfat	Antlerit	$\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$	53,7
		<i>Brochantite</i>	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	56,2

Di Indonesia sendiri, mineral tembaga tersebar diberbagai daerah. Peta persebaran mineral tembaga yang ada di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Peta Persebaran tembaga di Indonesia (Ijang Suherman, 2016)

2.2 Kalkopirit

Kalkopirit merupakan mineral tembaga dengan cadangan yang paling besar (Nesse, 2000). 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 itu 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 pengubahan 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. 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

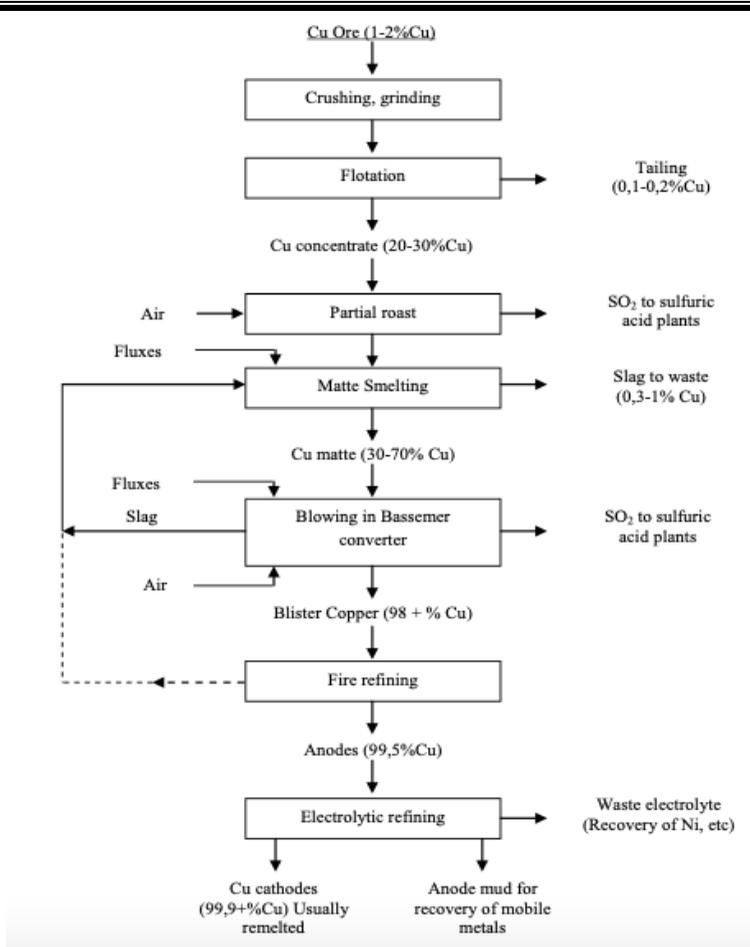
mineral lain, seperti Sphalerit, galena, tetrahedrit, pirit dan banyak tembaga sulfida yang lainnya (Mineral data publishing, 2001-2005).

Terdapat dua metode untuk mengolah kalkopirit. Metode yang pertama dan paling penting ialah dengan metode pirometalurgi konvensional. Metode ini menggunakan berbagai tipe reaktor dan juga menggunakan teknologi flash, yang 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, Cu₂O, karbonat dan beberapa silikat, serta mineral sulfida dengan kalkopirit sebagai mineral tembaga yang dominan (Davenport, 2002)

2.3 Refining Tembaga

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).

Dalam Refining Tembaga, ada beberapa proses yang digunakan dalam sebuah gambaran skala pabrik. Refining Tembaga tentunya memiliki flowsheet yang mana terdiri dari *crushing*, *grinding*, flotasi, *roasting*, *smelting*, *blowing*, *fire refining* dan *electro refining*. Flow sheet pengolahan mineral tembaga diperlihatkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 *Flow Sheet Refining Tembaga* (Rosenqvist,2004)

2.3.1 Benefikasi (*Crushing, Grinding dan Flotasi*)

Sebelum dimasukkan ke smelter, mineral harus dibenefikasi. Benefikasi ialah bagian proses ekstraksi yang mana tujuannya ialah meningkatkan sifat fisik dan kimia mineral. Untuk proses benefikasi *high- grade ore* caranya dengan crushing

sehingga membentuk *fine ore* dan *lump ore* (mineral 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 yaang 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-crusher lainnya, sedangkan *grinding* dilakukan dengan menggunakan *ball mill*. Tujuan dari *crushing* dan *grinding* ini ialah untuk mengecilkan ukuran mineral hingga ukuran tertentu yang diijinkan masuk ke *smelter*.

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

2.3.2 Roasting

Roasting disini bertujuan untuk menghilangkan impuritas yang ada pada konsentrat. Biasanya, konsentrat mengandung 10-56% air. Mineral tembaga tadi dipanaskan hingga temperatur 5900C. 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 dirubah 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).

2.3.3 Smelting

Tujuan dari smelting ialah menghilangkan unsur selain Cu pada mineral tembaga, bisa dengan cara mengoksidasi atau dengan cara mereduksi dengan gas tanur untuk memproduksi fasa likuid sulfida yang kaya akan Cu (*matte*). Produk dari proses smelting ini antara lain (i) *matte* likuid sulfida (45-75% Cu) dan (ii) slag. Secara teori, konsentrat dapat direduksi langsung hingga menghasilkan logam tembaga dengan mengoksidasikan unsur sulfida menjadi tembaga dan oksida besi. Selain itu, proses smelting juga menghasilkan gas luar berupa SO₂ (10 – 60% SO₂). SO₂ ini berbahaya terhadap lingkungan, sehingga SO₂ ini harus dihilangkan sebelum dilepaskan ke lingkungan. Hal ini sering dilakukan dengan penangkapan gas SO₂ sebagai asam sulfurik. Berbagai jenis smelter dapat digunakan untuk proses smelting ini antara lain Mitsubishi, Outokumpu, Flash dan lain-lain (Devenport, 2002).

2.3.4 Converting

Converting merupakan proses oksidasi Cu – Fe – S *matte* cair menjadi tembaga blister cair. Proses ini dilakukan dengan cara mengalirkan udara yang kaya akan oksigen ke *matte*. Hal ini menghilangkan Fe dan S dari *matte* untuk menghasilkan tembaga cair mentah.

Tembaga *matte* yang cair ditransfer dari smelter ke dalam ladle dan dituangkan ke dalam converter melalui saluran terpusat yang lumayan besar, kemudian ditiupkan oksigen dan konverter diputar. Panas yang terbentuk dari proses oksidasi Fe dan S cukup untuk membuat proses berjalan secara autothermal. Berikut contoh reaksi yang ada dalam converter:

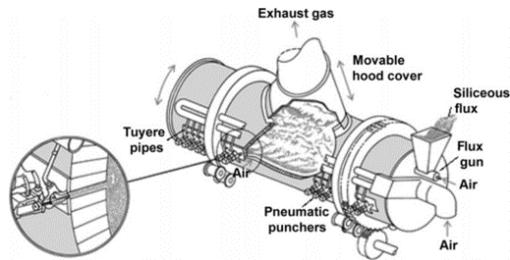
1. Penghilangan FeS atau pembentukan slag

$$2\text{FeS} + 3\text{O}_2 + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{SO}_2 + \text{Heat} \dots\dots\dots(2.4)$$
2. Tahap pembentukan Tembaga Blister

$$\text{Cu}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cu} + 2\text{SO}_2 + \text{Heat} \dots\dots\dots(2.5)$$

SO₂, 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 sulfuric (Davenport, 2002). Terdapat beberapa macam pada proses *converting*, yaitu:

1. *Batch Converting* : Pierce – Smith Converting
2. *Continous Converting*: Outkumpu Flash, Mitsubishi Continous, Noranda Continous



Gambar 2.3 Pierce – Smith Converter (Seshadri,2014)

2.4 Fluks

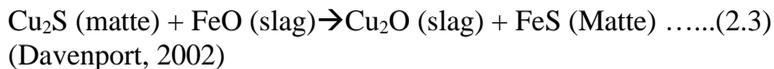
Fluks adalah zat yang ditambahkan untuk mengikat mineral yang tidak digunakan selama proses peleburan bijih yang akan membentuk slag yang dapat dipisahkan dari logam. *Slag* dapat dipisahkan dari logam karena memiliki kepadatan yang lebih rendah. Ikatan pada *Slag* memiliki titik leleh lebih rendah dari logam (Kokal H.R., 1994). Adapun fluks yang umum digunakan pada proses converting yaitu silica dan batu kapur (Fahmi, Syamsul dkk, 2017):

2.4.1 Limestone

Limestone atau yang disebut juga dengan kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan salah satu mineral anorganik yang dikenal tersedia dengan harga murah secara komersial. Kalsium karbonat terdiri dari tiga jenis Kristal yaitu kalsit, aragonite, dan vaterite. Namun diantara ketiga jenis Kristal, jenis kalsit yang paling stabil sehingga sering digunakan pada dunia industry (Kirboga,2013). Berdasarkan proses pembentukannya, limestone dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu *micrites*, *chalk*, *oolithic*, *biosparite*, dan *tufa*. *Micrites* limestone terbentuk akibat endapan lumpur karbonat. *Chalk* limestone terbentuk akibat pelapukan cangkang dan algae. *Oolitic* limestone berbentuk bulat dengan diameter kurang dari 1mm. *Biosparite* limestone terbentuk akibat pelapukan skeleton dan *tufa* limestone terbentuk akibat presipitasi pada mata air (Oates, 1998). Limestone terdiri dari, butir Matriks,

semen dan terkadang juga terdapat pori di dalamnya. Selain itu elemen yang terkandung di dalam CaCO_3 tidak hanya terdiri dari elemen penyusun kalsium namun juga terdapat beberapa elemen lain seperti kalium, silikon, sodium, potassium, aluminium dan oksigen yang kadarnya akan semakin menurun ketika suhu kalsinasi juga meningkat (Noviyanti *et al.*, 2015). Limestone terdapat pada cekungan geologis yang berbeda, sehingga memiliki perbedaan pada struktur kristal, kandungan kima dan juga strukturnya. Semua perbedaan ini akan mempengaruhi sifat dari limestone saat proses pembakaran dan juga bahkan terhadap reaktivitas limestone terhadap asam (Kalasova, et al. 2018).

Limestone digunakan untuk menghilangkan oksida sulfur dan hydrogen klorida dari emisi gas buang. Kapur juga digunakan sebagai *fluks* pada industri manufaktur baja (Fred Weber, 2006). Kapur mengandung senyawa CaCO_3 dan MgCO_3 yang mana saat dipanaskan akan terdekomposisi menjadi CaO dan MgO yang bisa mengurangi viskositas slag karena mampu mengikat SiO_2 . Viskositas dari slag dapat diturunkan dengan menambahkan fluks ke dalam slag. Fluks bisa berupa lime (kapur) atau dolomite. Kapur atau dolomite dapat menurunkan massa slag dan menurunkan viskositas slag, serta memudahkan proses tapping. Akan tetapi, hal tersebut dapat juga meningkatkan aktifitas FeO di dalam slag, yang mana menyebabkan Cu_2O semakin banyak yang terlarut di dalam slag.



Proses *converting* dilakukan pada temperatur 1220 C. Proses ini selalu berisi logam tembaga cair, slag dengan komposisi Cu , Fe^{3+} , dan terkadang Fe_3O_4 solid (magnetite). Pada mitsubishi Converter menggunakan CaO – based slag (daripada SiO_2 -based).

Reaksi yang terjadi pada *converting* dengan penambahan CaCO_3 adalah sebagai berikut

1. Reaksi Oksidasi langsung
2. Cu_2S (dalam matte)+ $\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cu}$ (tembaga cair) + SO_2 ..(2.6)
 3FeS (dalam matte) + $5\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SO}_2$ (2.7)
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$(2.8)
 $\text{CaO} + \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow$ Molten Calcium Ferrite Slag.....(2.9)
3. Slag bereaksi dengan *matte*:
4. $3\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeS} \rightarrow 10\text{FeO} + \text{SO}_2$ (2.10)
 $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Cu}_2\text{S} \rightarrow 2\text{CuO} + 6\text{FeO} + \text{SO}_2$ (2.11)
 $2\text{Cu}_2\text{O} + \text{Cu}_2\text{S} \rightarrow 6\text{CuO} + \text{SO}_2$ (2.12)
(Davenport, 2002)

2.4.2 Silika

Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat, yang tersusun dari rantai satuan SiO_4 tetrahedral dengan formula umum SiO_2 . Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintetis adalah amorph. Secara sintetis senyawa silika dapat dibuat dari larutan silikat atau dari pereaksi silan. Silika gel sebagai salah satu senyawa silika sintetis yang berstruktur amorph. Silika gel merupakan salah satu bahan kimia berbentuk padatan yang banyak dimanfaatkan sebagai adsorben. Hal ini disebabkan oleh mudahnya produksi dan juga beberapa kelebihan yang lain, yaitu: sangat inert, hidrofilik, mempunyai kestabilan termal dan mekanik yang tinggi serta relatif tidak mengembang dalam pelarut organik jika dibandingkan dengan padatan resin polimer organik. Kualitas yang berkaitan dengan pemanfaatannya ditentukan oleh berbagai faktor, yaitu struktur internal, ukuran partikel, porositas, luas permukaan, ketahanan dan polaritasnya. Sifat sebagai penjerap yang disebut juga sifat adsorptif adalah karena adanya situs aktif pada permukaan. Kegunaan silika gel yang lazim adalah sebagai penjerap uap air pada penyimpanan bahan – bahan yang bersifat higroskopis, atau mudah menyerap uap air seperti berbagai produk makanan dan juga obat – obatan. Pada silika gel yang digunakan sebagai penjerap uap air biasanya ditambahkan senyawa kobalt

sebagai indikator untuk mengetahui kapasitas uap air yang terjebak (Sulastri, 2010).

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 mengahasilkan sulfur dan mengubah besi menjadi besi oksida, tetapi besi oksida tidak akan hilang kecuali dengan menambah silika *fluks* yang akan bereaksi dengan besi oksida dan membentuk *fayalite slag* yang tidak larut dalam fase sulfida. Dalam proses *converting* menggunakan *fluks* tidak hanya kualitas dari *fluks* yang digunakan yang berpengaruh tetapi ada juga pengaruh temperatur dan metode dalam menambahkan *fluks*. (Davenport, 2002)

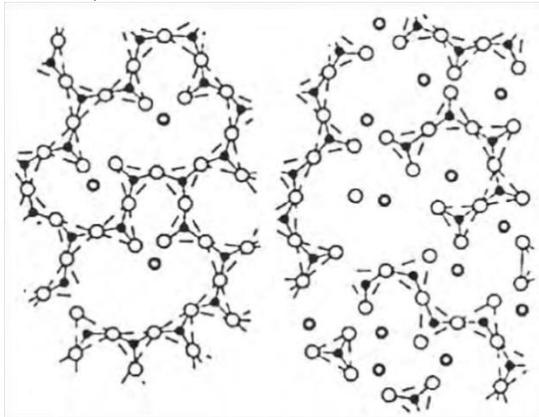
Dalam ekstraksi tembaga secara *pyrometallurgi*, biasanya silika berfungsi sebagai fluks. Tujuan ditamhkannya silika yaitu untuk mengikat slag dari proses ekstraksi tembaga sehingga memungkinkan untuk mendapatkan *recovery* tembaga yang tinggi. (Sanusi, 1984).

Silika, bersama dengan magnetit akan meningkatkan viskositas dari slag yang menyebabkan tembaga dalam slag akan meningkat walaupun silika umum digunakan sebagai fluks pada proses *converting*. Untuk beberapa alasan tersebut, para peneliti melakukan penelitian agen fluks lainnya seperti *colemenite* (CaF_2). Fluks ini telah dibuktikan akan meningkatkan fluiditas dan menurunkan titik leleh slag. (Aydin Rusen dkk, 2011)

2.5 *Slag*

Slag adalah larutan dari lelehan oksida. Fasa oksida tersebut memiliki FeO dari oksidasi Fe , SiO_2 dari fluks, dan oksida pengotor dari batuan mineral. Oksida yang sering dijumpai pada lag yaitu FeO , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 . 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 2.3.

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. Dengan menambahkan oksida basa seperti calcia (CaO) dan magnesia (MgO) pada slag asam akan memecah rantai poli-ion menjadi unit struktur yang lebih kecil. Hasilnya slag basa akan memiliki viskositas yang lebih rendah. (Davenport, 2002)



Gambar 2.4 Ikatan Fe – Si – O (Davenport,2002)

Hal utama dalam pembentukan *slag* dalam proses *converting* adalah untuk mengikat solid FeO dan Fe_3O_4 dan dihindari dari *matte* dengan cara membentuk *slag* cair, untuk menghasilkan hal tersebut maka diperlukan *fluks* SiO_2 dalam *fluks*. Indikator dari komposisi slag adalah:

$$\text{Mass\% } SiO_2 \text{ in } slag : \text{Mass\% Fe in } slag \dots\dots\dots(2.13)$$

SiO_2 ditambahkan dengan fluks untuk menjadikan rasio dari SiO_2/Fe adalah ~ 0.5 . level dari Fe_3O_4 yang diterima adalah 12 – 13%. *Fluks* 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 *fluks* juga diperhatikan, ukuran dari fluks adalah 1–5cm untuk diameternya dan apabila bebentuk serbuk atau pasir umumnya berdiameter 0.1cm. (Davenport, 2002).

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

1. Temperatur operasi yang tinggi
2. Ukuran dari fluks yang digunakan
3. Menggunakan Fluks yang reaktif

2.6 Termodinamika dalam *Converting*

Termodinamika telah digunakan dalam banyak penelitian salah satunya adalah *Copper Smelting* dan *Lead Smealting* , dalam hal ini telah terbukti sangat sukses (Peng Fu Tan dan Dieter, 2001). Pada Termodinamika terdapat *Diagram* Ellingham yang berisi plot dari gibbs standar *free energy* pembentukan kelompok senyawa terhadap temperatur. Pada Gambar 2.4, oksida yang paling tidak stabil berada dibagian atas diagram dan paling stabil adalah hahaha bagian bawah. Semua garis bisa dilihat dengan persamaan $A + O_2 = AO_2$ dimana satu mol gas oksigen terlibat, untuk menunjukkan tekanan oksigen dalam keadaan setimbang. Diagram tersebut dibentuk dari plot ΔG° (perubahan energy bebas gibbs) terhadap temperature (T). Dengan persamaan :

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \dots\dots\dots(2.15)$$

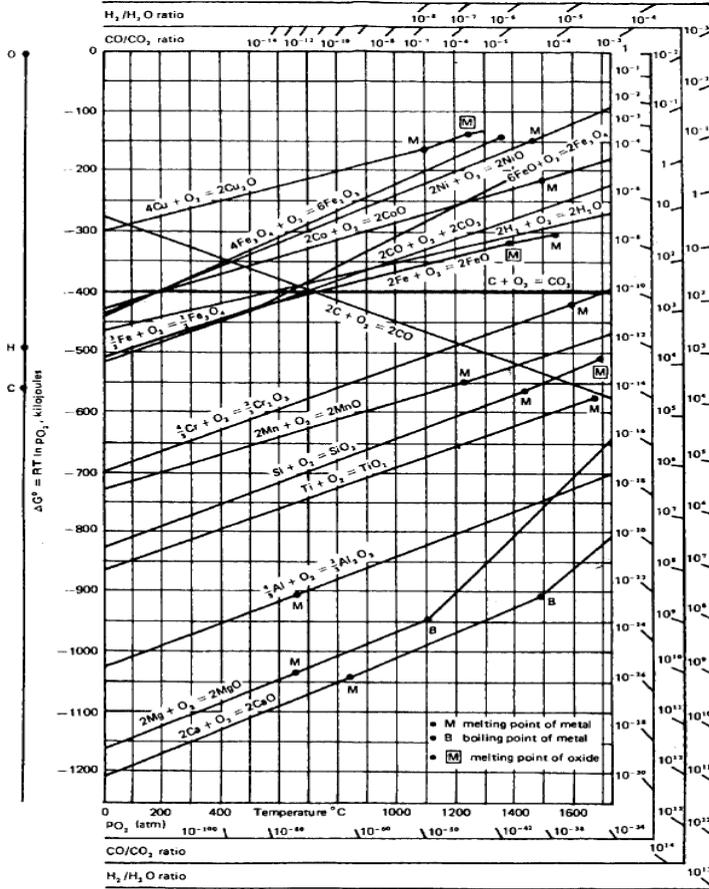
Dimana ΔG° adalah Standar Gibss energy, ΔH° adalah enthalpi, ΔS° adalah standar perubahan entropi, K adalah konstanta equilibrium, dan n adalah nomor electron. ΔG° dengan nilai negatif menunjukkan bahwa suatu reaksi terjadi secara spontan tanpa energi luar dan melepaskan energi atau eksotermik, serta makin stabil dalam membentuk oksida atau mudah

dioksidasi sementara reaksi dengan ΔG° positif menunjukkan reaksi tak akan terjadi secara spontan dan membutuhkan energi luar atau endotermik, serta makin tak stabil dalam bentuk oksida atau mudah direduksi (Jeffes,2001). Dari diagram Ellingham dapat diketahui temperatur minimal untuk terjadinya suatu reaksi. Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperature tertentu berdasarkan energi bebas Gibbs yang dimiliki, namun tidak dengan laju reaksi yang dimiliki. Secara umum diagram Ellingham memiliki 4 kegunaan:

1. Untuk menentukan tingkat kemudahan reduksi logam oksida menjadi logam
2. Untuk menentukan tekanan parsial oksigen pada temperature tertentu agar logam oksida dapat tereduksi
3. Untuk menentukan rasio karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) pada temperature tertentu agar logam oksida dapat tereduksi
4. Untuk menentukan rasio hydrogen (H) dan karbon dioksida pada temperature tertentu agar logam oksida dapat tereduksi (Stratton, 2013)

Pada diagram Ellingham ini ditambahkan dengan skala nomografik dari PO₂, PCO/CO₂, dan PH₂O/PH₂. Hal tersebut dapat memfasilitasi penentuan PO₂ (eq,T), PCO/PCO₂ (eq,T), dan PH₂O/PH₂ (eq,T) pada kesetimbangan $2M+O_2 \rightarrow 2MO$, $M + CO_2 \rightarrow MO + CO$ dan $M + H_2 \rightarrow MO + H_2$ (Gaskell, 1973). Berikut ini adalah contoh reaksi oksidasi yang terjadi pada converting matte menggunakan CaCO₃.

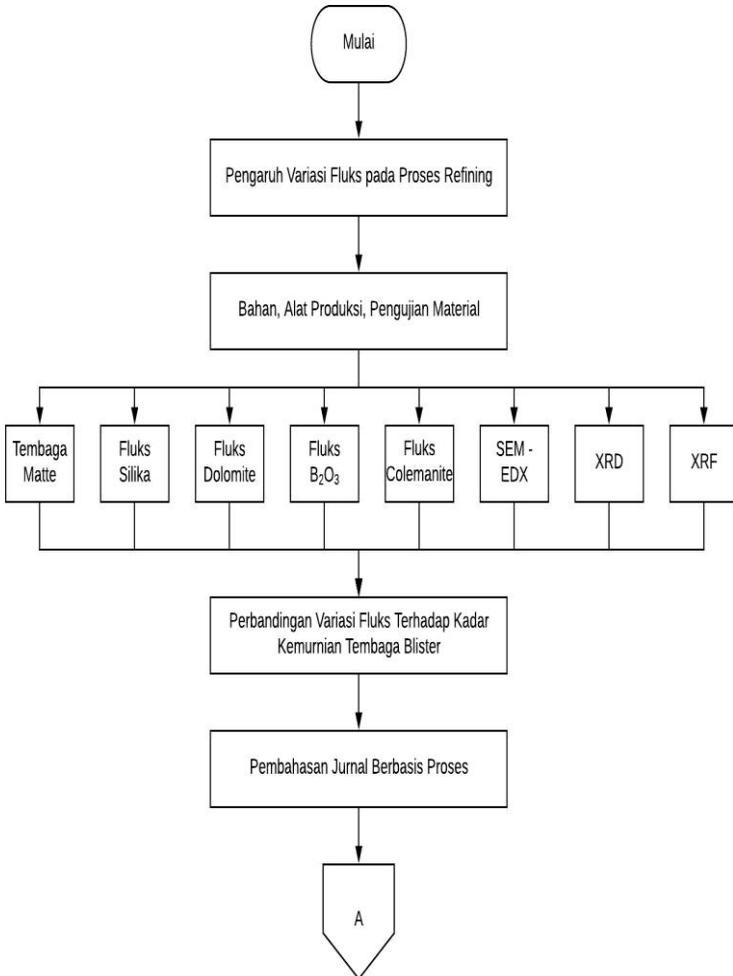


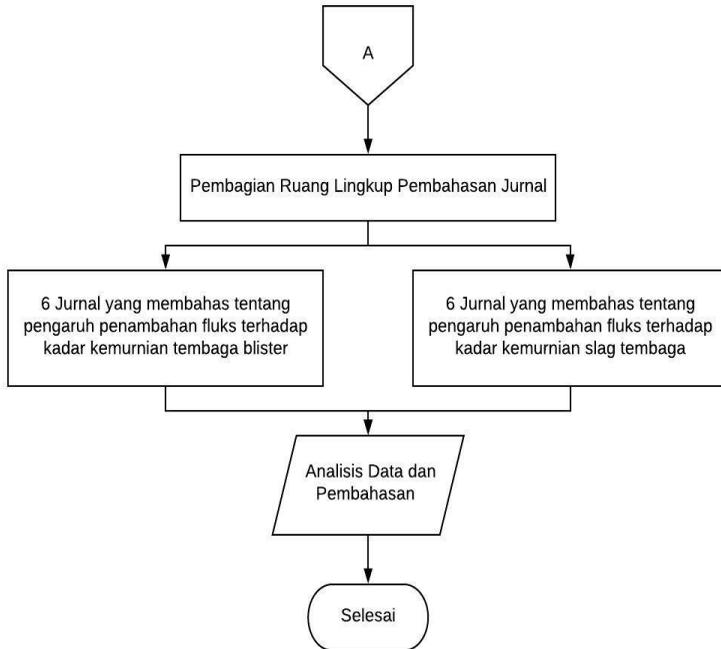


Gambar 2.5 Diagram Ellingham (Jeffes, 2001)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat *review* beberapa penelitian mengenai pengaruh variasi fluks terhadap pemurnian tembaga. Penelitian yang digunakan harus memuat mengenai kadar tembaga dan seputar fluks yang biasa digunakan dalam pemurnian tembaga. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari penelitian yang sudah ada. Menggunakan setidaknya 5 jurnal dengan tahun terbit maksimal 10 tahun ke belakang.

Dari data sekunder kemudian dianalisa pengaruh penggunaan fluks berupa dolomite, silika, colemanite, dan boron untuk memperoleh manfaat dari beberapa variasi fluks yang ada. Dari hasil analisa didapatkan kesimpulan berupa kadar tembaga dan pembentukan slag yang terjadi, dimana dari hal tersebut kita

dapat mengetahui fluks mana yang lebih efektif untuk dipakai dan kegunaan dari fluks tersebut pada proses pemurnian ini. Kemudian dilanjutkan dengan kritik dan saran akan diberikan pada penelitain yang digunakan berupa opini berdasarkan teori dari refrensi buku atau penelitian lainnya. Tabel 3.2 menunjukkan refrensi penelitian yang digunakan pada review kali ini

Tabel 3.1 Metode Penelitian pada *Paper Review*

Refrensi	Material Fluks	Blister			Slag		
		SEM	XRD	XRF	SEM	XRD	XRF
(Girindra dan Sungging, 2014)	Dolomite	-	√	√	-	√	√
(Yu Shi, dkk, 2019)	B ₂ O ₃	-	-	-	√	√	-
(Mehmet Ali dkk, 2019)	Colemanite	-	-	-	√	√	√
(Wang Hong, dkk, 2010)	B ₂ O ₃	-	-	-	-	√	-
(Sahl Balbeid, 2014)	Silika	-	√	√	-	√	√
(Aydin Rusen, dkk, 2016)	CaO	√	-	√	√	-	√
	B ₂ O ₃						
	Colemanite						

Tabel 3.2 Referensi Penelitian

Tahun	Nama Jurnal	Judul	Penulis
2014	Jurnal Teknik POMITS	Pengaruh Penambahan Flux Dolomite pada Proses Converting pada Tembaga Matte menjadi Blister	Girindra Abhilasa dan Sungging Pintowantoro

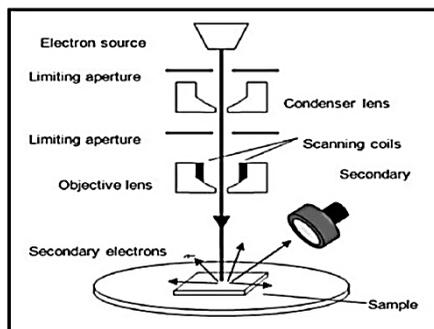
2019	Journal of Alloys and Compound	<i>Effect of B₂O₃ content on the viscosity of copper slag</i>	Yu Shi, dkk
2019	Journal of Materials Research and Technology	<i>Minimizing of copper losses to converter slag by a boron compound addition</i>	Mehmet Ali Topcu, Aydin Rusen dan Bora Derin
2010	Journal of Iron and Steel Research	<i>Effect of B₂O₃ on Melting Temperature of CaO- Based Ladle Refining Slag</i>	Wang Hong – ming, dkk
2014	Jurnal Teknik POMITS	Pengaruh Penambahan Silika pada Proses <i>Flux Converting</i> pada Tembaga Matte menjadi <i>Blister</i>	Sahl Balbeid
2016	The Journal of Minerals, Metals dan Materials Society	<i>Effects of Some Additives on Copper Losses to Matte Smelting Slag</i>	Aydin Rusen, dkk

3.3 Pengujian Material

Pengujian Material dilakukan terhadap semua bahan baku untuk mengetahui kandungan unsur. Beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut

3.3.1 SEM

Pada karakterisasi terhadap hasil refining tembaga sangat diperlukan alat karakterisasi yang mempunyai metode dapat mengidentifikasi suatu surface material agar dapat terlihat unsur yang terkandung apakah benar seperti keadaan surfacenya. SEM merupakan instrument mikroskop electron yang didesain untuk mengamati topografi dan morfologi permukaan material padat. SEM dapat dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* atau EDX yang digunakan untuk menganalisis elemen atau karakteristik kimia dari suatu sampel. Prinsip kerja dari alat ini adalah metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan X-Ray. Energi tiap-tiap photon X-Ray menunjukkan karakteristik masing-masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak-puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik energi (KeV) dengan counts.

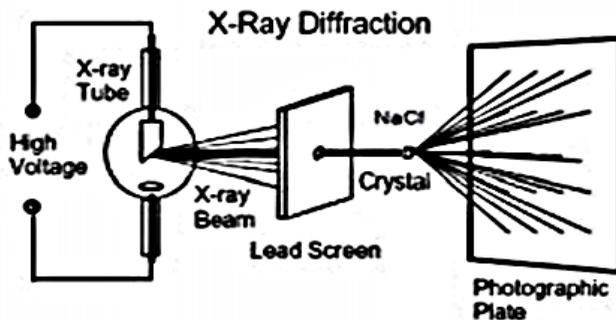


Gambar 3.2 Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM (Sujatno et al, 2015)

3.3.2 XRF

Untuk mengetahui komposisi dan kandungan dari hasil pemurnian maka dilakukan pengujian pada sampel menggunakan

XRF. XRF adalah alat yang menggunakan metode spektrometri. Dasar analisis XRF berupa pencacahan sinar X karena efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron target pada atom terkena sinar berenergi tinggi berupa radiasi sinar gamma. Energi yang lebih tinggi akan memaksa elektron keluar dari orbit. Hal tersebut menyebabkan kekosongan pada atom. Kekosongan tersebut akan diisi elektron dari kulit yang lebih luar. Pengisian ulang ini diikuti pelepasan (emisi) energi berupa sinar X. Emisi yang dikeluarkan memiliki karakteristik khusus kemudian ditangkap oleh detektor dan dirubah menjadi sinyal tegangan (voltage). Sinyal tersebut akan terbaca sebagai puncak-puncak intensitas yang spesifik dan menandakan unsur tertentu



Gambar 3.3 Prinsip Kerja *X-Ray Diffraction*
(Kaufman, 2004)

3.3.3 XRD

X-Ray Diffractometer adalah alat yang dapat memberikan data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut difraksi 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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Pada review ini menggunakan data sekunder dari penelitian yang sudah dilakukan, berikut ditampilkan data mengenai penambahan fluks yang terjadi pada tembaga dan slag yang terbentuk.

4.1.1 Data Hasil Penambahan Fluks Dolomite

Pada Penelitian yang dilakukan oleh Girindra Abhilasa (2014) menggunakan *fluks dolomite* sebagai variabelnya dengan membandingkan antara 3 rasio komposisi yaitu perbandingan antara variasi rasio CaO: Fe (jumlah penambahan kapur) yaitu sebesar 1:8 (34,33g), 1:5 (54,94g), 1:3(116,7g) dan tanpa penambahan kapur sebagai pembanding atau 1:10. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Uji XRF unsur Cu, Fe dan S (Girindra, 2014)

Nama	Rasio Cao:Fe	%Cu	%Fe	%S
Blistier 1	1:10	85,15	6,53	4,17
Blistier 2	1:8	92,23	0,13	3,82
Blistier 3	1:5	94,39	0,075	0,83
Blistier 4	1:3	97,37	0,83	3,94



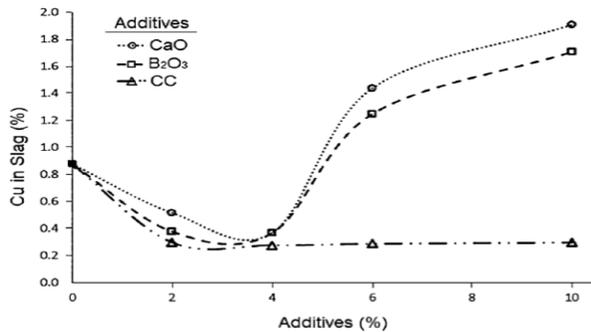
Gambar 4.1 Grafik Peningkatan Kadar %Cu (Girindra,2014)

Dari data pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa kadar Cu meningkat sesuai dengan penambahan kapur. Peningkatan kadar Cu dapat dicapai hingga 7,08 – 12,22% hal ini bergantung pada komposisi penambahan kapur. Dari data tersebut maka dapat didapatkan grafik peningkatan kadar Cu.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Aydin Rusen, dkk (2016) dengan penambahan fluks CaO, dengan tujuan penelitian untuk mengurangi kadar tembaga didalam slag yang terbentuk, Penelitian tersebut menggunakan variable 2, 4, 6, 10 wt% dari total berat yang dimasukkan kedalam furnace dan dipanaskan perlahan sampai 1250°C ditahan sampai 2 jam pemanasan. Setelah dilakukan percobaan maka dilakukan analisis slag dan matte sample, maka didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil uji penelitian (Aydin, 2016)

Slag analisis						Matte analisis		
No	Add (%)	Cu	SiO ₂	Fe Total	S	Cu	Fe	S
1	2	0.53	36.7	31.1	1	48.3	21.4	18.7
2	4	0.35	37.7	29.3	0.9	49.1	21.6	20.0
3	6	1.30	38.2	28.8	1.3	49.7	21.8	21.2
4	10	1.82	39.1	26.0	1.2	49.4	21.9	20.9



Gambar 4.2 Efek Penambahan *Additive* (CaO, B₂O₃, CC) (Aydin,2016)

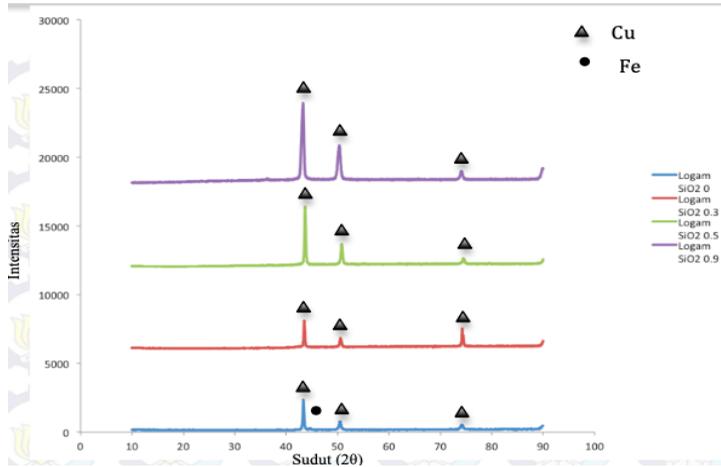
Berdasarkan grafik dan tabel diatas bahwa didapatkan, pemberian fluks dolomite akan optimum pada kadar 4%, apabila pemberian fluks tersebut ditambahkan diatas 4% maka yang akan terjadi adalah tidak ada efek signifikan kedalam kadar copper yang diteliti. Menurut penelitian tersebut kadar optimum yang diberikan untuk penambahan fluks dolomite adalah 4%.

4.1.2 Data Hasil Penambahan Fluks Silika

Penelitian yang dilakukan oleh Sahl Balbeid (2014) melakukan penelitian menggunakan Fluks Silika dengan komposisi yang digunakan yaitu sebesar 0; 0,3; 0,5; 0,9 dengan perbandingan rasio SiO₂: Fe (%). Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengujian XRD Blister Tembaga (Sahl, 2014)

No	Komposisi SiO ₂ : Fe	Nilai Copper	Rumus Kimia	Ketidaktepatan [°2Th.]	Faktor Skala
1	0	91	Cu	0.047	0.621
2	0,3	88	Cu	0.471	0.928
3	0,5	87	Cu	0.194	0.868
4	0,9	82	Cu	-0.116	0.986

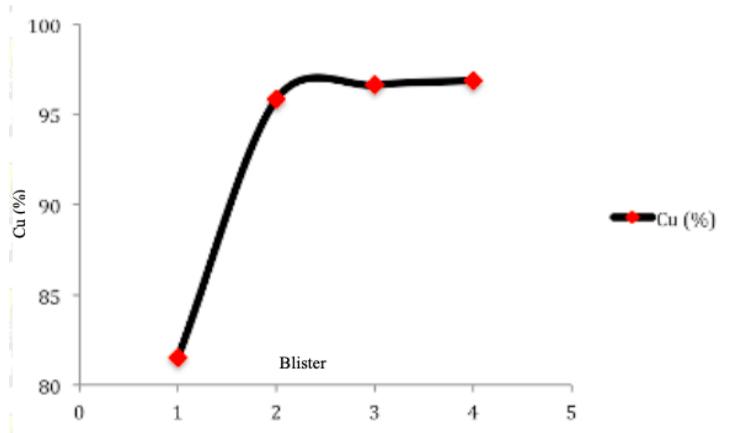


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil XRD

Pada Grafik tersebut dapat kita lihat bahwa terjadi perbedaan ketinggian intensitas fasa Cu setiap Blister Tembaga dan juga semakin meningkat. Hal ini dikarenakan adanya penambahan Fluks Silika yang dapat mengikat unsur Fe yang merupakan pengotor paling banyak dalam proses Converting tembaga pada umumnya, maka dari itu intensitas fasa tembaga semakin meningkat dengan adanya penambahan fluks silika.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian XRF Tembaga Blister (Sahl,2014)

Variabel	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



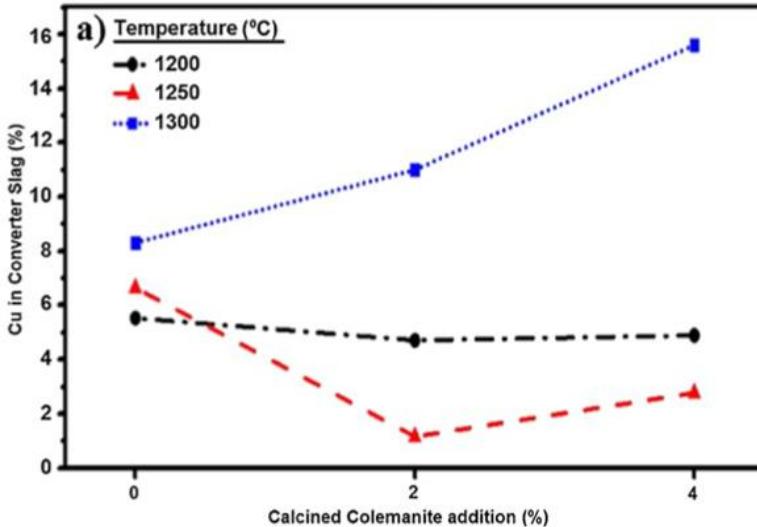
Gambar 4.4 Grafik Kadar Tembaga (Sahl,2014)

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa kadar tembaga semakin naik seiring dengan penambahan fluks silika yang diberikan semakin banyak. Kandungan tembaga yang paling tinggi yaitu pada variabel 0.9 yaitu dengan menggunakan fluks silika sebesar 87.8 gr mendapatkan kadar tembaga sebesar 96.88%, selanjutnya adalah variabel 0.5 dengan fluks silika sebesar 41.15gr dan mendapatkan kadar tembaga sebesar 96.63%, untuk variabel 0.3 dengan fluks silika sebesar 17.8gr mendapatkan kadar tembaga sebesar 95.82%, serta yang paling terakhir adalah variabel 0 atau tanpa menggunakan penambahan fluks silika mendapatkan kadar tembaga sebesar 81.51%

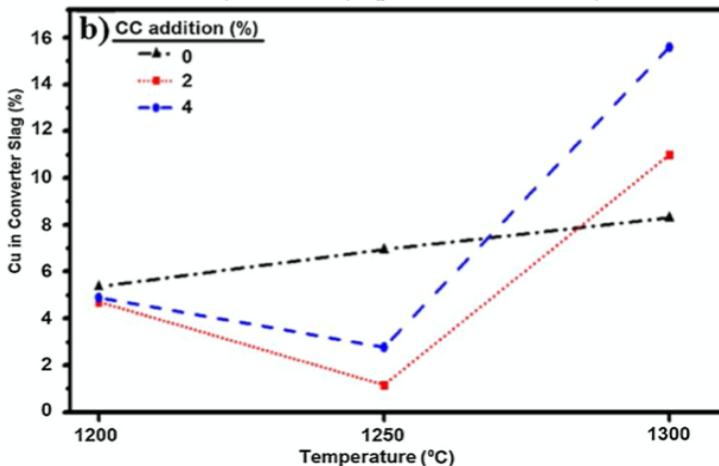
4.1.3 Data Hasil Penambahan Fluks Colemanite

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mehmet Ali, dkk (2019) yang memiliki tujuan untuk mengurangi kehilangan tembaga pada Converter Slag dengan penambahan Fluks Colemanite. Penelitian ini menggunakan variabel suhu dan komposisi Colemanite yaitu 1200, 1250, 1300°C dan wt. 0%, 2%, 4%. Dalam penelitian ini waktu reaksi dipilih sebagai 3 jam. Setelah proses tersebut, sampel dilakukan analisis

menggunakan (ICP – MS, XRF, SEM dan XRD). Maka didapatkan data sebagai berikut:



Gambar 4.5 Grafik efek Penambahan Colemanite dalam kehilangan tembaga pada converter slag



Gambar 4.6 Temperatur terhadap Cu dalam Converter Slag

Chemical Composition of Converter Slag (wt.%)											
	Exp. Code	Temp. (°C)	C.C. (%)	Cu	SiO ₂	Fe	S	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Fe/ (Fe+SiO ₂)
with blister phase	AC-1	1200	0	5.4	27.4	36.7	0.15	0.82	2.80	–	0.57
	AC-2	1200	2	4.7	26.3	36.4	0.39	1.51	3.24	1.78	0.58
	AC-3	1200	4	4.9	27.7	34.7	0.38	2.18	3.40	2.49	0.56
	AC-4	1250	0	6.9	26.5	34.6	0.26	0.86	5.80	–	0.57
	AC-5	1250	2	1.2	26.0	38.3	0.41	1.56	4.81	1.57	0.60
	AC-6	1250	4	2.8	25.4	37.5	0.15	2.24	5.27	2.70	0.60
	AC-7	1300	0	8.3	26.8	33.1	0.06	0.83	6.84	–	0.55
	AC-8	1300	2	11.0	24.8	31.1	0.02	1.37	7.08	1.12	0.56
	AC-9	1300	4	15.6	21.8	26.0	0.03	1.73	10.30	2.28	0.54
w/o blister phase	AC-10	1250	0	2.4	28.5	38.5	0.08	0.88	3.54	–	0.57
	AC-11	1250	2	2.48	29.6	37.1	0.07	1.67	3.86	1.29	0.56
	AC-12	1250	4	2.25	26.9	37.3	0.08	2.23	5.08	1.63	0.58

Gambar 4.7 Data Hasil Penelitian Penambahan Fluks Colemanite (Mehmet Ali,dkk, 2019)

Berdasarkan hasil diatas dapat dilihat bahwa penambahan fluks colemanite semakin banyak maka kemungkinan tembaga didalam slag juga akan berkurang, hal ini dapat dilihat pada percobaan temperatur 1200 dan juga 1250 yang menunjukkan bahwa semakin besar Fluks yang diberikan maka Kadar Cu didalam Slag akan semakin berkurang, namun hal ini berbeda pada saat temperatur 1300 dengan penambahan fluks colemanite fasa blister tidak terjadi karena terdispersi ke dalam slag sebagai partikel tembaga berdiameter kecil dengan kenaikan suhu. Maka dari itu suhu harus dibatasi hingga 1250°C apabila menggunakan Fluks Colemanite.

Penelitian lain juga dilakukan oleh Aydin Rusen,dkk (2016) dengan tujuan penelitian untuk mengurangi kadar tembaga didalam slag yang terbentuk, Penelitian tersebut menggunakan variable 2, 4, 6, 10 wt% dari total berat yang dimasukkan kedalam furnace dan dipanaskan perlahan sampai 1250°C ditahan sampai 2 jam pemanasan. Setelah dilakukan percobaan maka dilakukan analisis slag dan matte sample, maka didapatkan data sebagai berikut.

Exp. code	Additive	Slag analyses						Matte analyses		
		Add. (%)	Cu	SiO ₂	Fe ^a _{Total}	S	B ₂ O ₃	Cu	Fe	S
C-1	CaO	2	0.53	36.7	31.1	1.0	-	48.3	21.4	18.7
C-2	CaO	4	0.35	37.7	29.3	0.9	-	49.1	21.6	20.0
C-3	CaO	6	1.30	38.2	28.8	1.3	-	49.7	21.8	21.2
C-4	CaO	10	1.82	39.1	26.0	1.2	-	49.4	21.9	20.9
C-5	B ₂ O ₃	2	0.40	36.5	36.1	1.1	2.90	49.1	20.7	19.7
C-6	B ₂ O ₃	4	0.36	37.1	35.4	1.1	5.89	49.2	20.3	20.2
C-7	B ₂ O ₃	6	1.20	37.8	34.7	1.3	8.11	49.7	20.5	21.5
C-8	B ₂ O ₃	10	1.78	37.7	34.9	1.0	12.51	50.9	20.2	20.6
C-9	CC	2	0.30	38.4	32.3	0.8	1.56	49.1	20.9	20.3
C-10	CC	4	0.28	37.1	32.0	1.1	3.02	49.5	21.4	19.5
C-11	CC	6	0.29	37.4	30.8	1.0	4.41	49.6	20.7	20.8
C-12	CC	10	0.30	37.1	31.3	0.9	6.38	48.6	20.8	21.0

Gambar 4.8 *Chemical Analysis* penambahan Colemanite, Cao dan B₂O₃ dalam Converter Copper

4.1.4 Data Hasil Penambahan Fluks B₂O₃

Pada penelitian yang dilakukan oleh Aydin Rusen, dkk (2016) menggunakan fluks B₂O₃, CaO dan juga colemanite dengan tujuan untuk meminimalisir kehilangan tembaga pada slag dan membandingkan terhadap tiga fluks tersebut. Penelitian tersebut menggunakan variable 2, 4, 6, 10 wt% dari total berat yang dimasukkan kedalam furnace dan dipanaskan perlahan sampai 1250°C ditahan sampai 2 jam pemanasan. Setelah dilakukan percobaan maka dilakukan analisis slag dan matte sample, maka didapatkan data seperti pada gambar 4.8 yang menunjukkan bahwa pemberian fluks B₂O₃ dalam range 2 – 4 % masih dapat untuk mencegah kehilangan tembaga, namun pada range 4% keatas kehilangan tembaga kedalam slag meningkat tajam.

4.2 Pembahasan

Pembahasan data sekunder meliputi pengaruh variasi fluks terhadap refining tembaga dan slag. Pada review ini penelitian mengenai variasi fluks terhadap refining menggunakan beberapa macam fluks yaitu dolomite atau batu kapur, silika, B₂O₃ dan Colemanite atau biasa disebut dengan CC. Parameter yang

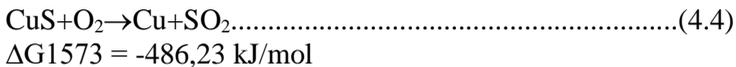
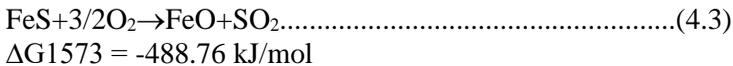
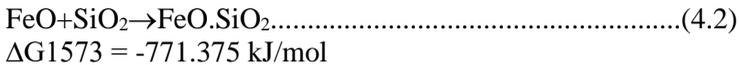
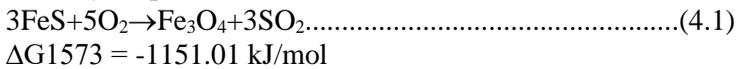
mempengaruhi dalam variasi fluks terhadap refining adalah kadar unsur, produk, dan metode. Oleh karena terdapat perbedaan metode dan bahan pada beberapa paper, menyebabkan terjadinya perbedaan raw material dan unsur sehingga menyebabkan kurang maksimum dalam memperoleh efektivitas fluks yang baik. Metode dalam melakukan pemurnian bijih tembaga menjadi tembaga blister ada beberapa tahap yaitu crushing, flotation, smelting, fire refining dan yang terakhir adalah electro refining untuk memperoleh tembaga dengan kemurnian 99.9% (Rosenqvist, 2004). Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu berpacu pada metode converting. Pada proses *Converting*, mempunyai banyak aspek yang ditinjau untuk dapat meningkatkan kadar tembaga yaitu seperti waktu pemanasan dan holding, jumlah udara yang digunakan dan fluks yang digunakan untuk mengoptimalkan matte dengan slag (Fathi Habashi, 1998). Maka dari itu, pembahasan data sekunder ini meliputi pengaruh dari beberapa fluks yang ada seperti analisis data pada diatas dilampirkan.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sahl Balbeid (2014) menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan fluks silika akan menyebabkan terjadinya peningkatan kadar unsur tembaga blister serta meningkatnya perbedaan ketinggian intensitas fasa Cu seperti pada gambar 4.3. Hal ini dikarenakan adanya penambahan fluks silika yang dapat mengikat Fe yang merupakan pengotor utama dalam proses converting tembaga pada umumnya. Fluks silika sendiri dapat mengikat slag yaitu Fe yang teroksidasi menjadi FeO sehingga membentuk slag yang mempunyai fasa Fe_2SiO_4 , selain hal itu penambahan fluks silika dapat juga membentuk fasa Fe_3O_4 hal ini dikarenakan pengontrolan udara bebas yang masih tergolong minim sehingga ada penambahan oksigen yang terbentuk dan mengikat Fe. Hal ini tentunya dapat menyebabkan efek kerusakan pada curicble yang digunakan. Penambahan fluks silika yang terakhir juga dapat mengakibatkan terbentuknya fasa Cu yang merupakan komposisi fasa paling banyak ini dikarenakan silika apabila ditambahkan

saat proses converting akan menaikkan viskositas dari slag itu sendiri. Apabila viskositas dari slag semakin tinggi itu menandakan semakin banyak jumlah Fe_3O_4 yang terbentuk (Davenport, 2012)

Penambahan Fluks silika memiliki beberapa tahapan reaksi hingga terbentuk Cu murni dan Slag $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$

1. Pemisahan ikatan FeS karena O_2 menjadi FeO dan SO_2
2. Pemisahan CuS oleh O_2 menjadi Cu dan SO_2
3. Pengikatan FeO oleh SiO_2 menjadi $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$. urutan rekasinya seperti berikut:



Pemisahan ikatan FeS menjadi FeO dan SO_2 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 SO_2 . Selanjutnya adalah pembentukan *magnetite* (Fe_3O_4), pembentukan magnetite ini mempunyai energi bebas gibbs yang rendah pula, maka dari itu terbentuklah fasa Fe_3O_4 pada *slag*. Setelah proses tersebut terbentuklah Cu murni dengan melepas ikatan Cu-S karena adanya O_2 . Dan raksi terakhir yang terjadi adalah pengikatan Fe oleh silika menjadi slag yang mengapung. (Rajneet khaur,2007)

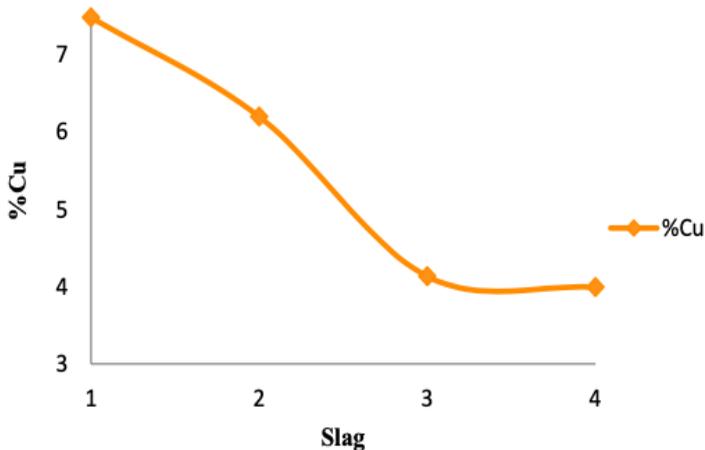
Penelitian selanjutnya yaitu terkait penambahan fluks dolomite yang telah dilakukan oleh Girindra Abhilasa (2014) dan Aydin Rusen, dkk (2016). Pada penelitian yang dilakukan oleh girindra menunjukkan bahwa menunjukkan peningkatan kadar %Cu yang terjadi seiring dengan jumlah penambahan fluks dolomit yang diberikan. Hal ini dapat terjadi karena pada penambahan kapur terjadi proses desulfurisasi dan pengikatan *slag*. Proses desulfurisasi terjadi dikarenakan oleh senyawa CaO yang bereaksi dengan CuS sehingga menjadi CuO dan CaS. CaO didapatkan dari dekomposisi dolomite. Penurunan viskositas slag dapat mengakibatkan difusi sulfur yang baik (Babich, 2008). Pada penambahan kapur, CaO akan menurunkan viskositas dari slag, sehingga sulfur dalam matte akan berdifusi menuju slag. Lalu CuO dapat bereaksi dengan CuS yang masih terdapat pada matte, reaksi ini membentuk Cu. Selain penambahan peniupan oksigen juga dilakukan sehingga Sulfur pada CuS teroksidasi oleh O₂ sehingga membentuk logam murni Cu dan gas SO₂. Reaksi ini dapat terjadi dan dapat dibuktikan oleh nilai energi bebas Gibbs masing-masing reaksi.



Energi Gibbs pada masing-masing reaksi bernilai negatif. Hal ini menandakan reaksi pembentukan Cu bersifat spontan. Nilai energi bebas Gibbs akan lebih mudah terjadi jika nilai energinya semakin negatif. Energi bebas Gibbs berguna untuk mengukur suatu reaksi akan terjadi spontan atau tidak. Nilai negatif ΔG_o mengindikasikan reaksi akan terjadi spontan, sedangkan nilai positif mengindikasikan reaksi tidak akan terjadi. (Gaskell, 1973)

Pada penelitian tersebut juga menunjukkan hasil bahwa kadar Fe dan S dalam tembaga blister mengalami penurunan

kadar. Hal ini terjadi karena CaO yang bereaksi dengan CuS lebih banyak dibandingkan dengan FeS sehingga sulfur pada FeS teroksidasi oleh oksigen. Hal ini dapat dibuktikan dengan perbandingan nilai energi bebas Gibbs pada reaksi desulfurisasi



Gambar 4.9 Grafik penurunan kadar %Cu pada Slag

Pada penelitian yang dilakukan oleh girindra terdapat penurunan kadar Cu pada slag sesuai dengan kenaikan jumlah penambahan kapur sesuai pada Gambar 4.8. Hal ini diakibatkan oleh jumlah CaO yang telah bereaksi dengan CuS dengan reaksi desulfurisasi. Semakin banyak kapur yang ditambahkan, semakin banyak CaO yang bereaksi dengan CuS hingga membentuk CuO, dan CuO akan bereaksi kembali dengan CuS sehingga membentuk logam Cu dan sisa gas SO₂. Reaksi ini dapat terjadi karena energi bebas Gibbs yang bernilai negatif yang ditunjukkan pada persamaan reaksi CuO dengan CuS (4.8). Davenport dalam bukunya *Extractive Metallurgy of Copper* mengatakan tembaga

dalam slag dapat diturunkan jumlahnya dengan beberapa cara, yaitu salah satunya menurunkan viskositas *slag*. Menurunkan viskositas *slag* yaitu salah satunya dengan cara menghindari keberadaan Fe_3O_4 pada *slag*. Magnetit bersama dengan silika akan meningkatkan viskositas dari *slag* yang menyebabkan tembaga dalam slag akan meningkat walaupun silika umum digunakan sebagai fluks pada proses *converting* (Aydin Rusen dkk, 2011). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Aydin rusen, dkk pada tahun 2016. Menunjukkan bahwa semakin bertambahnya CaO yang diberikan akan semakin mengurangi kadar tembaga dalam slag. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.7, beberapa jurnal menyebutkan bahwa penambahan CaO menurunkan kelarutan tembaga dalam slag karena dapat menggantikan tembaga oksida dalam terak yang terkait dengan silika. Selain itu, keberadaan CaO dalam *slag* menurunkan viskositasnya dengan memutus rantai silikat panjang yang kompleks, yang memungkinkan pengendapan yang mudah dan mendorong penurunan kehilangan tembaga menjadi slag (J.B See, dkk, 1982). Efek CaO pada ketegangan antarmuka antara matte dan terak menunjukkan perilaku non-linear dengan puncak pada 4% berat CaO. Setelah mencapai nilai maksimum, tegangan antarmuka antara matte tembaga dan terak berkurang secara bertahap dengan meningkatnya CaO (R. H. Eric, dkk, 2004 dan J. Li, 1989). Efek ini dijelaskan oleh Li et al, sebagai berikut; “Ini dapat ditafsirkan dengan interaksi yang lebih kuat antara S dalam matte dan $\text{Ca}_2 +$ dalam terak. Dengan meningkatnya konsentrasi $\text{Ca}_2 +$ dalam terak, jumlah transisi S dari *matte* ke *slag* meningkat”.

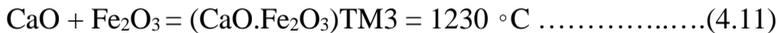
Silika, bersama dengan magnetit akan meningkatkan viskositas dari *slag* yang menyebabkan tembaga dalam *slag* akan meningkat walaupun silika umum digunakan sebagai fluks pada proses *converting*. Untuk beberapa alasan tersebut, para peneliti melakukan penelitian agen fluks lainnya seperti colemenite (CaF_2). Fluks ini telah dibuktikan akan meningkatkan fluiditas dan menurunkan titik leleh slag. (Aydin Rusen dkk, 2019). Hal ini

sesuai dengan penelitian selanjutnya yaitu penelitian dengan menggunakan Fluks Colemanite, yang dilakukan oleh Aydin, dkk (2016) dan juga oleh Mehmet Ali, dkk (2019).

Pada penelitian Mehmet Ali mendapatkan hasil data pada Gambar 4.4 hingga Gambar 4.7, menunjukkan bahwa semakin banyak pemberian fluks *Colemanite* pada temperatur 1200 sampai 1250 akan dapat terlihat bahwa kadar Cu didalam *Slag* akan semakin sedikit, namun hasil yang berbeda ditunjukkan pada penelitian temperature 1300, yang menunjukkan bahwa hasil yang terjadi kurang baik yaitu meningkatnya kadar Cu didalam *Slag* sendiri. Hal ini dikarenakan bahwa fase blister tidak terbentuk pada dasar wadah yang dilakukan pada 1300 ° C karena didispersikan ke dalam slag sekecil diameter partikel tembaga dengan peningkatan suhu. Oleh karena itu, dalam sistem seperti itu, suhu harus dibatasi hingga 1250°C di hadapan colemanite.

Kehadiran blister membentuk fase di mana tikar dan partikel tembaga logam dalam slag dapat diturunkan dan dikumpulkan di dalamnya. Dengan sejumlah kecil (2%) penambahan colemanit pada terak pada suhu yang wajar, fluiditas terak dapat ditingkatkan sehingga partikel yang mengandung tembaga sangat kecil dapat mencapai fase blister. Namun, dengan penambahan colemanite dan kenaikan suhu, slag memiliki struktur yang lebih mobile, yang mengarah pada peningkatan kehilangan tembaga karena distribusi tembaga dalam fase blister ke dalam slag.

Karena CC terdiri dari CaO dan B₂O₃, penambahannya ke slag konverter harus dipertimbangkan dalam dua aspek ini ketika menganalisis efek pada kehilangan tembaga. Yang pertama (CaO) efektif pada magnetit. Diketahui bahwa slag konverter mengandung sejumlah besar magnetit dan magnetit ini menyebabkan peningkatan viskositas terak serta kehilangan tembaga. Dengan menambahkan CC ke slag ini, magnetit yang ada di slag dapat dikombinasikan dengan CaO (dalam CC) untuk menghasilkan formasi baru seperti kalsium ferit yang memiliki suhu leleh yang lebih rendah (Davenport, 2002). Beberapa kemungkinan reaksi dengan titik leleh senyawa ini:



Menurut analisis kimia, lebih dari setengah colemanite terdiri dari B₂O₃ (51,7% dari CC). Oleh karena itu, setelah penambahan CC ke sistem, B₂O₃ juga menyebabkan efek signifikan pada struktur terak. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Aydin Rusen, dkk (2016), dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan CC lebih konstan atau lebih baik dari penambahan Fluks CaO dan B₂O₃. Hal ini diperkuat dengan Gambar 4.2, dari data penelitian tersebut juga dapat disimpulkan bahwa penggunaan Fluks Colemanite mempunyai efek ganda CaO dan B₂O₃. Karena CC termasuk CaO dan B₂O₃, itu lebih efektif daripada keduanya secara terpisah. Serta diketahui bahwa B₂O₃ memiliki efek menurunkan titik leleh, viskositas dan kepadatan terak (Timucin dkk, 1986 dan Ozmen dkk, 2006). Serta suhu liquidus terak akhir menurun secara signifikan dengan meningkatnya penambahan CC karena reaksi B₂O₃ dengan oksida lain dan membentuk eutektik dengan titik leleh rendah, yang menghasilkan penurunan lebur. suhu terak (Rusen A, 2012)

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Aydin Rusen, dkk (2016) dengan tujuan untuk mengurangi kadar tembaga dalam slag, yaitu menggunakan variabel penambahan Fluks B₂O₃. Data pada penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7, Pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa kandungan tembaga dalam terak meningkat dengan penambahan B₂O₃ meningkat juga. Namun pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan diatas 4% dapat meningkatkan tembaga di dalam slag, hal itu merupakan kebalikan dari teori dimana kemungkinan hal itu terjadi dikarenakan adanya partikel partikel lain disekitar crucible sehingga dapat mengikat fluks B₂O₃ itu sendiri. Karena menurut teori yang ada, Fluks B₂O₃ ini memiliki kegunaan mengurangi titik leleh yang terjadi. Dengan kata lain, B₂O₃ cenderung membentuk eutektik karena titik lelehnya yang sangat rendah, yang menghasilkan penurunan viskositas terak yang lebih

efektif. Mempertimbangkan suhu operasi peleburan tembaga yang di atas 1200°C , efek total dari perubahan struktur dan pembentukan eutektik menghasilkan penurunan viskositas terak cair (Aydin Rusen,dkk, 2016).

Namun beberapa jurnal juga menyebutkan bahwa penggunaan fluks yang berlebih atau penambahan fluks yang berlebih akan membuat kadar dari logam sedikit menurun, hal ini dikarenakan jika jumlah fluks yang ditambahkan terlalu banyak maka akan menyebabkan fasa cair yang dapat menurunkan area kontak antara ore dan fluks (Andika,2019).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil review dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan Fluks dapat meningkatkan secara signifikan kadar tembaga (Cu) pada proses converting. Pada penambahan fluks silika dan fluks dolomite didapatkan kadar Cu mencapai diatas 95%
2. Penambahan Fluks dapat mengurangi jumlah tembaga (Cu) didalam slag, karena dalam proses Converting. Slag yang dihasilkan masih mengandung logam tembaga sebesar 4-8%, dengan adanya penambahan fluks yang terjadi Tembaga yang terkandung didalam slag dapat ditekan hingga 1,2% pada slag.
3. Penggunaan Fluks Colemanite memiliki efisiensi lebih tinggi apabila dibandingkan dengan penggunaan fluks CaO dan B₂O₃ secara individu
4. Penambahan Fluks membentuk fasa Slag yang berbeda – beda, seperti fluks silika akan lebih cenderung mengarah kepada fasa fayalit atau Fe₂SiO₄ karena sifat silika sendiri yang mudah menarik Fe untuk berikatan. Lain halnya dengan Fluks Dolomite, Slag yang terbentuk pada penelitian ini adalah sistem slag kalsium. Di mana CaO akan mengikat magnetit pada slag sehingga membentuk slag calcium-ferrite.

5.2 Saran

Untuk review penelitian yang akan datang, terdapat beberapa saran yang dapat diperhatikan dan dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian Converting dengan penambahan fluks yang menggunakan raw material dan metode yang sama agar didapat hasil yang maksimum

2. Melakukan penelitian dengan menentukan jumlah fluks melalui presentase massas agar bisa ditentukan kondisi ideal agar fluks bisa berdampak secara maksimal
3. Perlu memberikan reaksi yang terjadi pada senyawa yang ada pada bijih dengan fluks sehingga dapat mengetahui fenomena dan senyawa apa yang terbentuk pada filtrat maupun residu.
4. Perlu dilakukan penelitian terkait slag lebih lanjut dikarenakan dapat mengurangi potensi pencemaran lingkungan

5.3 Kritik

Adapun kritik mengenai paper yang telah saya review adalah sebagai berikut:

1. Banyak dari paper tersebut tidak mencantumkan atau memberikan reaksi dari senyawa fluks dengan biji yang ada sehingga tidak diketahui senyawa apa saja yang memungkinkan terbentuk didalam slag maupun di dalam blister tersebut serta tidak dapat diketahui kenapa senyawa tersebut dapat terbentuk atau bereaksi. Karena hal tersebut dapat memberikan pengetahuan mengenai diagram fasa atau reaksi yang berada di diagram ternery.
2. Kurang detailnya informasi yang diberikan mengenai setiap parameter, hanya memberikan hasil sesuai dengan grafik atau data yang ada
3. Pada paper tidak dijelaskan berapa besar jumlah kadar Cu sebelumnya, sehingga menyulitkan terhadap Analisa perbandingan hasil yang didapatkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abhilasa, G. & Pintowantoro S. 2014. **Pengaruh Penambahan Flux Dolomite Pada Proses Converting Pada Tembaga Matte Menjadi Blister**. Surabaya: ITS
- Andika, R., W. Astuti, W. Syafriadi, dan F. Nurjaman. "Effect of flux Addition and Reductant Type in Smelting Process of Indonesian Limonite Ore in Electric Arc Furnace." **IOP Conference Series: Material Science Engineering** 478. Bristol: IOP Publisher, 2019. hal 1-7.
- Aydin Rusen, Geveci, A., Topkaya, Y. & Derin, B. 2016. "Effects of Some Additives on Copper Losses to Matte Smelting Slag". **Journal of Materials**. Vol 68, pp 2323 - 2331
- Babich, A., Senk, D., Gudenau, W.H., Mavrommatis, K.Th., (2008), **Iron Making Textbook, 1st edition**. Institut fur Eisenhüttenkunde der RWTH Aachen, Aachen.
- 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.
- Fathi, H. (1997). **Handbook of Extractive Metallurgy Volume 1**. Canada: Universite Laval, Departemen e Mines et e Metallurgie.
- Horath, L., (2001), **Fundamentals of materials Science for Technologist: Properties, Testing, and laboratory Exercises, 2nd Edition**. New Jersey, Prentice Hall.
- J. Gilbert Kaufman, E. L. 2004. "Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications". United States of America: **ASM International**
- J.B. See, L.L. Oden, P.E. Sanker, and E.A. Johnson, **Copper Losses and the Distribution of Impurity Elements between Matte and Silica-saturated Iron Silicate Slags**

- at **1250 °C**. Pittsburgh, PA: U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1982.
- J.H.E Jeffes. (2001). "Ellingham Diagram, Encyclopedia of Material". **Science and Technology (Second Edition)**, 2751-2753
- J. Li, K. Huang, and X. Chen, Acta Metal. Sin. B 2, 386. 1989.
- Kaur, Rajneet. 2007. **FCS Slag for Continuous Copper Converting**. Thesis Submitted in Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD), Rio Tinto.
- Kirboga S.O.M. 2013. "Effect of the Experimental Parameters on Calcium Carbonate Precipitation". **Chemical Engineering Transactions. AIDIC**, p. Vol 32.
- Kokal H.R, & M.R. (1994). **Fluxes for Metallurgy**. In Industrial Minerals and Rocks. 661-675.
- Mineral Data Publishing (2001-2005), Chalcopyrite, Version 1.
- Mehmet Ali, T., Rusen, A. & Derin, B. 2019. "Minimizing of copper losses to converter slag by a boron compound addition". **Journal of Materials Research and Technology**, pp. 1-9.
- Oates, J. 1998. **Lime and Limestone Chemistry and Technology Production and Uses**. Damstad, Wiley VCH.
- Özmen L, Inger E. "Colemanite in steel production". In: Sohn International Symposium; **Advanced Processing of Metals and Materials**.
- Pengfu Tan, & Dieter Neuschutz. 2001. **A Thermodynamic Model of Nickel Smelting and Direct High-Grade Nickel Matte Smelting Processes: Part I**. Model Development and Validation. Metallurgical dan Materials Transactions B R.H. Eric, J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 499 (2004).
- Rosenqvist, T .2004. **Principles of Extractive Metallurgy, 2nd edition**. Tapir Academic Press, Trondheim.
- Rüsen A, Geveci A, Topkaya YA, Derin B. "Investigation of effect of colemanite addition on copper losses in matte smelting slag". **Can Metall Q** 2012;51(2):157–69.

-
- Sahl Balbeid. 2014. **Pengaruh Penambahan Flux Silika Pada Preses Converting Pada Tembaga Matte Menjadi Blister**. Surabaya: ITS
- Siti Sulastrri, & Susila Kristianingrum. 2010. "Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan". **Jurusan Pendidikan Kimia**, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Stratton, P. 2013. **Ellingham Diagrams – Their Use and Misuse**. **International Heat Treatment and Surface Engineering** 31, 112-114.
- Suherman, I .2016. "ANALISIS TEKNOEKONOMI PENGEMBANGAN MINERAL TEMBAGA DI INDONESIA". **Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara** Volume 12
- Sujatno, Agus. Rohmad Salam, Bandriyana. dan Arbi Dimiyati. 2015. **Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium**. Banten: Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, PSTBM-BATAN.
- Timucin M, Sevinc N, Topkaya YA, Eric H. "Use of colemanite in the production of iron and steel". In: Report 84–04–07–00–13. Ankara, Turkey: METU; 1986.
- Tresnadi, Hidir. 2014. "PERTAMBANGAN SUMBERDAYA MINERAL DAN BATUBARA SEBAGAI PENGGERAK PEREKONOMIAN DAERAH DI KABUPATEN TANAH LAUT". In: **Seminar Nasional UT 2014**, 23 Oktober 2014, Universitas Terbuka Convention Center (UTCC).
- Wang Hong, Gui-rong, L., Li, B., Xue-jun, Z., Yong-qi, Y. 2010. "Effect of B₂O₃ on Melting Temperature of CaO-Based Ladle Refining Slag". **Journal of Iron and Steel Research International**, pp 18-22.
- Yu Shi, Wei, Y., Zhou, S., Li, B., Yang, Y. & Wang, H. "Effect of B₂O₃ content on the viscosity of copper slag". **Journal of Alloys and Compounds**, Vol: 822 pp 1-7.
-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

A. Jurnal yang direview

Adapun jurnal yang dijadikan sebagai sumber dari data sekunder yang digunakan didalam review adalah sebagai berikut:

1. Jurnal Pertama (Girindra dan Sungging, 2014)

JURNAL TEKNIK POMITS Vol. x, No. x, (2014) ISSN: XXXX-XXXX (XXXX-XXXX Print)

1

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

Girindra Abhilas dan Sungging Pintawantoro S.T., M.T., Ph.D.
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Kampus ITS, Keputih, Surabaya 60111
E-mail: sungging30@gmail.com

Abstrak — Penelitian ini merupakan proses pemurnian lanjut tembaga matte dari smelting blast furnace pada metode pirometalurgi. Converting pada penelitian ini merupakan proses oksidasi tembaga matte dan logam tembaga yang masih memiliki pengotor dengan peniupan oksigen dan penambahan flux. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan flux dolomite terhadap kemurnian tembaga blister dan slagnya. Penambahan flux dilakukan dengan variasi rasio $CaO:Fe$ (jumlah penambahan kapur) yaitu sebesar 1:8 (34,33g), 1:5 (54,94g), 1:3 (116,7g), dan tanpa penambahan kapur sebagai pembanding. Proses converting dilakukan dengan debit udara 9 liter/menit selama 10 menit. Produk tembaga blister dan slag diuji XRF dan XRD untuk mengetahui kadar komposisi Cu, Fe, S dan senyawa yang terbentuk. Hasil dari penelitian didapatkan kadar Cu yang paling baik adalah dengan penambahan kapur hingga memiliki rasio 1:3. Kadar Cu pada slag memiliki komposisi paling rendah dengan rasio 1:3.

Kata kunci : converting, flux dolomite, tembaga matte, tembaga blister

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang besar. Salah satu contohnya adalah kandungan bijih yang terdapat di Indonesia seperti besi, tembaga, emas, nikel, timah, batu bara dan sebagainya. Potensi ini merupakan keuntungan Indonesia di bidang teknologi maupun ekonomi baik secara langsung maupun tidak langsung. Bijih-bijih tersebut dapat diolah sehingga mempunyai nilai daya jual yang lebih tinggi dibandingkan bijih yang belum diolah.

Menurut data USGS (United State Geological Survey) pada *Mineral Year Book Indonesia 2013*, Indonesia merupakan penghasil tembaga terbesar di dunia. Indonesia menghasilkan 542.700 metrik ton (tanpa proses smelting). Data ini menempatkan Indonesia pada urutan ke enam produksi tembaga di dunia. Tetapi menurut data USGS pada *Mineral Year Book Indonesia 2013* [1], produksi tembaga setelah proses smelting di Indonesia menghasilkan 276.200 metrik ton. Hal ini menandakan Indonesia kurang dalam hal pengolahan mineral tembaga ke tahap lebih lanjut. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan pemerintah pada perundangan-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 dan batu bara ekspor raw material akan dilarang pada tahun 2014.

Dengan fakta di atas, Indonesia membutuhkan teknologi pengolahan mineral tembaga yang mampu mengolah mineral

tembaga nasional. Teknologi pada pengolahan tembaga juga melalui beberapa tahap yaitu *roasting*, *smelting*, *converting* dan *refining*. Setiap proses ini banyak aspek yang ditinjau untuk mencapai hasil yang optimal pada produksi tembaga murni baik secara kualitas maupun kuantitas. Pada proses *converting* yang bertujuan untuk mendapatkan tembaga (blister) dengan kemurnian yang lebih tinggi. Proses ini dengan memanaskan tembaga matte dan mengalirkan udara atau oksigen sehingga terjadi proses oksidasi. Hasil akhir dari proses *converting* ini adalah tembaga blister.

Pada proses *converting*, banyak aspek yang ditinjau seperti waktu pemanasan dan holding, jumlah udara yang digunakan, maupun flux yang digunakan untuk mengoptimalkan pemisahan matte dengan slag. Flux yang umum digunakan pada proses *converting* yaitu silika dan batu kapur. Batu kapur mengandung unsur kalsium yang merupakan unsur yang reaktif terhadap sulfida. Pada proses *converting* dibutuhkan proses desulfurisasi pada matte dan oksidasi untuk memisahkan pengotor menjadi slag. Di Indonesia juga merupakan salah satu penghasil tambang batu kapur yang besar sehingga pemanfaatan batu kapur merupakan hal yang memungkinkan untuk dilakukan pada proses *converting*. Berdasarkan hal itu, maka disusunlah tugas akhir dengan judul "Pengaruh Penambahan flux dolomite pada Proses Converting pada Tembaga Matte menjadi Blister".

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini proses *converting* menggunakan tembaga matte hasil *smelting blast furnace* dan logam tembaga yang masih memiliki unsur banyak unsur pengotor. Tembaga matte yang digunakan memiliki komposisi presentase Cu, Fe dan S masing-masing sebesar 41,01%; 10,39%; dan 9,89%. Sedangkan pada logam tembaga memiliki komposisi Cu, Fe, dan S masing-masing sebesar 73,65%; 12,37%; dan 5,16%. Pada percobaan ini unsur Ca juga ditinjau. Unsur Ca terdapat pada tembaga matte yaitu sebesar 1,6%. Pada penelitian ini, menggunakan 1000 gram bahan dengan 483,1 gram tembaga matte dan 516,9 gram logam tembaga. Proses *converting* dilakukan dengan *Muffle Furnace*. Proses dilakukan dengan pemanasan bahan hingga menjadi lelehan pada temperatur 1250°C, lalu penambahan flux dolomite sesuai dengan variasi yang ditentukan dan penginjeksian oksigen sebanyak 9,22 liter/menit selama 10 menit. Variasi penambahan kapur yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebesar 34,33 gram, 54,96 gram, 116,7 gram dan tanpa penambahan kapur dilakukan pada penelitian ini sebagai pembanding. Penelitian ini melihat pengaruh penambahan kapur pada kadar kemurnian Cu dan pembentukan slag.

2. Jurna Kedua (Sahl Balbeid, 2014)

PENGARUH PENAMBAHAN FLUX SILIKA PADA PROSES
CONVERTING PADA TEBAGA 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*.

3. Jurnal Ketiga (Yu Shi, dkk, 2019)

Journal of Alloys and Compounds 822 (2020) 153478



Effect of B_2O_3 content on the viscosity of copper slag

Yu Shi ^{a,b}, Yonggang Wei ^{a,b,*}, Shiwei Zhou ^{a,b}, Bo Li ^{a,b}, Yindong Yang ^c, Hua Wang ^a

^a State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093, China
^b Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093, China
^c Department of Materials Science and Engineering, University of Toronto, Toronto, M5S3E4, Canada

ARTICLE INFO

Article history:
Received 12 June 2019
Received in revised form
18 December 2019
Accepted 19 December 2019
Available online 23 December 2019

Keywords:
Copper slag
 B_2O_3
Viscosity
FTIR
Microstructure
FactSage

ABSTRACT

Suitable additives can improve the viscosity characteristics of copper slag, thereby improving slag–copper separation. In this study, the effects of B_2O_3 on the performance of copper slag were studied. The results showed that when the content of B_2O_3 addition was increased from 0 to 4%, the viscosity of the copper slag decreased, and the activation energy of viscous flows decreased. B_2O_3 could act as a network modifier to simplify the Si–O–Si tetrahedral structure, as verified by an FTIR analysis. In addition, the microstructure of fayalite in the copper slag changed from dendritic to granular with the increase in B_2O_3 content. B_2O_3 could form low-melting-point eutectics with high-melting-point components in the slag, which effectively reduced the liquidus temperature and viscosity of slag.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Approximately 80% of the world's primary copper are produced from low-grade or inferior sulphide ores, which are usually treated by high-temperature metallurgy [1]. Two incompatible melting phases occur in the smelting of sulphide ores: a heavier sulphide phase, which contains the most of the copper and matte; and an oxide phase, namely slag. For modern smelting companies, each tonne of copper produced generate approximately 2.2 tons of slag [2,3]. However, as an important secondary resource, copper slag is often treated as waste residue and has not been well utilized [4].

An important criterion for the utilization of copper slag is the copper content in the slag [5]. Generally, copper loss in slag can be divided into chemical and mechanical losses [6–9]. Formation and dissolution of Cu_2S and Cu_2O during metallurgical process are the main forms of chemical loss. The main influencing factors are temperature, slag composition, and oxygen partial pressure [6,7,9]. Mechanical loss is another form of copper loss in slag, and there are three main factors influencing mechanical loss [8,10,11]: the solubility of copper in the slag, the dispersion of the copper in the slag

due to gas generation, and the operations performed during the pyrometallurgical process. Therefore, by adjusting the slag type and reducing the viscosity of the slag system, the mechanical copper loss can be reduced, and the copper slag cleaning effect can be improved.

At present, there are three main methods of copper slag cleaning: mineral processing, hydrometallurgical, and pyrometallurgical methods. Flotation, magnetic separation and gravity separation are the main methods of mineral processing, copper in the slag can be recovered efficiently by mineral processing methods, and flotation has become one of the most effective way to recover useful metals in smelter slag [12,13]. However, there are still some shortcomings, such as the one-time investment cost is high, the water demand is large, and the environmental benefit is low [4,11]. Hydrometallurgical methods can be classified according to different leaching methods, such as acid, ammonia, and biological leaching. However, there are also some problems with the hydrometallurgical route to recover copper from copper slag, such as slow leaching speeds and long production cycles [1]. In pyrometallurgical methods, the density difference between the copper and slag is one of the main causes of their separation [14], and the traditional slag cleaning method is an electric furnace process. However, the driving force generated by the difference in the liquid copper phase and slag density is insufficient to overcome the large interfacial tension between the two phases [15]. Therefore, a carbonaceous reducing

* Corresponding author: State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093, China.

E-mail address: weiygp@ust.edu.cn (Y. Wei).

<https://doi.org/10.1016/j.jalcom.2019.153478>

0925-8388/© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

4. Jurnal Keempat (Mehmet Ali dkk, 2019)

JMRT-995, No. of Pages 9

ARTICLE IN PRESS

J MATER RES TECHNOL. 2019;XXX(XX):XXX-XXX

Available online at www.sciencedirect.com
jmr&t
Journal of Materials Research and Technology
www.jmrt.com.br

Original Article

Minimizing of copper losses to converter slag by a boron compound addition

Mehmet Ali Topçu^a, Aydın Rüßen^{a,*}, Bora Derin^b^a Karamanoğlu Mehmetbey University, Dept. of Metallurgical and Materials Eng., 70100, Karaman, Turkey^b Istanbul Technical University, Dept. of Metallurgical and Materials Eng., 34469, Istanbul, Turkey

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 July 2019

Accepted 8 October 2019

Available online xxx

Keywords:

Converter slag

Calcined colemanite

Copper loss

Fragage

ABSTRACT

In copper production, the concentrate obtained after ore-flotation follows by pyrometallurgical route: Smelting, Converting and Fire Refining stages to obtain the anode plates. In this production process, a significant amount of copper (4-8 %Cu) goes to converter slag (CS) which is the most serious problem facing the copper sector. Therefore, in this study, it was aimed to minimize the copper losses to CS in converter stage by adding calcined colemanite (CC) which is a boron compound. After characterization of CS in detail, effect of the reaction temperature and CC addition were experimentally investigated. Then, thermochemical calculations of the slag with the addition of CC were carried out by using the Equilib and Phase Diagram modules of the FactSage thermochemical software. Experimental results show that the amount of copper losses to the CS can be decreased from 4.45% to 1.2% by adding 2% CC to the converter slag at the temperature of 1250 °C for 3 h reaction time.

© 2019 Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introduction

Copper is an important nonferrous metal which has been used for thousands of years because of its superior physical properties, and its cost are increasing day by day due to the depletion of copper ore reserves [1]. Today, most of the metallic copper is generally produced from sulphidic ores with pyrometallurgical routes including concentration, smelting, converting and refining stages. In converting stage, unmixed two different liquid phases occurs namely, a blister copper with high copper content (98.5%) and a slag phase including oxidised materials with high amount of copper (4-8%). Considering that total copper slag (formed in smelting and converting stages) gen-

eration in the world is more than 30 million tons [2], it is very important to produce the copper with minimum losses to slag in copper sector. Converter slag (CS) based on the fayalite (2FeO.SiO₂) type is formed by combining the silica (SiO₂) as a fluxing agent with iron oxide (FeO) which arising from oxygen blowing to copper matte (Cu₂S - FeS). By forming the fayalite phase (according to the Reaction 1), a good separation between blister copper and slag is provided in the converter stage. Except of fayalite phase, CS also contains a small amount of other oxides such as CaO, Al₂O₃, etc. [3-5]



It is well known that there are two main copper losses mechanisms to slag which are physicochemical and mechan-

* Corresponding author.

E-mail: aydinrussen@kmu.edu.tr (A. Rüßen).<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.018>2338-7854/© 2019 Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

5. Jurnal Kelima (Wang Hong, dkk, 2010)

Available online at www.sciencedirect.com



JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH, INTERNATIONAL, 2010, 17(10), 18-22

Effect of B_2O_3 on Melting Temperature of CaO-Based Ladle Refining Slag

WANG Hong-ming¹, LI Gui-rong¹, LI Bo¹, ZHANG Xue-jun¹, YAN Yong-qi²

(1. School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China;
2. Stainless Steel Branch, Baosteel Group, Shanghai 200431, China)

Abstract: B_2O_3 is selected as fluxing agent of CaO-based ladle refining slag to decrease the melting temperature as well as to improve the speed of slag forming and the refining efficiency. The effects of B_2O_3 on the melting temperature of two series of refining slags including the low basicity slags (the mass ratio of CaO/SiO₂ is 3–4) and the high basicity slags (the mass ratio of CaO/SiO₂ is 5–8.75) were investigated. The slag melting temperature was measured using the hemisphere method. The results indicate that the fluxing action of B_2O_3 is better than that of CaF₂ and Al₂O₃. For the CaO-based refining slag with low basicity, the melting temperature is decreased effectively when B_2O_3 is used to substitute for equal mass of CaF₂, Al₂O₃ and SiO₂, respectively. For the CaO-based refining slag with high basicity, when CaF₂ is substituted by B_2O_3 , the melting temperature can be decreased remarkably. Especially, when the mass ratios of CaO/Al₂O₃ and CaO/SiO₂ are in the range of 1.1–4.0 and 5.25–8.0, respectively, the slag melting temperature is lower than 1300 °C. Therefore, the B_2O_3 -containing refining slags with high ratios of CaO/Al₂O₃ and CaO/SiO₂ have ultra low melting temperature.

Key words: fluoride-free slag; boron oxide; CaO-based refining slag; melting temperature

LF refining acting as one of the most important secondary refining processes has received considerable attentions owing to its multiple refining functions and many other advantages such as the high refining efficiency, low operation cost and simplified operation^[1]. The main functions of LF refining process are further desulfurization, adjusting the composition and temperature, removing the non-metallic impurities, deoxidizing and alloying and so on. In LF refining process, the ladle slag plays a very important role. This is because that many refining functions of LF process, such as desulfurization and absorption of impurities in molten steel, are realized by means of the synthetic refining slag^[2–3]. The synthetic refining slag with good metallurgical properties requires not only the high capabilities of desulfurization, deoxidation and absorption of impurities, but also good fusibility including a lower melting temperature and a suitable viscosity^[4–5]. At present, CaO-based refining slag is widely used. According to basicity, LF refining slag can be classified

as two series, namely low basicity series and high basicity series. In general, the melting speed of low basicity slag is higher than that of high basicity slag. However, in terms of the capabilities of desulfurization, deoxidation and absorption of impurities, the high basicity-slag has greater advantages than low basicity slag. As a result, in order to improve the refining effect, the basicity of refining slag needs to be controlled at a high level. At the same time, the speed of slag melting should be improved by adding some effective fluxing agent. At present, CaF₂ is widely used as fluxing agent. However, CaF₂ is easy to decompose and react with acidic oxide to produce gaseous fluoride, causing the so called fluorine pollution^[6–7]. In addition, the fluxing effect of CaF₂ is very limited, so the slag melting speed is very low, and then the refining efficiency is difficult to be improved further. To decrease the consumption of CaF₂, Al₂O₃ is used as fluxing agent to substitute for partial CaF₂. Though the fluorine pollution is reduced or eliminated, the speed of slag

Foundation Item: Item Sponsored by National High Technology Research and Development Program (863 Program) of China (2007AA03Z548); Natural Science Foundation of Jiangsu Province of China (BK2010355)

Biography: WANG Hong-ming(1974–), Male, Doctor Associate Professor; E-mail: whm1974@sina.com; Received Date, October 21, 2009

6. Jurnal Keenam (Aydin Rusen, dkk, 2016)

JOM, Vol. 48, No. 3, 2016
DOI: 10.1007/s11837-016-1825-1
© 2016 The Minerals, Metals & Materials Society



Effects of Some Additives on Copper Losses to Matte Smelting Slag

AYDIN RUSEN,^{1,4} AHMET GEVECI,² YAVUZALI TOPKAYA,²
and BORA DERIN³

1.—Department of Materials Science and Engineering, Karamanoglu Mehmetbey University, 70100 Karaman, Turkey. 2.—Department of Metallurgical and Materials Engineering, Middle East Technical University, 06800 Ankara, Turkey. 3.—Department of Metallurgical and Materials Engineering, Istanbul Technical University, 34469 Istanbul, Turkey. 4.—e-mail: aydinrusen@hotmail.com

Copper is lost to slag between 0.7 and 2.3 wt.% during the industrial copper matte smelting stage. In the present study, the aim was to minimize these losses in the slag phase by adding some fluxing agents like CaO, B₂O₃ and calcium borate (namely colemanite—2CaO·3B₂O₃·5H₂O). Eti Copper Inc. (EBI) flash furnace smelter slag containing 0.88 wt.%Cu and matte with the addition each of CaO, B₂O₃ and colemanite up to 10 wt.% of the total charge were melted in a silica crucible placed in a vertical tube furnace at 1250°C under nitrogen atmosphere for 2 h. The experimental results of matte–slag–flux mixtures showed that the addition of all additives up to 4 wt.% led to a gradual decrease of the copper content in the final slags. Beyond this value, the copper losses to slag increased markedly with the increasing CaO and B₂O₃ additions. On the other hand, the colemanite addition of more than 4 wt.% did not substantially affect the copper losses to slag.

INTRODUCTION

The copper losses in slags (0.7–2.3 wt.% Cu) are one of the major problems encountered in all new and conventional copper smelting techniques. There are several factors which affect copper losses to slag; such as matte grade, temperature, partial pressure of oxygen, slag composition, and slag properties.^{1–4} Since silica is widely used as a main fluxing agent to promote good separation of matte and slag phases by forming fayalite-type slag (2FeO·SiO₂), silica saturation level is the main parameter in slag composition. In addition, the slag properties such as its viscosity, density and melting point are affected by slag composition (amount of silica and other oxides).

According to investigations, copper found in the form of Cu₂O, Cu₂S or metallic Cu can be lost to smelting slag in two different forms, namely, mechanical and physicochemical losses. The former originates from mechanically entrainment of matte and/or metal components, and the latter is related to dissolved copper species in slag in both oxide and sulfide forms.^{5–7} The ratio of mechanically

entrained versus dissolved copper differs from plant to plant because factors (operating conditions) affecting copper losses to slag alter for each plant. However, the general opinion is that, at lower matte grades, most of the copper losses arise from mechanically entrained matte and metallic copper. As for the higher matte grades (>70 wt.%Cu), the majority of the losses result from physico-chemical losses.^{6,8} Considering the matte grade at a reasonable level (between 45 wt.%Cu and 60 wt.%Cu) in most of the copper matte smelting processes, the copper losses to slag arise from entrained copper losses (mechanical) due to high slag viscosity. Smelting conditions which favor mechanically entrapped inclusions to settle easily to the matte phase, should be improved by decreasing slag viscosity, by increasing settling duration and by minimizing the slag layer. However, all these conditions cannot be applied simultaneously to a smelting furnace.

It is possible to reach the best matte–slag separation with silica saturation in the smelting stage. However, the usage of high amounts of silica results in an increase of the slag viscosity with the presence

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Wr. Wb. Pertama – tama saya mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah yang telah memberikan nikmat dan rahmat – Nya sehingga saya bisa menyusun laporan tugas akhir saya. Kemudian tak lupa juga shalawat serta salam saya haturkan kepada nabi besar Muhammad SAW yang telah memberi pedoman kita selama ini. Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Keluarga yang saya cintai selama ini, yang telah memberi pandangan, support, mendanai, serta mendukung selalu hidup saya entah sampai kapanpun itu
2. Seluruh dosen – dosen Teknik Material dan Metalurgi atas ilmu yang telah diberikan selama saya berkuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS
3. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph. D., Ibu Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil., Ph. D dan serta Bapak Fakhreza Abdul, ST., MT. selaku pembimbing tugas akhir.
4. Seluruh anggota Lab Ekstraksi, Mas beryl, Erick, Aim, Amri, Fadel, Fira, Henokh, Iqbal, Kepinbob, Najib, Naufal, Radite, Sumantot, Satrio, Tetty, Nopalpir, Nanta, Vitot Serta anggota bayangan lainnya yaitu Arif, Nanda, dan Bayu MW atas Hiburannya, nobarnya dan juga Pertandingan Fifa selama Pengerjaan tugas akhir
5. Setiap Anggota MT 18 dan Angkatan 2016 yang telah gila gilaan dalam hal support serta menemani jatuh bangun setiap jiwa raga yang ada.
6. Sahabat Kontrakan 27 dan Kontrakan Kita, Hangga, Eka, Radite, Najib, Naufal, Kiting, Amri, Gatra, Faros, Mamang atas tempat yang nyaman untuk istirahat saya yang termasuk makhluk nomaden dan atas gratisnya

- biayanya yang saya keluarkan untuk menginap selama perkuliahan
7. Kos – Kos Pak Hadi, Pak didik, dan Kos Ghoib, yakni Rio, Nabil, Alief Mas Erwin, Mas Ilham atas tempat nyaman untuk singgah dan berputar gelas.
 8. Ena – Ena Squad, Henokh, Aria, Iqbal, Erasmus, Wira, Vito, Nabil, Daniel, Firman, Vian, Edwin, Rio Atas asupan link yang bermanfaat untuk dipelajari.
 9. Teman – Teman SMA saya dan sepertongkrongan saya atas waktu yang diberikan untuk menemani saya dalam berkeluh kesah serta mengobrol.
 10. Teman – Teman SMP saya, Nugik, Hendri, KW, Bagus, Ashari, Aldo, Abeng atas waktunya dan kebodohan yang diberikan
 11. Rekan – Rekan Pengurus BEM ITS dalam rentang 2017 – 2020, serta setiap individu SC PSDM 18/19 atas pengalaman dan kesempatan belajar yang diberikan
 12. TEBO, Alias Rizki Putri Amaliastuti sebagai partner hidup saya selama diperkuliahan serta entah dari kapan, terimakasih atas pandangan, wawasan, inspirasi, dorongan, pertemanannya yang telah memberikan kedewasaan pada saya sendiri sampai sejauh ini

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat kepada seluruh pembaca di seluruh negeri ini. Adapun penulis meminta maaf apabila ada kesalahan kata yang disengaja maupun tidak disengaja

Surabaya, 27 Juli 2020
Penulis

Muhammad Afni Nadzir Falah
0251164000091

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 12 November 1998, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari Bapak Achmad Ruspandi dan Ibu Ninik Suprapti. Hobi penulis adalah olahraga, membaca buku, berenang dan traveling. Riwayat Pendidikan dimulai dari SDN Dr. Sutomo V Surabaya, SMP Negeri 4 Surabaya, SMA Negeri 6 Surabaya dan menempuh Pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Selama menempuh bangku perkuliahan, penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan, organisasi dan kepanitiaan. Penulis pernah menjabat sebagai staff dan Dirjen Kajian Isu Strategis Kementerian Kebijakan Publik BEM ITS 2018-2020, serta diamanahi menjadi Ketua Pelaksana Dies Natalis ITS 2017 olahraga Volley dan penulis diamanahi sebagai sie dekorasi pada Gerigi ITS 2017. Penulis juga mengikuti dan aktif di UKM Billiard serta Bola Volley. Penulis juga berhasil didanai pada PKM – KC Kemenristekdikti 2017. Penulis juga alhamdulillah mendapat Beasiswa Unggulan oleh Kemendikbud terkait Uang semester, Uang jajan dan juga Uang buku.

Penulis mengikuti Kerja Praktik di PT. GMF Aeroasia Tbk, Tangerang, pada periode Januari 2019. Pada saat Kerja Praktik mengambil topik “Analisis Kegagalan pada *Eksternal Shaft Engine Driven Pum*”. Penulis mengambil penelitian Tugas Akhir di Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material dengan judul “Review Pengaruh Variasi Fluks Terhadap Proses Refining”

Email: muhammadafnii@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)