

## Kebutuhan dan Penyediaan Energi di Industri Smelter Tembaga

Agus Sugiyono

Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, BPPT, Jakarta

Email: agus.sugiyono@bppt.go.id

---

### Abstract

*Law No. 4 of 2009 on mineral and coal has pushed Indonesia to implement the advancement mineral's value-added in the country, particularly for copper. Indonesian has copper reserves of 28 million metric tons that is enough to produce for the long term. In addition, PT Smelting now can process only one-third of the copper concentrate supply from PT Freeport Indonesia and PT Newmont Nusa Tenggara, therefore there is an opportunity to process copper concentrate in the country. Assuming that in 2015 the country will require new smelter industry with a production capacity of 350 thousand tons per year, in consequence the energy requirement for copper smelter industry will increase from currently at 0.50 million BOE to 1.08 million BOE in 2015. The power plant needed for the new smelter industry will have an installed capacity of 58.4 MW that supplied using gas turbine power plant.*

**Keywords:** *energy demand-supply, copper smelter industry*

---

### 1. Pendahuluan

Produksi konsentrat tembaga di Indonesia pada tahun 2012 sebesar 2,38 juta ton. Dari produksi tersebut sekitar 70% diekspor sebagai bahan mentah dan sisinya 30% diproses lebih lanjut di dalam negeri menjadi katoda tembaga. Potensi sumber daya tembaga di Indonesia yang terbesar berada di wilayah Papua. Potensi lainnya menyebar di Jawa Barat, Sulawesi Utara, dan Sulawesi Selatan. Mengingat sumber daya tembaga di Indonesia masih cukup besar yakni sebesar 5,91 miliar ton (cadangan terbukti 3,04 miliar ton) maka perlu untuk ditingkatkan nilai tambahnya dengan memproses menjadi produk jadi di dalam negeri. Peningkatan nilai tambah ini diharapkan dapat menjadi multiplier bagi perekonomian melalui peningkatan kegiatan ekonomi di sepanjang rantai nilai (*value chain*) penambangan, produksi dan pengolahan mineral. Hal ini sejalan dengan UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara yang melarang ekspor bahan mentah mulai tahun 2014. Pemerintah mewajibkan perusahaan tambang mineral untuk

membangun pabrik pengolahan dan pemurnian dalam negeri.

Logam tembaga sangat penting untuk mendukung proses industrialisasi. Tembaga digunakan secara luas dalam industri peralatan listrik, otomotif, konstruksi, dan bangunan. Program pemerintah seperti Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) dan percepatan pembangunan pembangkit listrik 10.000 MW tahap 1 dan 2 telah mendorong peningkatan kebutuhan tembaga. Dalam tiga tahun terakhir ini, Indonesia semakin banyak mengimpor produk jadi berbasis tembaga. Oleh karena itu sudah seharusnya ekspor konsentrat tembaga dialihkan untuk diproses dalam negeri dengan pengembangan industri *smelter* tembaga.

### 2. Proses Industri *Smelter* Tembaga

Industri *smelter* tembaga mempunyai dua tahap proses yaitu industri peleburan dan pemurnian. Industri ini termasuk industri yang intensif energi (*energy intensive industry*) sehingga perlu pasokan energi yang besar untuk

jangka panjang. Lokasi industri *smelter* dipilih yang berdekatan dengan bahan baku namun perlu mempertimbangkan pembangunan pembangkit listrik dengan sumber energi yang ekonomis seperti tenaga air, panas bumi, gas, dan batubara. Perencanaan pengembangan industri *smelter* disesuaikan dengan jenis teknologi yang dipilih dan mempertimbangkan kebutuhan dan pasokan energinya.

### 2.1. Industri Tembaga Dunia dan Indonesia Saat Ini

Berdasarkan data U.S. Geological Survey (2012), total cadangan mineral tembaga dunia mencapai 680 juta ton. Chili merupakan negara yang mempunyai cadangan tembaga terbesar di dunia yang mencapai 190 juta ton atau 28%. Sedangkan Australia dan Peru masing-masing sebesar 13% dan 12%. Jumlah cadangan tembaga Indonesia adalah 28 juta metrik ton atau 4% dari total cadangan dunia.

Mineral tembaga hasil tambang sebagian diekspor dalam bentuk konsentrat tembaga dan sebagian diolah di negara penghasilnya. Konsentrat tembaga selanjutnya dimurnikan dengan proses *smelter* menjadi produk tembaga. Produksi *smelter* tembaga dunia pada tahun 2012 berdasarkan data ICSG (2012) mencapai 20,1 juta ton. Negara produsen terbesar yaitu China, Jepang, Chili dan Rusia. China tercatat memproduksi 32% dari total produksi tembaga dunia, diikuti oleh Jepang (10%), Chile (8%) dan Rusia (5%). Produksi *smelter* tembaga Indonesia hanya menempati urutan ke 17 dari seluruh negara produsen tembaga dunia.

PT Smelting adalah satu-satunya *smelter* tembaga di Indonesia yang berlokasi di Gresik. PT Smelting menggunakan teknologi terbaru yaitu proses Mitsubishi yang merupakan proses *smelter* kontinu. Kapasitas produksi pabrik saat ini mencapai 300.000 ton per tahun dengan luas area pabrik 28,5 Ha dan jumlah tenaga kerja sekitar 500 orang. Konsentrat tembaga yang diolah di PT. Smelting Gresik tersebut sebagian besar berasal dari PT.Freeport Indonesia dan sebagian kecil berasal dari PT.Newmont Nusa Tenggara. Konsentrat tembaga yang diolah

sekitar satu juta ton per tahun. Konsentrat tembaga tersebut diolah menjadi tembaga katoda dengan produksi berkisar antara 270 ribu ton sampai 300 ribu ton per tahun. Tembaga katoda yang diproduksi kemudian dijual di dalam negeri (60%) dan sisanya 40% diekspor ke pasar Asia Tenggara.

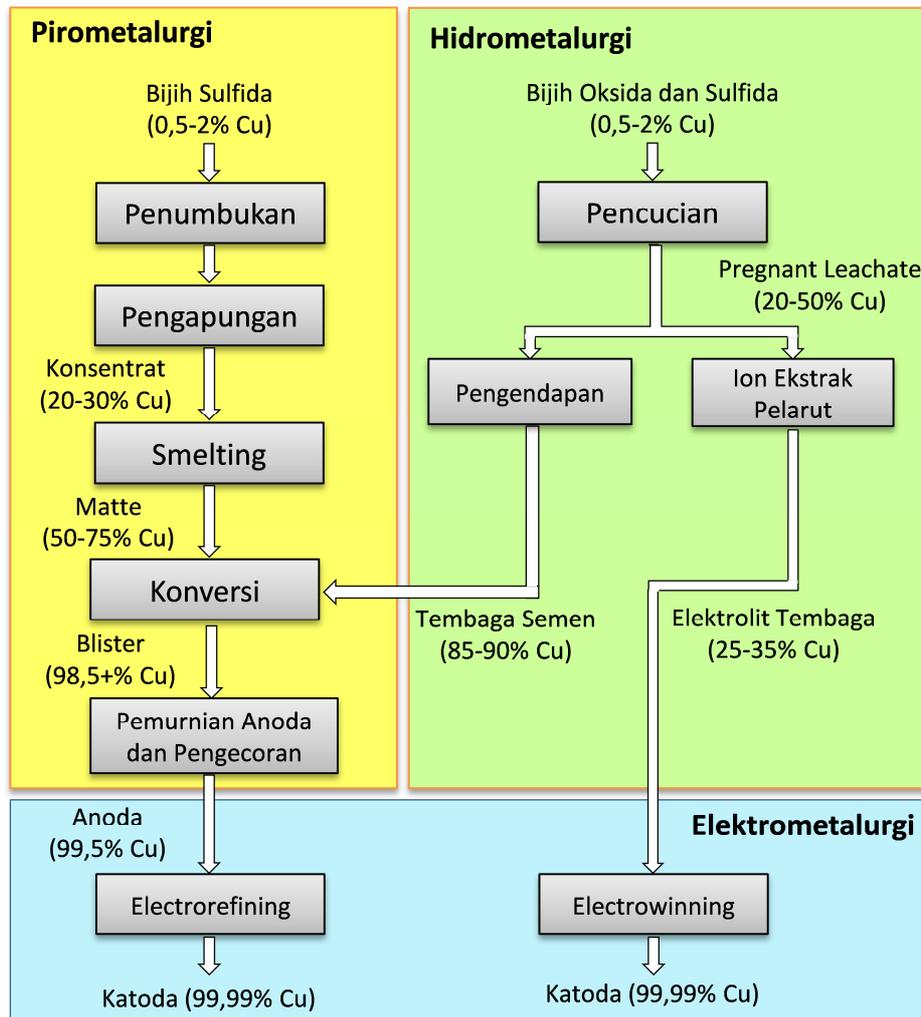
Hasil industri *smelter* dari PT Smelting dengan proses Mitsubishi disamping produk utama berupa tembaga katoda, juga menghasilkan produk sampingan yaitu:

- Asam sulfat sebanyak 700.000 ton per tahun yang dijual ke PT. Petrokimia Gresik.
- Terak tembaga dan gypsum yang berguna untuk bahan baku semen dan dijual ke PT. Semen Gresik masing masing sebesar 530.000 ton per tahun dan 20.000 ton per tahun.
- Lumpur anoda yang mengandung logam-logam mulia seperti emas, perak, dan logam-logam yang termasuk dalam PGM (*Platinum Group Metal*) seperti platinum, palladium, rodium, iridium, osmium, dan ruthenium. Lumpur anoda ini masih diekspor karena belum ada proses pemurniannya di Indonesia.

### 2.2. Smelter Tembaga

Proses pengolahan mineral tembaga dapat dibagi menjadi tiga metode, yaitu pirometalurgi, hidrometalurgi, dan elektrometalurgi. Metode pirometalurgi memerlukan suhu yang tinggi namun relatif singkat waktu prosesnya. Metode hidrometalurgi menggunakan pelarut kimia untuk menangkap atau melarutkan logamnya. Sedangkan metode elektrometalurgi menggunakan teknik elektrolisis untuk memperoleh logamnya. Secara ringkas diagram alir ketiga metode ini ditunjukkan pada Gambar 1. Teknologi pirometalurgi mendominasi hampir seluruh produksi tembaga di dunia.

Saat ini proses pengolahan tembaga di Indonesia juga dilakukan dengan metode pirometalurgi. Mineral tembaga dalam bentuk sulfida dilakukan penumbukkan dan penggerusan sampai dengan ukuran tertentu. Setelah didapat ukuran partikel bijih tembaga



Sumber: Diadaptasi dari OTA

Gambar 1. Alur proses pengolahan tembaga

yang sesuai selanjutnya dilakukan proses pengapungan untuk memisahkan mineral pengotor dari mineral tembaga. Proses ini dapat meningkatkan kadar bijih tembaga dalam konsentrat sekitar 20-30%. Konsentrat tembaga kemudian dilebur dalam *smelter* menjadi lelehan *matte* dan menghasilkan produk samping berupa *slag* dan gas buang. Proses smelting ini membutuhkan tambahan oksigen dan akan menghasilkan *matte* dengan kadar tembaga sekitar 50-75%. Pada proses konversi, *matte* dioksidasi menjadi tembaga *blister* yang mempunyai kadar tembaga sekitar 98,5%. Proses pemurnian dilakukan dalam tungku yang berputar untuk menurunkan kandungan oksigen dalam tembaga. Proses ini

akan menaikkan kadar tembaga menjadi 99%. Selanjutnya dilakukan proses *electrorefining* yang merupakan proses elektrolisa dari tembaga anoda yang diendapkan kembali di permukaan katoda. Mineral pengotor yang terkandung dalam tembaga anoda tidak ikut diendapkan sehingga proses ini akan meningkatkan kadar tembaga menjadi 99,99%.

### 2.3. Intensitas Energi

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, dalam proses pirometalurgi digunakan tungku (*furnace*) untuk mereduksi dan melelehkan bahan mineral. Ada berbagai jenis tungku yang telah dikembangkan dan dalam makalah ini akan dibahas mulai dari yang sederhana hingga yang

paling modern, yaitu: tungku listrik, Inco flash, dan reaktor Mitsubishi. Rangkuman kebutuhan energi untuk setiap jenis tungku ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan energi untuk proses pirometalurgi (SBM/ton Cu)

Proses	Tanur Listrik	INCO Flash	Reaktor Mitsubishi
Penanganan material		0.13	0.12
Pengeringan	0.47	0.33	0.23
<b>Smelting:</b>			
Bahan bakar			1.14
Listrik	3.37	0.01	0.28
Surplus uap			-1.42
<b>Konversi:</b>			
Listrik	0.52	0.17	0.25
Bahan bakar	0.63		0.04
Pembersihan <i>slag</i>			0.24
<b>Pemurnian Gas:</b>			
Gas panas	0.14	0.10	0.15
Gas dingin	0.39	0.05	0.06
Emisi <i>fugitive</i>		0.63	0.16
Pabrik Asam	0.84	0.56	0.72
Air		0.02	0.02
Tanur Anoda	0.90	1.03	1.03
<b>Material:</b>			
Lain-lain			0.11
Oksigen		0.62	0.23
Elektroda	0.15		0.03
<i>Fluxes</i>	0.02	0.00	0.01
Air		0.01	0.01
Tanur Anoda	0.09	0.08	0.08
<b>Total</b>	<b>7.53</b>	<b>3.76</b>	<b>3.50</b>

Sumber: Diolah dari OTA (1998)

#### • Tungku listrik (*electric furnace*)

Peleburan logam menggunakan tungku listrik dilakukan dengan menggunakan energi listrik yang berupa busur listrik (*arc*) yang dapat mencairkan logam. Tungku busur listrik mempunyai ruang bakar yang berbentuk tabung dan elektroda yang ditempatkan ditengah-tengah ruang bakar tersebut. Kutub positif dan kutub negatif dari elektroda dikontakkan sehingga muncul busur listrik yang menimbulkan panas. Suhu dalam proses ini dapat mencapai 1.200°C. Tungku listrik dapat memanfaatkan energi secara efisien karena kehilangan panas yang keluar melalui gas buang relatif rendah. Kendala utama dari proses ini adalah penggunaan listrik yang tinggi sehingga biaya

produksi relatif mahal karena harga listrik cenderung untuk terus meningkat.

#### • INCO *flash*

Proses INCO *flash* merupakan salah satu bentuk *flash furnace* yang dikembangkan di dunia disamping Outokumpu *flash furnace*. Konsentrat tembaga dan oksigen murni (95% O<sub>2</sub>) dimasukkan ke dalam tungku peleburan. Proses ini dapat menggunakan energi termal yang dilepas selama oksida sulfida. Volume gas buang relatif sedikit sehingga kandungan SO<sub>2</sub> di dalam tungku menjadi sangat tinggi (75-80%) karena yang digunakan adalah oksigen murni. *Matte* dikeluarkan secara periodik dari bagian samping tungku sedangkan *slag* dikeluarkan secara kontinu dari ujung tungku.

#### • Reaktor Mitsubishi

Reaktor mitsubishi dikembangkan pada tahun 1970-1980 yang merupakan proses pengolahan tembaga yang paling modern sampai saat ini. Proses dalam reaktor Mitsubishi termasuk dalam proses kontinu yang mempunyai 3 tahap proses yang menggunakan tungku, yaitu: tungku pelebur, tungku listrik pembersih *slag* dan tungku konversi. Ketiga tungku ini dihubungkan melalui saluran penghubung (*launder*) yang tertutup. *Matte* dan *slag* dialirkan dari satu tungku ke tungku berikutnya dengan memanfaatkan gravitasi. Selanjutnya akan diperoleh tembaga kasar yang biasanya disebut tembaga *blister*.

Reaktor Mitsubishi saat ini hanya digunakan di 5 *smelter* tembaga di dunia karena biaya konstruksinya sangat mahal (500 juta USD pada tahun 1996 untuk kapasitas produksi 270 ribu ton per tahun). Reaktor ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah mempunyai produktivitas yang tinggi dengan memanfaatkan energi intrinsik dari oksida belerang dan emisi SO<sub>2</sub> yang dihasilkan mudah untuk diproses menjadi asam sulfat.

### 3. Prospek Industri *Smelter* Tembaga

UU No. 4 Tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan batubara mengamatkan untuk melakukan peningkatan nilai tambah mineral dalam negeri dengan

melarang ekspor bahan mentah mulai 12 Januari 2014. Peraturan pelaksanaan dari UU ini tertuang dalam Permen Menteri ESDM No. 7 Tahun 2012 tentang peningkatan nilai tambah mineral melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian mineral yang kemudian direvisi dalam Permen Menteri ESDM No 11 Tahun 2012 tentang Perubahan Atas Permen ESDM No 7 Tahun 2012. Dalam pelaksanaannya, Permen tersebut direvisi lagi seperti tertuang dalam Permen Menteri ESDM No. 20 Tahun 2013 tentang ketentuan batasan ekspor kandungan mineral. Dinamika pelaksanaan UU terus berjalan dan tidak menutup kemungkinan peraturan yang ada saat ini akan direvisi lagi.

Dengan UU dan peraturan tersebut akan membuka peluang untuk membangun industri *smelter* tembaga yang baru di Indonesia. PT Smelting sekarang hanya dapat mengolah sepertiga pasokan konsentrat tembaga dari PT Freeport Indonesia dan PT Newmont Nusa Tenggara, sehingga masih terbuka peluang memproses konsentrat tembaga dalam negeri yang saat ini masih diekspor berupa bahan mentah.

### 3.1. Pengembangan Industri Tembaga

Ada sistem yang sangat unik dalam rantai nilai tembaga. Perusahaan pengolah tembaga hanya mendapatkan upah mengolah berupa *teatment charge* (TC) dan *refining charge* (RC). TC merupakan biaya untuk mengolah konsentrat menjadi tembaga *blister*. TC biasanya dinyatakan dalam USD/dmt konsentrat (dmt = *dried metric ton*). RC merupakan biaya untuk mengolah tembaga *blister* menjadi katoda tembaga. RC biasanya dinyatakan dalam cent USD/lb tembaga murni. Untuk selanjutnya TC dan RC disingkat menjadi TC/RC dan dapat diartikan sebagai kompensasi yang diberikan oleh pemilik konsentrat tembaga atas jasa mengolah menjadi tembaga. Besaran TC/RC tergantung dari hasil negosiasi antara perusahaan pengolah dan perusahaan pemilik konsentrat. Dengan sistem ini naik turunnya harga tembaga di dunia tidak berpengaruh terhadap tingkat keuntungan perusahaan peleburan tembaga.

TC/RC dalam kurun waktu 2005-2011 cenderung mengalami penurunan. Pada tahun 2005 sebesar 85,0 USD/dmt dan 8,5 cent USD/lb menjadi 56,0 USD/dmt dan 5,6 cent USD/lb pada tahun 2011. Industri *smelter* memerlukan TC/RC sebesar 55.0 USD/dmt dan 5,5 cent USD/lb agar layak secara ekonomi. Dengan kecenderungan menurunnya TC/RC untuk jangka panjang mengakibatkan tidak ekonomis untuk mengembangkan industri *smelter* tembaga di masa depan.

Permasalahan utama dalam pembangunan *smelter* tembaga adalah kebutuhan biaya investasi yang tinggi dan diperlukan *return on investment* yang tinggi. Beberapa hasil studi menilai tidak layak secara finansial untuk membangun *smelter* baru di Indonesia. Disamping itu struktur permodalan dan biaya, struktur pendapatan (*income*) serta penciptaan nilai tambah (*value added creation*) merupakan faktor penting yang mempengaruhi kelayakan pembangunan industri *smelter*.

Namun demikian, dalam rangka melaksanakan UU mineral dan batubara, Kementerian ESDM telah menginventarisasi industri yang berminat untuk mengembangkan industri *smelter* tembaga. Nusantara Smelting berencana membangun *smelter* pada tahun 2014 dengan kapasitas pengolahan konsentrat tembaga sebesar 800 ribu ton per tahun. Global Investindo berencana membangun *smelter* pada tahun 2015 dengan kapasitas pengolahan konsentrat tembaga sebesar 1,2 juta ton per tahun, dan Indosmelt pada tahun 2014 merencanakan pembangunan *smelter* dengan kapasitas sebesar 400 ribu ton per tahun. PT Freeport Indonesia juga terus melakukan pendekatan kerja sama untuk pembangunan tiga kandidat *smelter* Indonesia yang rencana lokasi pabriknya berada di Bontang, Maros, atau Cirebon. Proposal proses dan teknologi serta informasi awal untuk analisis keekonomian proyek sudah ada dan akan dilanjutkan untuk melakukan studi kelayakan yang lebih komprehensif. Rencana kapasitas pabrik peleburan dan pemurnian tembaga sebesar 500 ribu ton per tahun dan akan beroperasi pada tahun 2017.

### 3.2. Kebutuhan dan Pasokan Energi

Berdasarkan rencana pengembangan *smelter* tembaga yang sudah diajukan ke Kementerian ESDM maka dapat dibuat proyeksi kebutuhan dan pasokan energinya. Dalam makalah ini diasumsikan pada tahun 2015 akan ada industri *smelter* baru dengan kapasitas 350 ribu ton per tahun. Dalam perencanaan ini tidak semua rencana yang sudah diajukan investor dimasukkan dalam perhitungan, karena usulan investor baru sebatas keinginan belum didukung dengan studi kelayakan yang komprehensif.

Dengan asumsi tersebut dapat dihitung kebutuhan energi yang diperlukan berdasarkan kapasitas industri *smelter* dan intensitas energinya. Intensitas energi untuk perhitungan kebutuhan energi ditunjukkan pada Tabel 2. Sedangkan kebutuhan energinya ditunjukkan pada Tabel 3 dengan asumsi harga intensitas energi yang digunakan adalah nilai rata-ratanya. Kebutuhan energi ini meliputi kebutuhan energi untuk industri *smelter* eksisting dengan kapasitas produksi sebesar 300 ribu ton per tahun ditambah dengan industri *smelter* baru sebesar 350 ribu ton per tahun.

Tabel 2. Intensitas energi *smelter* tembaga (SBM/ton Cu)

Energi	Intensitas Energi		
	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Listrik	0.6573	0.7930	0.7252
Batubara	0.3096	0.6134	0.4615
Gas	0.3676	0.4936	0.4306
BBM	0.0117	0.0971	0.0544

Sumber: Diolah dari data PT Smelting (2013)

Tabel 3. Kebutuhan energi *smelter* tembaga

Energi	Kebutuhan Energi Juta SBM
Listrik	0.4714
Batubara	0.3000
Gas	0.2799
BBM	0.0353
Total	1.0866

Kebutuhan energi untuk industri *smelter* tembaga saat ini sebesar 0,50 juta SBM dan akan meningkat menjadi 1,08 juta SBM pada tahun 2015. Kebutuhan energi terbesar adalah berupa energi listrik dengan pangsa mencapai 43% diikuti oleh batubara 28%, gas 26% dan bahan bakar minyak 3%. Pembangkit listrik yang dibutuhkan untuk industri *smelter* yang baru mempunyai kapasitas terpasang 58,4 MW yang dipasok menggunakan PLTG.

### 4. Kesimpulan dan Saran

UU Nomor 4 Tahun 2009 tentang mineral dan batubara mendorong untuk melaksanakan peningkatan nilai tambah mineral dalam negeri, khususnya untuk tembaga. Dengan cadangan tembaga Indonesia sebesar 28 juta metrik ton maka masih cukup untuk diproduksi untuk jangka panjang. Disamping itu, PT Smelting sekarang hanya dapat mengolah sepertiga pasokan konsentrat tembaga dari PT Freeport Indonesia dan PT Newmont Nusa Tenggara, sehingga masih terbuka peluang memproses konsentrat tembaga dalam negeri. Dengan mengasumsikan bahwa pada tahun 2015 dibutuhkan industri *smelter* baru dengan kapasitas produksi 350 ribu ton per tahun maka kebutuhan energi untuk industri *smelter* tembaga yang saat ini sebesar 0,50 juta SBM dan akan meningkat menjadi 1,08 juta SBM pada tahun 2015. Pembangkit listrik yang dibutuhkan untuk industri *smelter* yang baru mempunyai kapasitas terpasang 58,4 MW yang dipasok menggunakan PLTG.

Pengembangan industri *smelter*, khususnya tembaga diharapkan dapat terlaksana karena bernilai sangat strategis dalam mendukung industrialisasi di Indonesia. Pesaing terbesar dalam pengembangan *smelter* tembaga adalah China. China mempunyai keunggulan komparatif dalam industri tembaga karena saat ini sudah mempunyai kapasitas produksi yang besar. Disamping itu China dapat memproduksi peralatan pendukung industri *smelter* sehingga biaya investasinya dapat lebih murah karena dimanufaktur di dalam negeri. Hal ini perlu menjadi pertimbangan dalam studi kelayakan yang akan dilakukan untuk

pengembangan industri *smelter* baru di masa mendatang. Pengembangan industri *smelter* tembaga yang baru juga harus mempertimbangkan faktor berikut ini:

- Pertambangan tembaga harus diberi fasilitas sehingga produksi tambang dapat meningkat.
- Perlu diciptakan pertumbuhan kebutuhan tembaga dalam negeri yang lebih progresif misalnya meningkatkan industri otomotif dan peralatan tenaga listrik sehingga hasil produksi *smelter* dapat terserap secara lokal.
- Perlu dicari sumber energi yang murah serta perlu dipersiapkan infrastruktur energi yang lebih baik.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ditjen Minerba, 2012, *Akselerasi Industrialisasi dalam Rangka Mendukung Percepatan dan Pembangunan Ekonomi*, Dipresentasikan dalam Rapat Kerja Tahun 2012 Kementerian ESDM dengan Kementerian Perindustrian, Jakarta.
- [2] Kemenperin, 2012, *Analisis Biaya Manfaat Pelarangan Ekspor Bahan Mentah Minerba dan Dampaknya Terhadap Sektor Industri: Studi Kasus Nikel dan Tembaga*, Kementerian Perindustrian, Jakarta.
- [3] Kemenperin, 2012, *Perencanaan Kebutuhan Energi Sektor Industri Dalam Rangka Akselerasi Industrialisasi*, Kementerian Perindustrian, Jakarta.
- [4] Depperin, 2008, *Studi Peningkatan Nilai Tambah Sumber Daya Alam Tembaga*, Departemen Perindustrian, Jakarta.
- [5] MEMR, 2012, *Indonesia Mineral and Coal Statistics 2012*, Ministry of Energy and Mineral Resources, Jakarta.
- [6] PLN, 2011, *Statistik PLN 2011*, PT PLN (Persero), Jakarta.
- [7] PLN, 2012, *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2012-2021*, PT PLN (Persero), Jakarta.
- [8] PTFI, 2013, *PT Freeport Indonesia*, Dipresentasikan dalam Seminar Peningkatan Nilai Tambah Mineral, Kementerian ESDM.
- [9] World Bank, 2013, *Commodity Price Forecast Update*, Released: January 15, 2013.
- [10] Worrell, E.; Price, L.; Neelis, M.; Galitsky, C.; Nan, Z., 2008, *World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors*, Berkeley National Laboratory.
- [11] ICSG, 2013, *World Copper Factbook 2013*, The International Copper Study Group.
- [12] USSG, 2013, *Mineral Commodity Summaries 2013*, U.S. Geological Survey.
- [13] OTA, 1998, *Copper: Technology and Competitiveness*, Office of Technology Assessment, U.S. Congress, Washington DC.