

POTENSI SPENT POT LINING (SPL) OLAHAN DARI LIMBAH INDUSTRI PELEBURAN ALUMINIUM DENGAN PROSES PEMANGGANGAN (ROASTING) BEBAS OKSIGEN SEBAGAI BAHAN BAKAR.

(THE POTENCY OF SPENT POTLINING (SPL) FROM INDUSTRIAL WASTE OF ALUMINIUM SMELTER PROCESSED BY FREE OXYGEN ROASTING AS FUEL)

Sari Farah Dina¹, Azriadi² dan Pander Sitindaon³
Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan
Jl. Sisingamangaraja 24 Medan Telp. (061) 7365379;

ABSTRAK

Telah dilakukan percobaan pengolahan Spent Potlining (SPL) skala laboratorium menggunakan proses pemanggang (roasting) bebas oksigen skala laboratorium. Pengolahan bertujuan untuk menurunkan kandungan sianida dan flourida sehingga mencapai tingkat yang aman bagi lingkungan, sehingga SPL hasil pengolahan yang mengandung unsur utama karbon dapat dimanfaatkan kembali untuk berbagai kepentingan diantaranya sebagai bahan bakar.

Proses pemanggang dilakukan pada kondisi ukuran SPL 4 – 5 cm (pada berbagai sisi), temperatur 200 – 600 °C dan waktu 10 – 20 menit. Terhadap sampel SPL dilakukan analisa sifat kimia (kadar karbon, CN, F, Na, S dan abu) sehubungan dengan penggunaan akhir SPL hasil pengolahan. Sampel dengan penurunan kandungan sianida dan flourida yang optimum di uji nilai kalornya.

Kondisi terbaik dalam penelitian ini dicapai pada temperatur 600°C dan waktu 20 menit yakni SPL hasil pengolahan dengan penurunan kandungan sianida dari 910 ppm menjadi 20 ppm; penurunan flourida dari 13,4 ppm menjadi 6,4 ppm. Nilai kalor yang diperoleh adalah 5400 kkal/kg. Kondisi ini telah aman bagi lingkungan dan SPL hasil pengolahan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat.

Kata kunci: *Spent Potlining (SPL), proses pemanggang, bahan bakar*

ABSTRACT

The experiments of Spent Potlining (SPL) treatment by using of free-oxygen roasting process has been done. The objective of treatment are to reduce cyanide as well as fluoride content to environmentally nonhazardous levels with the result that roasted-SPL carbon-rich can be utilized for any salable raw material as fuel source.

The roasting process was carried out in conditions of the SPL are initially crushed for reducing particles which are less than about 5 cm in any dimension, temperature varied of 200, 400 and 600 °C as well as residence time of 10 and 20 minutes. The C, CN, F, Na, S and Ash content of two SPL samples has been analyzed according to the end-using of treated-SPL. The optimum condition stated by controlling of highest cyanide and fluoride reducing, so these selected sampel has been tested for heating value.

The best condition in this experiment was achieved of selected-roasted SPL (temperature of 600°C ad residence time of 20 minutes) which can reduce of cyanide from 910 ppm to be 20 ppm; fluoride reduce from 13,4 ppm to be 6,4 ppm. Heating value of the selected-roasted SPL is 5400 kkal/kg. This condition had complied with environment requirements and treated SPL can be utilized as solid-fuel(powder).

Keyword: *Spent Potlining (SPL), roasting process, fuel*

I. PENDAHULUAN

1.1 Blok Anoda dan Katoda

Pada industri yang mengolah bauksit menjadi aluminium, tahap peleburan (*smelting process*) merupakan tahapan inti. Alumina yang dihasilkan dari tahap kalsinasi pada proses sebelumnya dilewatkan pada bak elektrolisa yang berisi larutan *Cryolite* (Na_3AlF_6). Proses pemisahan berlangsung didalam larutan elektrolit tersebut akibat adanya arus listrik dengan voltase rendah tetapi memiliki arus yang sangat tinggi (sekitar 150.000 Ampere). Arus listrik mengalir diantara suatu anoda dan katoda yang disusun dalam bentuk batangan (*pot lining*).

Anoda dibuat dari karbon dengan kemurnian tinggi, biasanya dari residu *coke* minyak bumi. Blok katoda sama seperti anoda, dibuat dari *coke* dengan *pitch tar* sebagai bahan pengikat, campuran kemudian dicetak dalam bentuk pot sebagai wadah elektrolit dan produk logam Aluminium. Tingkat kemurnian katoda tidak seperti anoda.(1)

Blok katoda terbuat dari karbon dengan panjang 9-12 m, lebar 3-5 m dan tingginya 1-1,2 m dilapisi dengan isolasi supaya tidak kehilangan panas sehingga elektrolit tidak membeku.

Pada umumnya katoda karbon ini hanya bertahan dalam waktu 6 tahun karena mengalami pengausan. Katoda yang mengalami aus dapat menyebabkan terjadinya penetrasi larutan elektrolit dan alumina ke dalam blok katoda tersebut. Dengan adanya penetrasi sedemikian rupa, maka keefektifan proses menjadi berkurang.

Blok katoda yang telah aus, setelah dikeluarkan dari wadah dikenal sebagai *Spent Pot Lining* (SPL) yang sebagian besar mengandung karbon

(C), *cryolite* (Na_3AlF_6) dan senyawa-senyawa Aluminium, Natrium, Flourida dan Sianida³⁾. Dengan terbawanya senyawa berbahaya tersebut, maka SPL dapat dikategorikan kedalam limbah B3.

1.2 Spent Pot Lining

Jika konsumsi blok katoda 0,02–0,04 Kg karbon per Kg Aluminium yang dihasilkan maka untuk industri peleburan aluminium yang memiliki kapasitas 225.000 ton per tahun, akan menghasilkan limbah SPL sekitar 15–30 ton/hari. Ini menjadi sumber karbon yang belum dimanfaatkan secara periodik.

SPL merupakan limbah yang berbahaya yang memerlukan penanganan khusus sebelum dibuang karena dikategorikan sebagai limbah B3. Di U.S, SPL telah dimanfaatkan dalam industri semen, mineral wool, bata tahan api, bahan aspal dan sebagai fluks dalam industri baja. Sedangkan di Indonesia, SPL belum dimanfaatkan, masih ditempatkan dalam tempat khusus, diproteksi dari angin dan diberi bahan kimia atau dibasakan supaya stabil. SPL diperlakukan menjadi limbah beracun di berbagai negara karena mengandung Flourida dalam jumlah signifikan dan juga Sianida.

SPL mengandung bahan-bahan yang bernilai jika dipulihkan dan digunakan untuk penggunaan khusus. Komponen utama yang memiliki potensi nilai adalah karbon. Kesulitan dalam praktek pengembangan untuk mendaur-ulang limbah industri peleburan aluminium ini terletak pada karakteristik fisik dari SPL yang bersifat korosif dan beracun terhadap lingkungan serta produk yang terkandung selama proses pengolahan.

Pembuangan yang aman dari SPL telah menjadi tantangan bagi industri sejak lama. Tantangan tersebut berjalan terus akibat adanya standard lingkungan yang ketat. Oleh karenanya residu buangan dibatasi pada konsentrasi yang sangat rendah dari flourida dan Sianida; misalnya TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) mensyaratkan Flourida kurang dari 49 ppm dan Sianida reaktif kurang dari 250 ppm.

1.3 Proses Pengolahan SPL

Berbagai usaha telah banyak dilakukan untuk mengolah SPI sehingga dapat menjadi limbah yang tidak berbahaya dan bahkan dapat digunakan sebagai bahan baku baru bagi industri. Berikut beberapa teknologi proses yang dapat digunakan yang secara garis besar dapat dilakukan menggunakan efek termal, kimia ataupun gabungan keduanya.

a. Proses Pirometalurgi

Secara prinsip, proses ini merupakan proses pembakaran bahan karbon yang terkandung dalam SPL serta melelehkan komponen-komponen dalam SPL selanjutnya membentuk produk terak (*slag*) seperti yang telah dilaporkan oleh Jeppe dkk²⁾.

Gas buang (*off gas*) yang keluar mengandung gas beracun dosis tinggi seperti HF dan NaF. Proses pirometalurgi berlangsung pada temperatur tinggi (1150 – 1250 °C) sehingga menguraikan seluruh senyawa Sianida dan organik dalam SPL. Energi untuk mendukung keberlangsungan operasi pada temperatur ini utamanya disediakan/diperoleh dari pembakaran karbon dalam SPL. Dengan proses ini, proses pengolahan dianggap sebagai prosedur yang mahal dan karbon yang

ada seluruhnya digunakan untuk pembakaran temperatur tinggi yang diinginkan.

b. Proses Pirohidrolisa⁴⁾

Proses ini dilakukan untuk mengambil kembali F, Na dan Al dari SPL yang dihasilkan selama proses reduksi aluminium berlangsung secara elektrolitik. Reaksi berlangsung didalam reaktor unggun terfluidisasi dimana temperatur operasi berada pada rentang 900 – 1300 °C. Panas dihasilkan dari pembakaran SPL yang dihaluskan (1,3 – 5 mm), dan uap (*steam*) dimasukkan kedalam reaktor. Reaksi yang terjadi menghasilkan produk-produk mudah menguap yang mengandung Natrium, sedangkan reaksi 4 menghasilkan padatan berupa kerak Na-Aluminat. Rasio Na : Al dijaga 0,7 - 1,0 agar memberikan kelarutan yang optimum dari kerak alumina ini. Pirohidrolisa utamanya adalah untuk mendapatkan HF bebas Natrium, sedangkan padatannya didaurulang sebagai langkah konversi residu.

Proses pirohidrolisa memerlukan investasi dan biaya operasi yang besar, menyebabkan cara ini dianggap tidak ekonomis untuk dioperasikan.

c. Proses Termo-kimia⁵⁾

Pengolahan ini diawali dengan perlakuan secara kimia menggunakan larutan 10 – 60 g/L NaOH dan temperatur dijaga antara 60 – 90 °C, untuk membentuk suatu larutan mengandung Flourida dan Na-Aluminat serta suatu padatan residu. Terhadap larutan yang telah dipisahkan dari padatan, diberi perlakuan termal dan fisik (temperatur 160 – 220 °C; tekanan 150 – 350 psi dan waktu 0,5 – 3,0 jam) sehingga terjadi penguraian Sianida. Padatan hasil pengolahan yang

utamanya mengandung karbon dapat didaur-ulang untuk membuat katoda, digunakan sebagai bahan bakar atau dapat ditimbun di lahan pembuangan tanpa resiko terhadap polusi.

Meskipun cara ini dapat memberikan keuntungan dengan dapat dimanfaatkannya kembali karbon sebagai komponen utama SPL, namun pengoperasiannya cukup rumit karena bekerja dibawah pengaruh tekanan yang cukup tinggi (350 psi).

d. Proses Roasting (Pemanggangan)¹⁾

Proses *roasting* merupakan proses termolisis yang bertujuan untuk mendekomposisi senyawa kimia dengan menggunakan efek panas. Proses berlangsung dengan atau juga tanpa kehadiran oksigen. Cara ini menjadi salah satu alternatif pengolahan SPL yang secara signifikan dapat mengurangi kandungan Sianida tanpa terjadinya pembakaran. Proses *roasting* berlangsung didalam bejana yang dipanaskan hingga mencapai temperatur 250 – 700 °C dan dialiri gas inert.

Keberhasilan pengolahan SPL secara *roasting* dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya: ukuran bongkahan/ukuran partikel; temperatur dan waktu pemanasan. Rickman melaporkan bahwa pelepasan Sianida sangat baik pada temperatur relatif rendah (400 – 420 °C). Pada temperatur tersebut, penurunan kandungan Sianida sudah pada ambang yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Keuntungan lain, pengoperasian proses pada temperatur yang relatif rendah adalah dapat mengatasi aglomerasi dari fusi abu yang terbentuk. Hal inilah yang menyebabkan proses *roasting* lebih baik digunakan daripada proses pembakaran (temperatur >1100 °C)

karena tidak terjadinya aglomerasi, desain tungku lebih mudah dan biaya operasi lebih murah.

Secara umum, produk hasil pengolahan secara *roasting* dapat digunakan sebagai bahan baku pada berbagai industri karena kandungan Karbon dan Flourida nya yang tinggi. Pemanfaatan SPL hasil pengolahan *roasting* ini dapat digunakan sebagai bahan bakar atau stok umpan pada industri wool mineral, industri penghasil baja ataupun industri lainnya.

II. BAHAN DAN METODA

Bahan baku berupa limbah blok katoda (SPL) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, diperoleh dari industri peleburan aluminium yang terletak di Propinsi Sumatera Utara. Sampel yang digunakan terdiri dari 2 (dua) jenis yang dibedakan atas lokasi pengambilan. Masing-masing sampel dianalisa sifat kimianya dan untuk tahap *roasting* dilakukan pencampuran terhadap kedua sampel dengan rasio 1:1.

Terhadap bongkahan SPL yang diterima (Gambar 2.a) dihancurkan sedemikian rupa sehingga diperoleh ukuran/dimensi bongkahan yang lebih kecil (kurang dari 4 – 5 cm) pada berbagai sisi (Gambar 2.b).

Kondisi operasi proses *roasting* divariasikan pada suhu 200, 400 dan 600 °C dan waktu pemanasan diatur 10 dan 20 menit. Matriks variasi percobaan dapat dilihat pada Tabel 1. Untuk menghindari terjadinya pembakaran, maka kedalam tungku *roasting* dialirkan

Tabel 1 . Matriks Variasi Percobaan *Roasting*

Variasi Waktu, menit \ Variasi Temperatur, °C	Variasi Temperatur, °C		
	200	400	600
10	A1	B1	C1
20	A2	B2	C2

gas N_2 (nitrogen).

Sampel dengan ukuran rata-rata 4-5 cm seberat 1 (satu) kg dimasukkan ke dalam tungku (Gambar 4). Setelah itu, penutup tungku diketatkan murniya menggunakan kunci pas. Pastikan instalasi aliran gas N_2 dan pipa aliran gas buang sudah baik dan wadah untuk menangkap gas buang sudah berisi air.

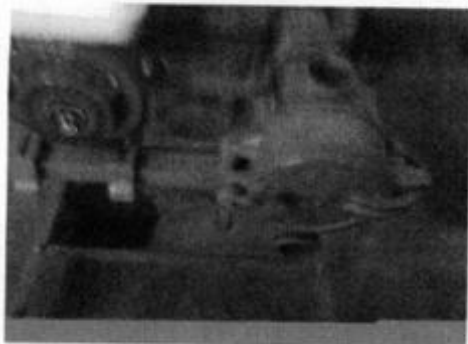
Melalui panel kontrol dilakukan pengaturan waktu dan temperatur sesuai variasi percobaan sesuai Tabel 1. Setelah sumber listrik dinyalakan dilanjutkan dengan mengalirkan gas N_2 . Setelah waktu yang ditentukan operasi berhenti secara otomatis dan setelah dingin sampel dikeluarkan dari tungku



Gambar 2.a Bongkahan SPL



Gambar 2.b Bongkahan SPL yang telah diperkecil ukurannya (kurang dari 4 – 5 cm)



Gambar 3. Alat Penghalus (Crusher) SPL Hasil Pengolahan



Gambar 4. Alat Pemanggangan (Roasting) SPL

untuk dianalisa lebih lanjut.

Terhadap sampel hasil pengolahan dilakukan penghalusan menggunakan *crusher*. Selanjutnya dilakukan analisa komposisi kimia awal SPL, analisa kadar sianida dan flourida dari SPL hasil pengolahan dan penentuan nilai kalor dari SPL hasil pengolahan pada variasi terpilih.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu jenis bahan bakar yang dapat digunakan dalam bentuk padatan adalah batubara. Batubara termasuk salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan

sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen.

Batubara merupakan batuan yang mudah terbakar yang lebih dari 50% - 70% berat volumenya merupakan bahan organik yang merupakan material karbonat termasuk *inherent moisture*. Bahan organik utamanya yaitu tumbuhan yang dapat berupa jejak kulit pohon, daun, akar, struktur kayu, spora, polen, damar, dan lain-lain. Selanjutnya bahan organik tersebut mengalami berbagai tingkat pembusukan (dekomposisi) sehingga menyebabkan perubahan sifat-sifat fisik maupun kimia baik sebelum ataupun sesudah tertutup oleh endapan lainnya. Beberapa sifat penting batubara dan asal penambangannya

Hasil penelitian Pemanfaatan SPL sebagai Bahan Bakar diawali dengan hasil analisa sifat kimia sampel SPL. Dari hasil percobaan tahap *roasting* dilakukan analisa terhadap kandungan Sianida dan Flourida. Sampel dengan penurunan kandungan Sianida pada nilai tertentu dari variasi kondisi *roasting* terpilih kemudian dianalisa nilai kalornya sehubungan pada efektifitas penggunaan akhir dari SPL hasil pengolahan. Uraian tentang hasil analisa tersebut dijelaskan lebih rinci sebagai berikut:

3.1 Analisa Bahan Baku

Terhadap 2 (dua) sampel Blok Katoda yang diterima dilakukan analisa sifat kimia seperti ditunjukkan dalam Tabel 3 berikut.

Hasil analisa menunjukkan bahwa limbah blok katoda (SPL) mengandung unsur Karbon yang cukup tinggi (80,2%). Jika dilihat karakteristik beberapa jenis batubara (berdasarkan sumber

Tabel 2 . Karakteristik Batubara berdasarkan Sumber/Asal

Tambang	Cekungan	K. air total (%ar)	K. abu (%ad)	Zat terbang (%ad)	Belerang (%ad)	Nilai energi (kkal/kgad)
Sakul	Asam-asam	10,00	8,00	41,50	0,80	6800
Senekan	Pasir	9,00	15,00	39,50	0,70	6400
Petangis	Pasir	11,00	12,00	40,50	0,80	6700
Ombilin	Ombilin	12,00	<8,00	36,50	0,50 - 0,60	6900
Parambahan	Ombilin	4,00	10,00 (ar)	37,30 (ar)	0,50 (ar)	6900 (ar)
Roto South	Pasir	24,00	3,00	40,00	0,20	5200 (ar)
Air Laya	Sumatera bagian selatan	24,00	5,30	34,80	0,49	5300 (ar)

Tabel 3 . Hasil Analisa Kimia Sampel SPL

Sampel Blok Katoda (SPL)	Parameter					
	Karbon, %	F, %	S, %	Na, %	CN, ppm	Ash, %
I	81,5	13,0	0,1	3,0	900	18,0
II	78,9	13,6	< 0,1	3,4	920	21,4
Rata-rata	80,2	13,3	0,1	3,2	910	19,7

/ asal) seperti ditunjukkan pada Tabel 2, maka kadar karbon SPL termasuk jenis Bituminus.

Kadar sulfur (belerang) SPL lebih rendah dibanding semua jenis batubara yang ada pada Tabel 3. Kadar belerang yang tinggi dibatasi karena dapat menimbulkan masalah terbentuknya senyawa SO_x dan bau pada gas buang.

Kadar abu SPL lebih tinggi dibanding kadar abu batubara yang tertera pada Tabel 2. Tingginya kadar abu ini disebabkan pada SPL terdapat senyawa kimia lain yang berasal dari *cryolite* maupun bahan-bahan lain yang membentuk SPL. Kadar abu yang tinggi hanya akan menjadi masalah dalam hal mekanik karena diperlukan pekerjaan ekstra untuk membersihkan debu yang berlebih dari tungku pembakaran.

Unsur sianida dan sulfur cukup tinggi, dan ini yang akan diolah selama tahap *roasting* sehingga SPL aman bagi lingkungan ketika digunakan sebagai bahan bakar.

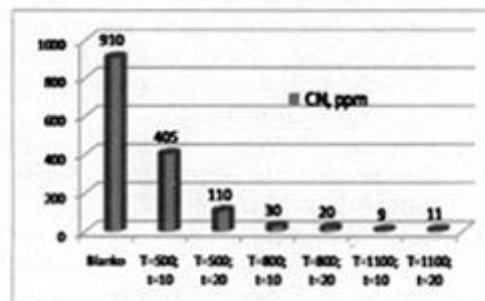
3.2 Hasil Pengolahan SPL Secara Roasting

Dari hasil uji kadar Sianida di dalam SPL hasil pengolahan (Gambar 5) dapat dilihat bahwa pengolahan secara

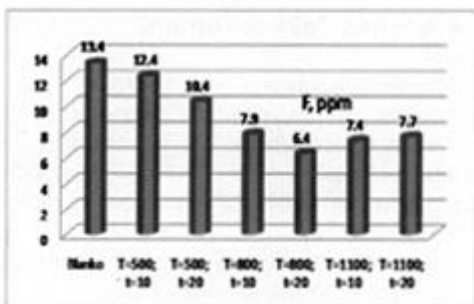
pemanggangan (*roasting*) dapat memperoleh penurunan kandungan Sianida sampai yang diinginkan yaitu memenuhi Standard lingkungan yang berlaku di Amerika maupun yang dipersyaratkan dalam TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*). Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu *roasting* maka semakin banyak sianida yang dapat dilepas dari SPL. Namun jika dibandingkan dengan standard lingkungan Amerika Serikat yang menetapkan bahwa bahan karbon yang mengandung senyawa Sianida < 100 ppm adalah aman bagi lingkungan, maka temperatur 800 °F dengan waktu *roasting* 10 dan 20 menit sudah cukup memenuhi persyaratan tersebut.

Hal ini juga didasari atas pertimbangan konsumsi energi adalah lebih rendah dibanding dengan temperatur lebih tinggi (1100 °F) walaupun pada kondisi tersebut Sianida semakin banyak terlepas dari SPL.

Ditinjau dari hasil uji kadar Flourida (Gambar 6), secara garis besar terlihat adanya penurunan walaupun penurunannya tidak sebesar Sianida. Hasil uji menunjukkan bahwa penurunan paling tinggi dibanding Blanko dicapai pada kondisi temperatur 800 °F dengan



Gambar 5 . Pengaruh Temperatur ($T = ^\circ\text{F}$) dan Waktu ($t = \text{menit}$) *Roasting* terhadap Kandungan Sianida dalam SPL



Gambar 6 . Pengaruh Temperatur ($T = ^\circ\text{F}$) dan Waktu ($t = \text{menit}$) *Roasting* terhadap Kandungan Flourida dalam SPL

waktu 20 menit, yakni dari 13,4 ppm menjadi 6,4 ppm. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses *roasting* juga efektif melepaskan Flourida.

Ditinjau dari persen penurunan, maka proses *roasting* lebih efektif menurunkan kandungan Sianida dibanding Flourida. Matja C dkk⁽⁶⁾ melaporkan bahwa senyawa-senyawa larut dalam air yang terdapat didalam SPL dapat diberi perlakuan awal melalui proses *leaching* menggunakan air pada tingkat pengenceran dan waktu yang cukup.

Jika dibandingkan dengan standard TCLP dimana SPL dianggap aman bagi lingkungan jika kandungan Flourida kurang dari 49 ppm, maka baik blanko maupun hasil percobaan seluruhnya dapat dianggap aman bagi lingkungan

3.3 Hasil Uji Nilai Kalor SPL Hasil Pengolahan

Hasil uji nilai kalor bakar SPL hasil pengolahan pada variasi percobaan temperatur 800 °F dan waktu 20 menit adalah sebesar 5400 kkal/kg. Hal ini membuktikan bahwa SPL hasil pengolahan dapat digunakan sebagai bahan bakar.

3.4 Analisa Teknoekonomi

Basis:

- a. Kapasitas tungku : 15 kg
- b. Waktu operasi/run : 20 menit
- c. Lama operasi/hari : 12 jam/hari
- d. Harga listrik : Rp. 700,-/kWh
- e. Konsumsi listrik u/mencapai temperatur 800 °F : 4,5 kW
- f. Operasi dilakukan secara kontinu dan pada skala laboratorium.

Perhitungan:

Kapasitas produksi/hari =

$$15 \times (60/20) \times 12 = 540 \text{ kg}$$

Biaya:

- a. Ongkos angkut bahan baku : Rp. 25.000,-
- b. Tenaga kerja, 2 org/hari : Rp. 120.000,-
- c. Listrik u/ tungku *roasting* : Rp. 15.750,-

Energi termal u/menaikkan temperatur SPL s/d 800 °F (1 jam) + energi pada saat temperatur tercapai (20 menit)
(4,5 x Rp. 700,-) + (4,5 x 60/20 x 12 x Rp. 700,-)

Jumlah biaya : Rp. 160.750,-

Harga Jual (berdasarkan Indonesian Coal Index)/ton : Rp. 605.000,-

Harga jual 540 kg/ hari : Rp. 326.700,-

Keuntungan kotor = Penjualan – Biaya
= Rp. 326.700 – Rp. 160.750
= Rp. 165.950,-

Pajak (11,5%) =

$$0.115 \times \text{Rp. } 165.950 = \text{Rp. } 19.100,-$$

Keuntungan Bersih/hari = Rp. 165.950 – Rp. 19.100 = Rp. 146.850,-

V. KESIMPULAN

Dari kegiatan pembuatan alat /tungku pemanggangan dan simulasi proses yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknologi pengolahan SPL untuk menghilangkan komponen berbahaya

seperti Sianida menggunakan sistem pemanggangan (*roasting*) adalah cukup efektif digunakan.

2. Hasil analisa awal menunjukkan bahwa SPL mengandung 80,2 % Karbon, 13,3% Flourida, 910 ppm Sianida, 0,1% Sulfur, 3,2% Natrium dan 19,7% ash.
3. Dibanding blanko (910 ppm), penurunan kandungan Sianida paling tinggi (20 ppm) dicapai pada kondisi proses *roasting* temperatur 800 °F dan waktu 20 menit.
4. Proses *roasting* juga dapat menurunkan Flourida dari 13,4 % (blanko) menjadi 6,4 % pada kondisi proses dengan variasi temperatur 800 °F dan waktu 20 menit.
5. Nilai kalor dari SPL hasil pengolahan dari variasi terpilih (temperatur 800°F dan waktu 20 menit) adalah sebesar 5400 kkal/kg. Nilai ini mengindikasikan bahwa SPL hasil pengolahan dapat memenuhi standard nilai kalor sebagai bahan bakar padat yakni antara 5200 – 6900 kkal/kg.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Rickman, William S.: *Method for The Removal of Cyanides from Spent PotLining from Aluminum Manufacture*, United States Patent 4973464, <http://www.freepatentsonline.com/4973464.html>.
2. Jefferson W. Tester et.al: *Sustainable Energy*, MIT Press ISBN 0-262-20153-4, 2005.
3. Ken Mansfield: *The Spent Pot Lining Treatment and Fluoride Recycling Project*, Private Box 1, Portland, Victoria 3305, Australia.
4. Andersen, John N.: *Pyrohydrolysis System for Processing Fluorine-Containing Spent and Waste*

- Materials*; United States Patent 4158701, <http://www.freepatentsonline.com/4158701.html>.
5. Grolman Robert J. Dkk: *Recycling of Spent Pot Lining*; United States Patent 5470559, <http://www.freepatentsonline.com/5470559.html>.
 6. Matja C. Dkk: *Thermal Hydrolysis of Cyanides in Spent Pot Lining of Aluminium Electrolysis*; United States Patent 6596252, <http://www.freepatentsonline.com/6596252.html>.
 7. Fathi Habashi, *Hand Book of Extraction Metallurgy*, hal 1039-1122 Volume II - Primary Metals, secondary Metals, Light Metal 1997.
 8. Kimi et al., "Laboratory Feasibility Studies for the Fluidized-Bed Combustion of Spent Potlinings from Aluminum Reduction," Report No. EPA-600/2-84-064, Mar. 1984.
 9. Carbon Products Consortium, *The Carbon Products Industry Vision for the Future*, Copy Right, 1998.