

EKSTRAKSI PADAT-CAIR ZnO DENGAN ASAM DARI DEBU FILTER PROSES PEMBUATAN BAJA

Ricson P Hutagaol*, Nasrudin, Agus Taufik
Laboratorium Kimia Universitas Nusa Bangsa
Jl KH Soleh Iskandar KM 4. Cimanggu Tanah Sareal Bogor 16166
*e-mail: rics_htgl@yahoo.com

ABSTRACT

ZnO Solid – Liquid Extraction with Filter Dust Acid from The Steel Making Process

Zinc Oxide is a white metal oxide which is widely used in various industries. Zinc oxide can be produced with the direct, indirect process (method of France) and hydrometallurgical. Source manufacture ZnO derived from material containing zinc metal. The content of ZnO in the dust filter in the steel making process as a potential raw material for the manufacture of ZnO. The purpose of this study was to determine the type of acid and concentration were better for extraction ZnO viewed from purity and the yield. This research was conducted by method of solid-liquid extraction, followed by the precipitation process. Testing of purity of ZnO with better extraction result were H_2SO_4 0,75 M was 89.67% with a yield of 97.73%, while the H_2SO_4 0,50 M was 80.45% (yield 63.96%), H_2SO_4 0,25 M was 76,48% (46.95% yield), HCl 0,75 M was 79.23% (81.70% yield), HCl 0,50 M was 76.98% (yield 49%), and HCl 0,25 M was 74.57% (30.23% yield). ZnO composition data from extraction results were analyzed using X-ray fluorescence (XRF).

Key words: Solid-liquid extraction, ZnO, Dust, Steel, XRF

ABSTRAK

Seng oksida merupakan oksida logam berwarna putih yang banyak digunakan di berbagai industri. Seng oksida dapat diproduksi dengan proses langsung, proses tidak langsung (metode Prancis) dan hidrometalurgi. Sumber pembuatan ZnO berasal dari material yang mengandung logam seng. Kandungan ZnO dalam debu filter pada proses pembuatan baja berpotensi sebagai bahan baku untuk pembuatan ZnO. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan jenis asam dan konsentrasi yang lebih baik untuk ekstraksi ZnO dilihat dari kemurnian dan rendemennya. Penelitian ini dilakukan dengan metode ekstraksi padat-cair yang dilanjutkan dengan proses pengendapan. Pengujian kemurnian ZnO hasil ekstraksi yang lebih baik yaitu H_2SO_4 0,75 M adalah 89,67% dengan rendemen 97,73%, sedangkan H_2SO_4 0,50 M adalah 80,45% (rendemen 63,96%), H_2SO_4 0,25 M adalah 76,48% (rendemen 46,95%), HCl 0,75 M adalah 79,23% (rendemen 81,70%), HCl 0,50 M adalah 76,98% (rendemen 49%), dan HCl 0,25 M adalah 74,57% (rendemen 30,23%). Data komposisi hasil ekstraksi ZnO yang dianalisis menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF).

Kata Kunci : Ekstraksi padat-cair, ZnO, Debu Baja, XRF

PENDAHULUAN

Sebuah *furnace* atau tungku selalu dilengkapi beberapa peralatan pendukung untuk membantu kelancaran proses pembuatan baja. Salah satunya adalah penghisap debu dan asap. Penghisap debu dan asap ini berguna untuk menghisap debu halus atau zat terbang yang ada di dalam tanur. Secara umum, kandungan debu yang terhisap dari dalam tungku adalah 20-30% seng dan 15-30% Besi, yang berpotensi menjadi sumber seng dan logam besi (Wannakamb, 2013).

Zink oksida adalah senyawa anorganik berwarna putih yang banyak digunakan di industry plastik, keramik, *rubber* (karet), cat, kosmetik bahkan ZnO dalam ukuran nano banyak digunakan sebagai semikonduktor. Zink oksida secara luas diproduksi menggunakan proses kering (proses Perancis), dimana oksidasi uap zink di udara dari zink yang dibakar pada suhu 1100⁰C (Hyman, 1989).

Selain proses Perancis, ZnO juga dapat diproduksi dengan proses hidrometalurgi, yaitu dengan proses ekstraksi

padat-cair, pemekatan larutan dan proses *recovery* atau bisa juga dengan proses elektrolisis. Proses Hidrometalurgi sangat cocok digunakan untuk ekstraksi ZnO dengan kadar rendah.

Zink oksida larut dalam asam maupun basa. Pada asam sulfat encer dan asam klorida encer, zink oksida mudah larut dan menghasilkan gas hidrogen, sedangkan pada hidroksida alkali membentuk ion kompleks dan melepaskan gas hidrogen. Kelarutan ZnO dalam asam dan basa memungkinkan ZnO untuk diekstrak dengan jenis asam dan basa tersebut. Setelah proses pelarutan, beberapa logam yang larut dipisahkan dengan penambahan beberapa bahan kimia dan proses penyaringan. Zink yang murni diendapkan dengan senyawa hidroksida dan dipanaskan untuk mendapatkan senyawa ZnO murni.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari sampel debu filter pada proses pembuatan baja yang berasal dari PT. Growth Sumatra Medan dan bahan kimia yang digunakan adalah *methyl cellulose*, H_2SO_4 0,25 M; 0,50 M; dan 0,75 M, HCl 0,25 M; 0,50 M; dan 0,75 M, H_2O_2 30%, $CaCO_3$, Na_2CO_3 jenuh, HCl (1:1), larutan buffer pH 5, *xylene Orange* 0,1%, EDTA 0,05 M, $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N, $SnCl_2$ 10%, dan $HgCl_2$ 10%.

Alat

Alat yang digunakan adalah *hotplate stirrer*, *magnetic stirrer*, neraca analitik tipe Hengping, Neraca analitik Shimadzu tipe AUY120, ARL Optim'X (XRF), indikator universal, buret, *heater*, termometer, kertas saring, O-ring, *muffle furnace*, oven, botol reaksi 1 L, erlenmeyer 250 mL, Labu ukur dan cawan porselen 100 mL.

Metode

1. Analisis Debu Filter

Sebanyak 10 g sampel debu halus (200 mesh) ditambahkan 1 g *methyl cellulose*. Campuran kemudian dihomogenkan dan dihaluskan kembali menggunakan *seal type mill* (mesin grinding) selama 180 detik. Sampel yang sudah halus kemudian ditimbang sebanyak 8 g kemudian ditekan dengan *full automatic tablet machine* (mesin tekan) dengan kekuatan 12.5 Mpa. Sampel yang sudah berbentuk tablet kemudian dianalisis menggunakan XRF dengan program OptiQuant®

2. Proses Ekstraksi padat cair dengan Asam Sulfat

Sebanyak 50 g sampel dilarutkan dengan 500 mL asam sulfat 0,25M, 0,5 M dan 0,75M kedalam botol 1000 mL. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* diatas *hotplate stirrer* pada suhu $90^{\circ}C$ dengan kecepatan putaran 400 rpm selama 24 jam. Kemudian campuran disaring menggunakan kertas saring. Larutan kemudian ditambahkan 10 mL H_2O_2 30% dan kapur ($CaCO_3$). Setelah itu campuran difiltrasi dan larutan kemudian ditambahkan Na_2CO_3 jenuh. Endapan kemudian disaring dan endapan yang dihasilkan dikalsinasi pada suhu $450^{\circ}C$.

3. Proses Ekstraksi Padat Cair dengan Asam Klorida

Sebanyak 50 g sampel dilarutkan dengan 500 mL asam klorida 0,25M, 0,5 M dan 0,75M kedalam botol 1000 mL. Campuran diaduk dengan *hotplate stirrer* pada suhu $90^{\circ}C$ dengan kecepatan putaran 400 rpm selama 24 jam. Kemudian campuran disaring menggunakan kertas saring. Larutan kemudian ditambahkan 10mL H_2O_2 30% dan kapur. Setelah itu campuran difiltrasi dan larutan kemudian ditambahkan Na_2CO_3 jenuh. Endapan kemudian disaring dan dikalsinasi pada suhu $450^{\circ}C$.

4. Analisis Kadar ZnO hasil ekstraksi

Sebanyak 1,5 g sampel dimasukan kedalam gelas piala 500 mL dan

ditambahkan 50 mL aquadest dan 20 mL HCl (1:1). Panaskan sampai larut sempurna, kalau perlu, tambahkan 1-3 tetes HNO₃ pekat agar larut sempurna. Setelah dingin, larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda tera dan dihomogenkan. Larutan dipipet sebanyak 25 mL dan dimasukkan kedalam erlenmeyer 250 mL dan tambahkan 10 mL larutan buffer pH 5. pH larutan diatur antara 5–5,5 dengan menambahkan larutan ammonia (1:1). Titar dengan larutan EDTA 0.05 M dengan menggunakan 0,5 mL larutan xylenol orange 0,1% hingga warna larutan berubah dari merah jingga kemudian merah dan akhirnya menjadi kuning.

Perhitungan

a. Pengukuran kadar ZnO

$$\text{Kadar ZnO (\%)} = \frac{0,004068 \times V_{\text{EDTA}} \times (250/25)}{\text{Bobot sampel}} \times 100\%$$

b. Perhitungan Rendemen

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Bobot ZnO hasil leaching}}{\% \text{ZnO dalam debu} \times \text{bobot sampel}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari debu sisa pembuatan baja menggunakan tanur listrik (Dust Electric Arch Furnace) dari PT. Growth Sumatra. Sampel berwarna coklat dengan ukuran 100 mesh.

Debu sisa pembakaran baja yang dikenal dengan istilah DEAF berasal dari material halus yang dimasukkan kedalam tanur kemudian dihisap dibagian gasparator dan sebagian lagi berasal dari

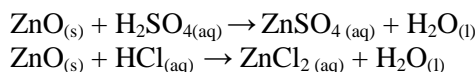
logam yang menguap pada suhu dibawah suhu peleburan baja. Hasil analisis debu sisa pembuatan baja dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan dari data hasil analisis XRF diatas, tingginya kandungan ZnO dalam debu filter pada proses pembuatan baja ini dapat dimanfaatkan menjadi sumber pembuatan ZnO dengan cara ekstraksi. Proses ekstraksi dilakukan dengan larutan asam, maka ZnO akan bereaksi dengan asam sulfat membentuk ZnSO₄ dan jika dengan HCl akan membentuk larutan ZnCl₂.

A. Proses Ekstraksi

Ekstraksi ZnO dari abu sisa pembakaran baja dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 2 jenis asam, masing-masing memiliki variasi konsentrasi 0,25 M, 0,50 M, dan 0,75 M. Abu sisa pembakaran baja sebanyak 50 g diekstrak dengan 500 mL pelarut yang berbeda jenis asamnya. Pelarut yang digunakan yaitu asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H₂SO₄).

Menurut Yoshida (2003) reaksi antara Zink oksida dengan asam sulfat dan asam klorida adalah:



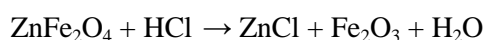
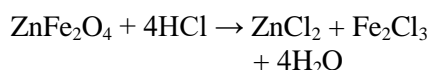
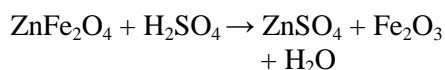
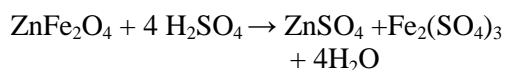
Mekanisme reaksi yang terjadi adalah difusi reagent kimia ke permukaan ZnO melalui lapisan batas cair dan reaksi ekstraksi terjadi pada permukaan spesiment. Setelah itu, hasil reaksi akan berpindah dari permukaan ke larutan leaching melalui batas permukaan ZnO. Kinetika reaksi leaching pada dasarnya adalah campuran dari reaksi kimia dan perpindahan senyawa.

Tabel 1. Hasil Analisis Debu Sisa Pembakaran Baja dari PT. Growth Sumatera Indonesia

Senyawa	Sisa Pembakaran
ZnO	26,08%
SiO ₂	12,26%
Fe ₂ O ₃	29,41%
MgO	10,10%
Al ₂ O ₃	2,24%
CaO	8,34%
S	1,46%
Na ₂ O	1,75%

Asam sulfat (H_2SO_4) memiliki tingkat kereaktifan yang paling tinggi dibanding asam klorida (HCl) dalam penelitian ini dikarenakan ZnO dalam abu sisa pembakaran baja ini akan mudah larut dalam H_2SO_4 dalam konsentrasi rendah (encer). Reaksi yang terjadi antara ZnO dengan asam sulfat akan menghasilkan garam ZnSO_4 yang cenderung bersifat asam. ZnO yang bersifat amfoter dalam reaksi ini menunjukkan sifat basanya karena bereaksi dengan asam kuat, yaitu H_2SO_4 .

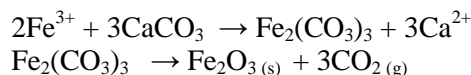
Menurut Havlik (2004), dalam abu sisa pembakaran baja juga mengandung ZnFe_2O_4 yang bereaksi dengan H_2SO_4 dan HCl dengan reaksi sebagai berikut:



Adanya senyawa Zn yang berikatan dengan Fe dalam bentuk ZnFe_2O_4 dan Fe_2O_3 dalam debu filter menyebabkan terlarutnya ion Fe. Sehingga Fe harus dipisahkan dengan cara pengendapan terlebih dahulu.

B. Hasil Ekstraksi ZnO

Sampel hasil ekstraksi mengandung ion Zn, Fe, dan beberapa ion lain dalam konsentrasi rendah. Adanya ion selain Zn, maka harus ada pemisahan ion-ion selain Zn, salah satunya yaitu dengan pengendapan ion lain, dalam hal ini, ion Fe diendapkan dengan CaCO_3 dan H_2O_2 . Tujuan penambahan H_2O_2 (hidrogen peroxide) adalah untuk mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} agar bisa bereaksi dengan CaCO_3 . Endapan yang terbentuk adalah endapan Fe berwarna merah. Pada penambahan ini, pH dipertahankan pada 4-5 agar tidak terjadi pengendapan ZnCO_3 . Reaksi yang terjadi adalah:



Larutan yang mengandung ion Zn yang bebas dari ion Fe kemudian diendapkan dengan natrium karbonat jenuh (Na_2CO_3) membentuk endapan ZnCO_3 yang berwarna putih. Untuk memurnikan ZnO, ZnCO_3 dikalsinasi dengan pemanasan pada suhu 450°C .

Dari bentuk morfologinya, banyaknya bentuk yang tidak sama menandakan banyaknya senyawa yang terkandung di dalam debu filter tersebut. Setelah dilakukan ekstraksi dengan H_2SO_4 dan HCl, bentuk morfologinya lebih terlihat seragam dibandingkan dengan sebelum ekstraksi, artinya senyawa yang terkandung di dalam hasil ekstraksi tidak terlalu banyak pengotornya atau hampir murni.

Apabila dilakukan perbandingan bentuk morfologi antara hasil ekstraksi dengan H_2SO_4 , HCl, dan hasil ekstraksi ZnO yang dilakukan oleh Oustadakis (2010), maka bentuk morfologi yang di tampilkan adalah bentuk ZnO. Hasil ekstraksi dengan H_2SO_4 lebih seragam dibandingkan dengan HCl, menandakan ZnO lebih banyak terikat pada saat ekstraksi dengan H_2SO_4 dibandingkan dengan HCl. Banyaknya morfologi ZnO, maka hasil ekstraksi dengan H_2SO_4 lebih murni jika dibandingkan dengan HCl.

Endapan hasil ekstraksi dianalisis dengan metode titrimetri (SNI 0085:2009) untuk mengetahui kadar ZnO dalam sample hasil pengendapan. Pada metode ini, di-gunakan EDTA 0,05 M sebagai titar dan xylenol orange 0,1% sebagai indikatornya. Sample harus dipastikan berada di pH=5-5,5 sebelum dilakukan titrasi supaya hanya ZnO yang bereaksi dengan EDTA. Endapan juga dihitung rendemennya dari kadar awalnya (kadar ZnO dalam debu filter). Hasil ekstraksi dengan menggunakan Asam Sulfat terdapat pada Tabel 2.

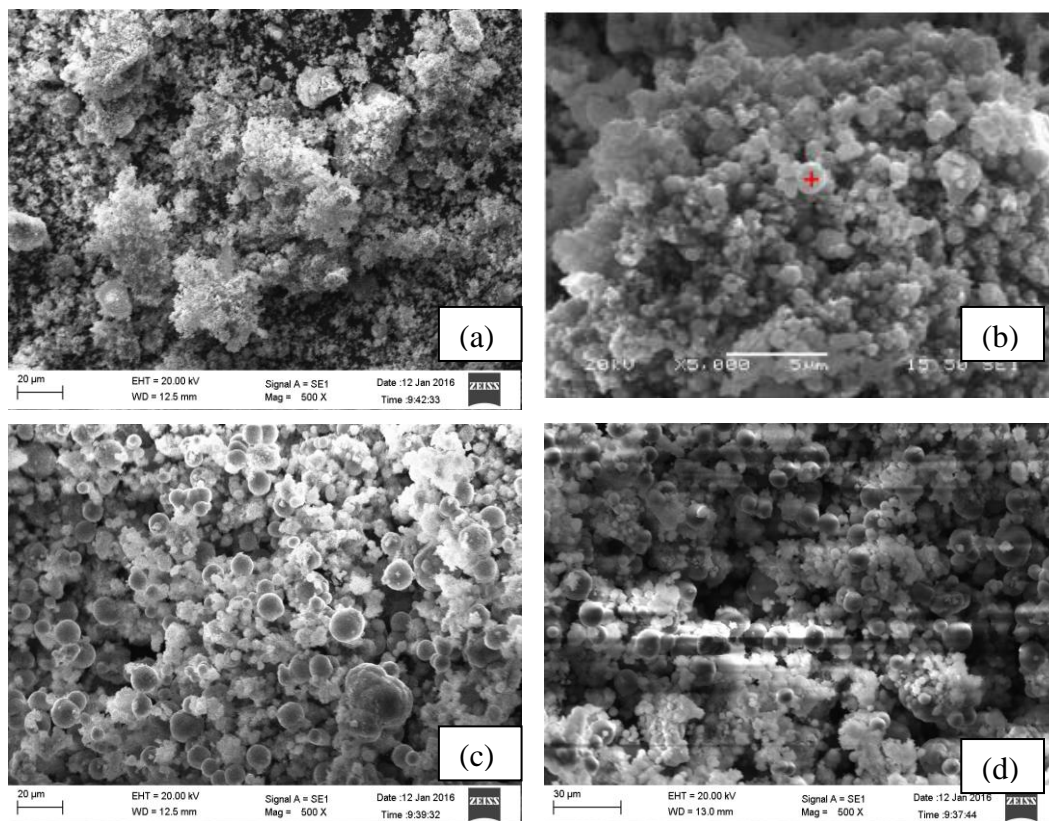
Dari Tabel 2, berdasarkan pengujian hasil ekstraksi secara titrimetri, konsentrasi yang paling baik untuk menghasilkan kemurnian ZnO yang tinggi adalah pada konsentrasi 0,75 M

yaitu 89,67% dengan rendemen sebesar 97,73%. Sedangkan pada konsentrasi 0,25 M, kemurnian yang di-peroleh hanya 76,48% dengan rendemen 46,95%. Data hasil analisis secara titrimetri ini didukung oleh hasil analisis dengan menggunakan XRF yang ditampilkan pada Tabel 4, sehingga data hasil analisis ini dapat dipertanggung jawabkan. Dari data tersebut, semakin tinggi konsentrasi H_2SO_4 yang digunakan, semakin banyak dan semakin murni ZnO yang dihasilkan (prinsip ekstraksi). Pada konsentrasi H_2SO_4 rendah, hasil ekstraksi ZnO sangat rendah karena masih banyaknya ZnO dalam sampel yang belum bereaksi dengan H_2SO_4 dan juga adanya senyawa lain yang terikat dalam ekstraksi menggunakan H_2SO_4 . Adanya ZnO yang berikatan dengan senyawa lain memerlukan reaksi yang lebih lama, sedangkan dengan konsentrasi H_2SO_4 yang tinggi, ZnO akan mudah larut, sehingga hasil ekstraksinya lebih banyak.

Untuk hasil ekstraksi menggunakan HCl, data dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3, didapatkan data bahwa ZnO murni bisa didapat dengan menggunakan pelarut HCl 0,75 M, yaitu 79,23% dan rendemennya 81,70%, sedangkan konsentrasi 0,25 M hanya didapat kemurnian sebanyak 74,37% dengan rendemen sebesar 30,23%. Data hasil analisis secara titrimetri ini diperkuat dengan hasil analisis menggunakan XRF yang ditampilkan pada Tabel 4. Semakin tingginya konsentrasi HCl yang digunakan, semakin banyak pula HCl yang bereaksi dengan ZnO, sehingga semakin tinggi pula kemurnian yang didapat.

Hasil yang ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 dan didukung dengan data pada Tabel 4 maka perbandingan hasil ZnO yang diperoleh dari hasil ekstraksi dengan menggunakan larutan Asam sulfat dan asam klorida dapat dilihat pada Gambar 3.



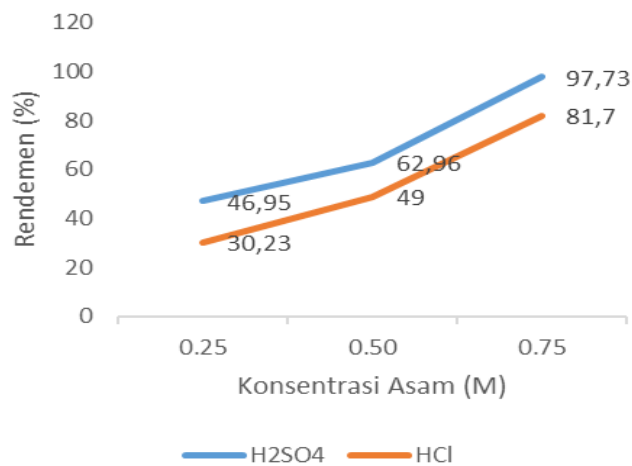
Gambar 1. Bentuk Morfologi (a) Debu Filter (b) Hasil *Leaching* ZnO (Oustadakis, 2010) (c) Hasil *Leaching* dengan H_2SO_4 dan (d) Hasil *Leaching* dengan HCl

Tabel 2. Hasil Ekstraksi Debu Filter Proses Pembuatan Baja dengan Pelarut H₂SO₄

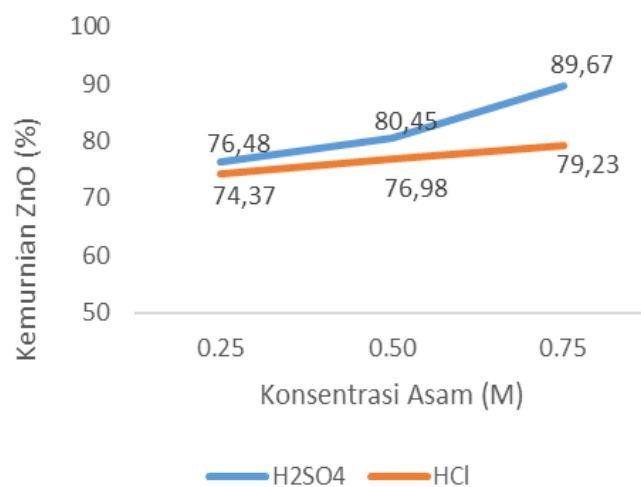
Konsentrasi H ₂ SO ₄	Padatan yang Diperoleh Hasil Ekstraksi	Kemurnian ZnO	Rendemen
0,25 M	8,23 g	76,48 %	46,95%
0,50 M	10,49 g	80,45 %	62,96%
0,75 M	14,61 g	89,67 %	97,73%

Tabel 3. Hasil ekstraksi debu filter proses pembuatan baja dengan pelarut HCl

Konsentrasi HCl	Padatan yang diperoleh hasil ekstraksi	Kemurnian ZnO	Rendemen
0,25 M	5,45 g	74,37 %	30,23%
0,50 M	8,53 g	76,98 %	49,00%
0,75 M	13,82 g	79,23 %	81,70%



Gambar 2. Grafik Kemurnian ZnO dengan Pelarut HCl dan H₂SO₄



Gambar 3. Grafik Rendemen Hasil Ekstraksi dengan Pelarut HCl dan H₂SO₄

Tabel 4. Hasil Analisis Komposisi Ekstrak ZnO

Parameter	H ₂ SO ₄			HCl		
	0,25 M	0,50 M	0,75 M	0,25 M	0,50 M	0,75 M
ZnO	76,42%	80,18%	88,84%	74,32%	76,65%	78,63%
MgO	6,24%	2,33%	1,72%	3,46%	2,56%	2,18%
Na ₂ O	4,26%	4,89%	1,32%	4,26%	3,8%	2,04%
SO ₃	1,02%	1,108%	1,86%	0,5%	0,5%	0,4%
CaO	1,2%	1,25%	1,39%	9,27%	8,56%	6,48%
Cl			0,58%	1,36%	1,39%	1,16%

Gambar 2, menunjukkan bahwa konsentrasi berbanding lurus dengan hasil kemurnian, semakin tinggi konsentrasi yang digunakan, semakin tinggi pula kemurnian yang didapatkan. Kemurnian yang didapat, belum memenuhi baku mutu standar seng oksida jika hendak digunakan untuk rubber, baik pada proses pelarutan dengan asam sulfat maupun asam klorida.

Gambar 3, dapat dilihat bahwa konsentrasi pelarut berbanding lurus dengan rendemen yang diperoleh. Semakin tinggi konsentrasi pelarut yang digunakan, semakin tinggi juga rendemen yang dihasilkan. Apabila melihat Gambar 2 dan Gambar 3, apabila konsentrasi dinaikan lagi, kecenderungan kenaikan kemurnian maupun rendemen tidak akan terlalu signifikan, kecuali apabila dilakukan isolasi ZnO dari zat lain yang ikut terendapkan.

Gambar 2 dan Gambar 3 juga menyajikan bahwa, kemampuan H₂SO₄ lebih baik dari pada HCl dalam melarutkan ZnO. Kemampuan yang dimiliki H₂SO₄ ini dikarenakan oleh perbedaan tingkat keasaman antara HCl dan H₂SO₄ dalam konsentrasi yang sama. Perbedaan tingkat keasaman akan sangat berpengaruh terhadap hasil kali kelarutan (K_{sp}) ZnO. Semakin rendah pH suatu larutan, maka banyaknya ion Zn²⁺ yang terlarut akan semakin banyak. Jika diendapkan dengan bantuan natrium karbonat, akan semakin banyak pula endapannya. H₂SO₄ merupakan asam berbasas dua yang mempunyai dua ion H⁺. Keberadaan ion H⁺ ini yang menyebabkan kekuatan asam semakin tinggi.

Tingkat kemurnian hasil ekstraksi dipengaruhi oleh adanya senyawa lain yang ikut terekstrak bersama ZnO, baik itu dari bahan awalnya (debu filter) atau dari pe-nambahan beberapa bahan kimia pada saat pengendapan ion Fe dan Zn. Adapun data komposisi hasil ekstraksi ZnO yang dianalisis menggunakan XRF dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, dapat kita lihat bahwa adanya senyawa lain yang ikut terekstrak seperti MgO dan CaO yang berasal dari debu filter, menyebabkan kemurnian ZnO semakin kecil, MgO dan CaO adalah logam yang dapat larut dalam asam dan dapat mengendap dengan basa. Selain itu, adanya penambahan NaCO₃ untuk proses pengendapan ZnCO₃, menyebabkan oksida logam tersebut ikut serta dalam hasil ekstraksi.

KESIMPULAN

ZnO dari debu filter pada proses pembuatan baja dapat dipisahkan dengan cara ekstraksi padat cair menggunakan asam sulfat dan asam klorida. Asam sulfat memberikan kemurnian lebih baik pada konsentrasi yang sama dibandingkan dengan asam klorida yaitu pada konsentrasi 0,75M dengan perolehan kemurnian 89,67% dan rendemen 97,73%.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 1999. *Standard Classification for Rubber Compounding Materials-Zinc Oxide*. ASTM D 4295. USA.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. *Seng Oksida*. (SNI 0085 : 2009). Jakarta.
- Calbeck, J.H. 1952. *United States Patent: Production of Zinc Oxide*. Patent No. 2,603,554. United States.
- Choi, Yeonuk., S. Payant, J. Kim, A. Maria Giove, R. Rao, dan J. Andrew Finch. 2004. *United States Patent: Production of Zinc Oxide from Acid Soluble Ore Using Precipitation Method*. Patent No. 6,726,889 B2. United States.
- Furniss, B.S. 1989. *Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry 5th Edition*. Thames Polytechnic. London.
- Guillaume, P.C., Devos, G.G., dan Rous, J.L. 2008. *Recycling Residues into Metals*. Millenium Steel. London. United Kingdom.
- Havlik, Tomas, Bernd Friedrich, Srecko Stopic. 2004. Pressure Leaching of EAF Dust with Sulphric Acid. World of Metallurgy. *Erzmetall*. Vol 57 (2) : 1-8.
- Hyman, Mark. 1989. *Evidentiary Certificate on Zinc Ash*. Diakses 28 Mei 2013. <http://environment.gov.au/settlements/chemicals/hazardous-waste/publications-evidentiary-zinc-ash.html>
- Juergen, R. 2007. *Application of Waelz Technology on Resources: Recycling of Steel Mill Dust*. Metallurgisches Seminar, Heft XYZ der Schriftenreihe der GDMB. Leoben. Germany
- Kui Xia. 1997. Recovery of Zinc from Zinc Ferrite and Electric Arc Furnace Dust. *Thesis*. Queen's University Kingston Ontario. Canada.
- Langova S. dan D. Matysek. 2010. Zinc recovery from steel-making wastes by acid pressure leaching and hematite precipitation. *Elsevier*. 101: 171 – 173.
- Outstadakis P. 2010. Hydrometallurgical Process for Zinc Recovery from Electric Arc Furnace Dust (EAFD). Department of Mining and Metallurgical Engineering. *Journal of Hazardous Materials*.
- Pan-Continental Chemical Co., Ltd. Active Zinc Oxide. Diakses 28 Mei 2014. <http://www.pcc-chemical.com/>
- Rosenqvist, Terkel. 2004. *Extractive Metallurgy*. Jilid II. Tapir Academic Press. Norwegia
- Wannakamb, Sirinart,S. Manuskijamrun, W. Buggakupta. 2013. The Use of Electric Arc Furnace Dust from Steel Recycling in Ceramic Glaze. Suranaree. *J. Sci. Technol*. 20 (4): 329-337.
- Yoshida, Takashi. 2003. Leaching of Zinc Oxide in Acidic Solution. The Japan Institute of Metals. *Journal of Material Transactions*. 44: 2489-2493.