

PEROLEHAN KEMBALI SENG DARI LIMBAH INDUSTRI GALVANIS SEBAGAI SENG ASETAT

(ZINC RECOVERY FROM WASTE OF GALVANIZED INDUSTRY TO PRODUCE ZINC ACETATE)

Siti Agustina^{1,2}, Nastiti Siswi Indrasti², Suprihatin², dan Nurul Taufiqu Rochman³

¹Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian RI
Jl. Balai Kimia I Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor, Bogor

³Pusat Penelitian Metalurgi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

E-mail : tinaratujaya@yahoo.com

Received : 10 Maret 2014; revised : 11 April 2014 ; accepted : 14 April 2014

ABSTRAK

Seng *dross* merupakan hasil samping dari industri pelapisan logam (galvanis) dengan proses *hot-dip* dan mempunyai kandungan seng yang cukup tinggi. Hasil samping ini dapat digunakan sebagai bahan baku seng asetat. Seng asetat digunakan sebagai bahan tambahan makanan, suplemen, obat-obatan, *precursor*, dan pelega tenggorokan. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kembali seng dari seng *dross* untuk menghasilkan seng asetat. Seng asetat tersebut akan digunakan sebagai *precursor*. Proses ekstraksi seng *dross* dilakukan dengan asam asetat glasial pada kondisi proses, yaitu waktu ekstraksi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam, suhu ekstraksi 130 °C, 150 °C, dan 170 °C, serta konsentrasi asam asetat glasial 20%, 40%, dan 60%. Hasil ekstraksi berupa seng asetat dianalisis untuk mengetahui kadar seng dan karakteristik kristal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi proses ekstraksi yang terbaik diperoleh pada suhu 130 °C, konsentrasi asam asetat glasial sebesar 60%, dan waktu proses ekstraksi selama 1 jam. Seng asetat yang diperoleh mengandung 75,39% seng dan kristal seng asetat mempunyai intensitas 5800 *counts*.

Kata kunci : Industri pelapisan logam, Seng *dross*, Perolehan kembali seng, Ekstraksi seng, Seng asetat

ABSTRACT

Zinc *dross* is one of by products from galvanized metal industry using *hot-dip* process. It contains high concentration of zinc. This by product can be converted into zinc acetate that can be used for various purposes, such as food additive, supplement, precursors, medicines, and throat lozenge. This research aimed to study the zinc recovery from zinc *dross*. It can be use as precursor. The recovered zinc was then used to produce zinc acetate. The zinc extraction process was conducted under various operating conditions, covering extraction times of 1 hour, 2 hour, and 3 hour, extraction temperature of 130 °C, 150 °C, and 170 °C, and glacial acetic acid concentration of 20%, 40%, and 60%. Zinc content and the characteristics of zinc acetate crystal were used as parameters for evaluation of the extraction process condition. Research results showed that the best condition for extraction process was identified at a temperature of 130 °C, a glacial acetic acid concentration of 60% and an extraction time of 1 hour. The produced zinc acetate has a zinc concentration of 75.39% and an intensity of 5800 *counts*.

Key words : Galvanized metal industry, Zinc *dross*, Zinc recovery, Zinc extraction, Zinc acetate

PENDAHULUAN

Industri galvanis semakin berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan produk industri berbahan baku logam. Industri berbahan baku logam (misalnya seng) umumnya melibatkan proses pelapisan

untuk mencegah terjadinya korosi (Sugiyarto dan Suyanti 2010). Jenis produk industri galvanis diantaranya adalah bahan konstruksi, perkakas elektronik, bahan transportasi, dan baja ringan untuk perumahan. Industri galvanis

dengan metode *hot-dip* menghasilkan produk utama berupa bahan besi yang dilapisi seng. Industri ini juga menghasilkan limbah industri, berupa abu seng dan seng *dross*. Abu seng mengandung seng dan besi yang berasal dari endapan pada proses pelapisan logam, sedangkan seng *dross* mengandung seng berupa partikel yang mengapung pada bak proses pelapisan seng. Seng *dross* mengandung kadar seng 90% sampai dengan 98% (Peter *et al.* 2011).

Industri galvanis menghasilkan seng *dross* sebanyak 10% sampai dengan 25% dari jumlah seng yang digunakan dalam pelapisan logam tersebut (Rao 2006, Prasad 2008). Produksi bersih dapat diterapkan untuk industri galvanis sistem *hot-dip*, misalnya melalui proses perolehan kembali seng dari seng *dross*. Berbagai keuntungan dapat diperoleh dari penerapan pendekatan ini, antara lain mengurangi biaya produksi, mengurangi limbah yang dihasilkan, dan meningkatkan produktivitas (Indrasti dan Fauzi 2009). Hasil samping dari industri galvanis berupa seng asetat dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, misalnya sebagai bahan tambahan makanan, suplemen, obat-obatan, *precursor*, dan pelega tenggorokan (Gang and Rob 2010).

Perolehan kembali logam seng dapat dilakukan melalui proses pirometalurgi atau proses hidrometalurgi. Kedua proses tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelemahan utama dari proses pirometalurgi adalah energi yang dibutuhkan tinggi, membutuhkan alat pengumpul debu (*electric precipitator*), dan sistem pembersih gas. Keberadaan garam-garam klorida dan fluorida menyebabkan korosi. Proses hidrometalurgi lebih ramah lingkungan dan ekonomis, terutama untuk perolehan kembali seng dalam skala kecil (Rao 2006). Proses hidrometalurgi efektif dan fleksibel tergantung pada sifat dan komposisi bahan. Proses hidrometalurgi dapat menggunakan berbagai jenis bahan kimia, misalnya asam sulfat (Barakat 1999, Langova 2010, Ligiane *et al.* 2007, Drovak 2005), asam fopinik (Ali *et al.* 2006), amonium klorida (Ren *et al.* 2010), tributil fosfat (Carrera *et al.* 2008), atau asam klorida (Sugiyarto dan Suyanti 2010). Proses perolehan seng melibatkan tahapan proses pengendapan, pertukaran ion atau ekstraksi pelarut, dan elektrolisis atau kristalisasi (Jha *et al.* 2000). Faktor yang mempengaruhi proses ini adalah pH, laju pengadukan, dan suhu (Ren *et al.* 2010).

Dibandingkan dengan logam lainnya, logam seng memiliki banyak keunggulan, antara lain memiliki daya energi tinggi, bisa didaur

ulang, aman, dan tidak menyisakan emisi. Selain dapat digunakan untuk pelapisan logam, seng juga dapat digunakan dalam berbagai jenis industri, seperti industri karet, kosmetik, obat-obatan, pelapis lantai, plastik, percetakan, tinta, baterai, tekstil, peralatan listrik, bahan kimia, *solder*, cat, dan industri pertanian (Widowati dkk 2008). Logam seng bersifat relatif lunak dan sangat reaktif terhadap asam untuk menghasilkan garam seng. Sebagian besar garam seng dapat larut dalam air (Sugiyarto dan Suyanti 2010). Seng asetat merupakan garam seng yang dapat larut di dalam air dan di dalam alkohol. Seng asetat dapat digunakan sebagai bahan tambahan makanan (*food supplement*) untuk peternakan sapi perah (Putra 2006), bahan obat-obatan untuk penderita diare (Suryani 2008), bahan suplemen untuk penderita *Tuberculosis (TBC)* (Yulianti 2006), bahan pelega tenggorokan (Widowati dkk 2008), *precursor* untuk menghasilkan nano seng oksida (Akwalia 2011).

Pada penelitian ini bertujuan untuk *recovery* seng dari limbah industri galvanis (seng *dross*) untuk dibuat menjadi seng asetat. Seng asetat tersebut akan digunakan sebagai *precursor*. Dengan penelitian ini diharapkan seng *dross* yang selama ini diekspor ke negara lain dapat dimanfaatkan untuk pembuatan seng asetat, sehingga dapat memenuhi kebutuhan seng asetat dalam negeri yang selama ini masih impor.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi seng *dross* dari hasil samping industri galvanis dengan proses *hot-dip* dari kawasan Cikarang, asam asetat glasial (Merck), asam nitrat (Merck), larutan standar seng, seng asetat (Merck), akuades, dan bahan kimia untuk analisis.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengecil partikel (*crusher*), gunting, saringan, peralatan gelas, oven, pemanas listrik, *magnetic stirrer*, pendingin tegak, *stopwatch*, neraca analitik, pengaduk, termometer, saringan *gooch*, *Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*.

Metode

Penelitian dilakukan dalam 3 tahap, yaitu tahap pengecilan seng *dross*, tahap proses ekstraksi, dan tahap analisa hasil

Tahap Pengecilan Partikel

Seng *dross* dipanaskan menjadi bentuk lempengan, kemudian lempengan digunting, dan selanjutnya seng dikecilkan ukurannya, sehingga menghasilkan partikel kecil berukuran 100 mesh. Serbuk seng kemudian disaring untuk memperoleh ukuran partikel seragam.

Tahap Proses Ekstraksi.

Partikel seng *dross* diekstraksi dengan asam asetat glasial melalui pemanasan menggunakan sistem pendingin tegak. Pada proses ini digunakan beberapa variabel, yaitu waktu ekstraksi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam, suhu ekstraksi 130 °C, 150 °C, dan 170 °C, serta konsentrasi asam asetat glasial 20%, 40%, dan 60%. Hasil ekstraksi yang diperoleh dipisahkan antara endapan kristal yang terbentuk dan cairan dengan cara penyaringan.

Tahap Analisis Hasil Ekstraksi

Kristal seng asetat yang terbentuk dianalisis dengan menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi seng yang terdapat di dalam kristal seng asetat. Selain itu, kristal seng asetat dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi kristal seng asetat yang terbentuk. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Lingkungan Balai Besar Kimia dan Kemasan.

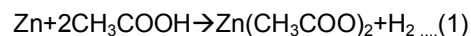
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Seng *Dross*

Seng *dross* yang merupakan hasil samping dari industri galvanis dengan sistem *hot-dip* dianalisis terlebih dahulu dengan menggunakan AAS untuk mengetahui kandungan logam yang terdapat di dalam seng *dross*. Hasil analisis seng *dross* dapat dilihat pada Tabel 1. Terlihat pada tabel tersebut bahwa kandungan seng dalam seng *dross* mencapai 96,57%. Kadar Pb dan Fe masing-masing 1,98% dan 2,04%. Kadar logam-logam lain seperti Cd, Al, Ni, Bi, dan Sn tidak signifikan. Selanjutnya partikel seng *dross* dianalisis dengan menggunakan XRD, yang bertujuan untuk mengetahui kristalinitas seng *dross*. Hasil analisis dengan XRD disajikan pada Gambar 1. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa seng *dross* mempunyai kandungan seng yang cukup tinggi dan kristalnya dalam bentuk *hexagonal*. Pada Gambar 1 terlihat seng *dross* mempunyai derajat 2 theta pada posisi 36°, 38°, 43°, 54°, 70°, dan 78°. Intensitas seng *dross* adalah sebesar 620 *counts*.

Proses Ekstraksi Seng *Dross* dengan Asam Asetat Glasial

Proses ekstraksi seng *dross* dengan asam asetat glasial menghasilkan garam seng berupa seng asetat dan gas hidrogen sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Tingkat perolehan seng asetat, dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, waktu, pH, dan konsentrasi (Barakat 1999, Ligiane *et al.* 2007). Pada proses ekstraksi seng *dross* dan asam asetat glasial dapat menghasilkan kristal seng asetat atau tidak, tergantung pada suhu, waktu, dan konsentrasi asam asetat glasial yang diterapkan. Pada kondisi tertentu reaksi dapat menghasilkan seng asetat berbentuk kristal, pada kondisi lain tidak dapat menghasilkan seng asetat dalam bentuk kristal.

Pada kondisi ini seng asetat berada dalam bentuk larutan. Kondisi proses ekstraksi seng *dross* dan asam asetat glasial yang menghasilkan seng asetat berbentuk kristal dapat dilihat pada Tabel 2.

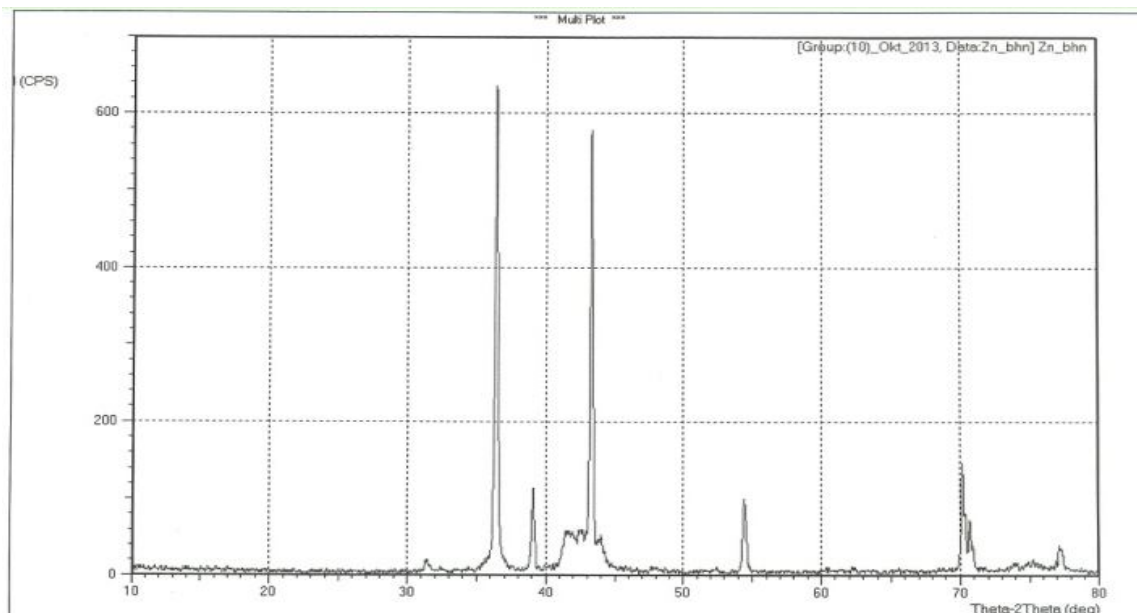
Tabel 2 menunjukkan bahwa pada kondisi proses ekstraksi seng *dross* dengan asam asetat glasial pada konsentrasi asam asetat glasial 20% baik pada suhu 130 °C, 150 °C, atau 170 °C dengan waktu proses 1 jam, 2 jam, dan 3 jam tidak menghasilkan seng asetat dalam bentuk kristal. Demikian juga kondisi proses pada konsentrasi asam asetat 40% pada suhu 130 °C, 150 °C, dan 170 °C dengan waktu proses 1 jam juga tidak menghasilkan seng asetat yang berbentuk kristal. Hal ini disebabkan oleh karena pada konsentrasi asam asetat 20% dan 40% dengan waktu proses 1 jam tidak mencukupi untuk terbentuknya kristal seng asetat dan seng asetat masih dalam bentuk larutan.

Tabel 1. Kadar berbagai jenis logam dalam seng *dross*

No	Jenis logam	Satuan (%)
1	Pb	1,98
2	Cd	<0,001
3	Fe	2,04
4	Al	<0,001
5	Ni	<0,01
6	Bi	<0,001
7	Sn	<0,01
8	Zn	96,57

Hasil analisis kandungan kadar seng dalam seng asetat pada proses ekstraksi pada suhu 130 °C dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kandungan seng dalam seng asetat yang tertinggi adalah kondisi proses ekstraksi dengan konsentrasi asam asetat glasial 60% dan waktu proses selama 1 jam. Proses pada kondisi tersebut menghasilkan seng asetat dengan kandungan seng dalam mencapai 75,39%.

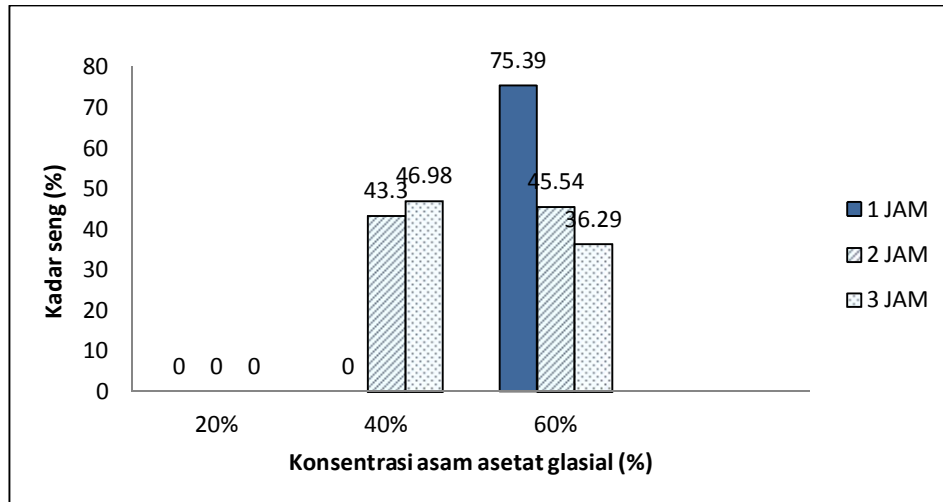
Hasil analisis kandungan kadar seng dalam seng asetat pada kondisi proses ekstraksi suhu 150 °C dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 tersebut menunjukkan bahwa kandungan kadar seng dalam seng asetat yang tertinggi adalah pada konsentrasi asam asetat glasial 60% dan waktu proses selama 3 jam, yaitu sebesar 68,14%.



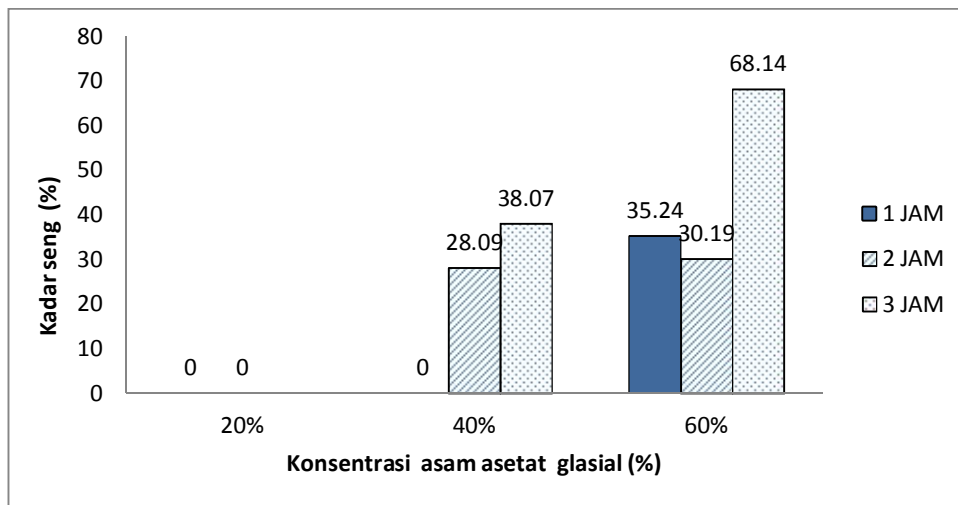
Gambar 1. Hasil analisis XRD pada seng *dross*

Tabel 2. Bentuk seng asetat yang dihasilkan dari proses ekstraksi seng *dross* dan asam asetat glasial

Suhu (°C)	Waktu (jam)	Konsentrasi asam asetat (%)		
		20	40	60
130	1	Tidak mengkristal	Tidak mengkristal	Kristal
	2	Tidak mengkristal	Kristal	Kristal
	3	Tidak mengkristal	Kristal	Kristal
150	1	Tidak mengkristal	Tidak mengkristal	Kristal
	2	Tidak mengkristal	Kristal	Kristal
	3	Tidak mengkristal	Kristal	Kristal
170	1	Tidak mengkristal	Tidak mengkristal	Kristal
	2	Tidak mengkristal	Kristal	Kristal
	3	Tidak mengkristal	Kristal	Kristal



Gambar 2. Kadar seng hasil ekstraksi pada suhu 130 °C dan berbagai konsentrasi asam asetat glasial dan waktu ekstraksi



Gambar 3. Kadar seng hasil ekstraksi pada suhu 150 °C dan berbagai konsentrasi asam asetat dan waktu ekstraksi

Hasil analisis kandungan seng dalam seng asetat pada proses ekstraksi dengan suhu 170 °C dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kandungan kadar seng dalam seng asetat yang tertinggi pada proses ekstraksi dengan konsentrasi asam asetat 60% dengan waktu proses selama 1 jam, yaitu sebesar 49,63%. Berdasarkan data diatas diketahui bahwa kondisi proses yang terbaik untuk perolehan kembali seng dari seng *dross* adalah pada suhu 130 °C, konsentrasi asam asetat glasial 60%, dan waktu ekstraksi selama 1 jam. Pada kondisi ini proses akan

menghasilkan seng asetat yang mempunyai kandungan kadar seng sebesar 75,39%.

Proses ekstraksi logam seng dan larutan asam asetat glasial menghasilkan seng asetat berbentuk kristal. Proses ini mempunyai beberapa tahapan. Tahap pertama adalah logam seng larut dalam larutan asam asetat glasial menjadi larutan seng asetat, ini terjadi pada konsentrasi asam asetat glasial 20% dan suhu 130 °C, 150 °C dan 170 °C selama 1 jam. Tahap kedua adalah dengan penambahan waktu proses selama 2 jam dan 3 jam serta penambahan konsentrasi larutan asam asetat glasial yaitu sebesar 40% dan 60%,

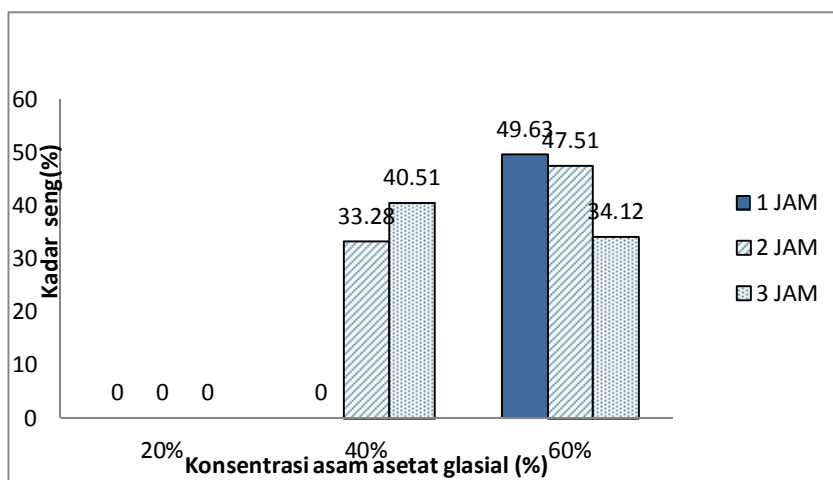
mengakibatkan larutan seng asetat melampaui kesetimbangan larutannya, sehingga larutan seng asetat menjadi larutan sangat jenuh (supersaturasi). Kondisi supersaturasi adalah kondisi dimana konsentrasi padatan dalam larutan melebihi konsentrasi jenuh larutan tersebut (Fachry *et al.* 2008). Tahap ketiga adalah proses kristalisasi, pada tahap ini larutan super jenuh (supersaturasi) seng asetat membentuk inti-inti kristal seng asetat. Pembentukan inti-inti kristal ini dipengaruhi oleh pengadukan dan sirkulasi ulang dari larutan, sehingga kristalnya tumbuh menjadi banyak. Menurut Fachry (2008) pembentukan inti kristal yang terjadi secara spontan disebabkan karena tercapainya kondisi supersaturasi disebut pembentukan inti kristal homogen. Pembentukan

ini dipengaruhi oleh pengadukan, *mechanical shock*, friksi, dan tekanan ekstrem.

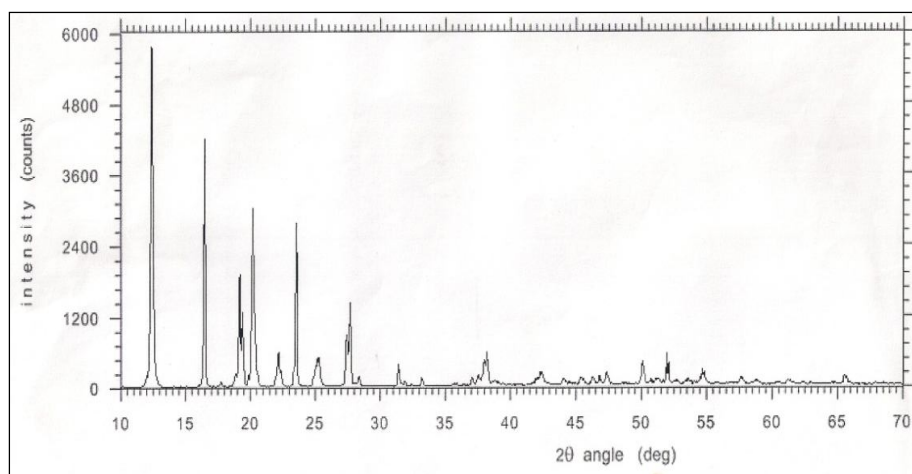
Karakterisasi Kristal Seng Asetat

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan hasil karakterisasi kristal seng asetat hasil penelitian dan seng asetat komersial dengan menggunakan XRD. Gambar 5 menunjukkan kristal seng asetat hasil penelitian, mempunyai posisi derajat 2 theta pada 12°, 16°, 20°, 22°, dan 25°. Intensitas sebesar = 5800 counts.

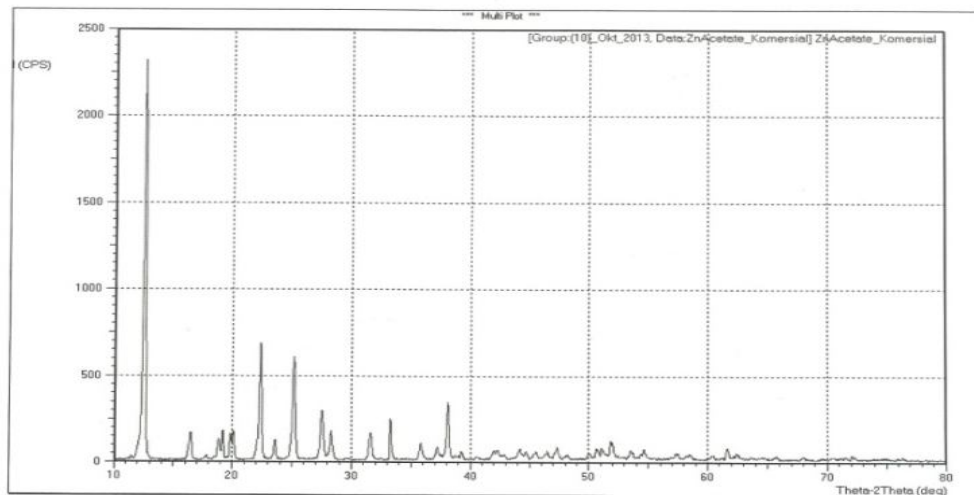
Gambar 6 merupakan hasil karakterisasi kristal seng asetat komersial, mempunyai posisi derajat 2 theta pada 12°, 16°, 19°, 20°, 22°, dan 25°. Intensitas sebesar = 2350 counts.



Gambar 4. Kadar seng hasil ekstraksi pada suhu 170 °C dan berbagai konsentrasi asam asetat glasial dan waktu ekstraksi



Gambar 5. Hasil analisis XRD seng asetat hasil penelitian



Gambar 6. Hasil analisis XRD seng asetat komersial

Berdasarkan data diatas menunjukkan bahwa seng asetat hasil penelitian dan seng asetat komersial mempunyai derajat 2 theta yang sama, tetapi seng asetat hasil penelitian mempunyai intensitas lebih tinggi dibandingkan dengan seng asetat komersial. Ini menunjukkan seng asetat hasil penelitian lebih banyak jumlah sinar yang didifraksikan.

KESIMPULAN

Industri galvanis dengan proses *hot-dip* menghasilkan produk samping berupa seng *dross* yang mengandung seng hingga 96,57%. Seng tersebut dapat dimanfaatkan untuk pembuatan seng asetat dengan menggunakan proses hidrometalurgi, melalui tahapan proses ekstraksi dengan pelarut asam asetat glasial. Kondisi proses terbaik teridentifikasi pada suhu 130 °C, konsentrasi asam asetat glasial 60%, dan waktu reaksi selama 1 jam. Pada kondisi tersebut dapat dihasilkan seng asetat dengan kadar seng 75,39%. Analisis XRD kristal dari seng asetat yang dihasilkan penelitian ini mempunyai intensitas 5800 counts, lebih tinggi dibandingkan dengan intensitas seng asetat komersial yang hanya 2350 counts. Seng asetat hasil penelitian ini dapat diteliti lebih lanjut untuk mendukung pengembangan agroindustri, seperti sebagai bahan tambahan makanan (*supplement*) peternakan sapi atau sebagai *precursor* nano seng oksida sebagai bahan kemasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akwalia, P. R. 2011. *Sintesis dan karakterisasi nano partikel zinc oxide dengan menggunakan metode sol-gel berdasarkan pH*. Skripsi. Departemen Fisika. Fakultas Sains and Teknologi. Universitas Airlangga, Surabaya. Indonesia
- Ali, A. M. I., I. M. Ahmad, and J. A. Doud. 2006. Cyanex 272 for extraction and recovery of zinc from aqueous wave solution using a mixer settler unit. *Journal separation and purification technology* 47 : 135-140.
- Barakat, M. A. 1999. Recovery of metal values from zinc solder *dross*. *Journal waste management* 19 : 503-507.
- Carrera, J. A., E. Bringas, M. F. San Roman, and I. Ortiz. 2009. Selective membrane alternative to the recovery of zinc from hot-dip galvanizing effluents. *Journal of membrane science* 326 (2) : 672-680.
- Dvorak, P. and J. Jandova. 2005. Hydrometallurgical recovery of zinc from hot dip galvanizing ash. *Journal hydrometallurgy* 77 (1-2) : 29-33.
- Fachry, A. R., J. Tumanggor, dan N. P. E. Yuni. 2008. Pengaruh waktu kristalisasi dengan proses pendinginan terhadap pertumbuhan kristal amonium sulfat dari larutannya. *Jurnal Teknik Kimia* 15 (2) : 9-16.
- Gang, K. and W. Rob. 2010. Toward cleaner production of hot dip galvanizing

- industry in China. *Journal of cleaner production* 18 : 1092-1099.
- Indrasti, N. Siswi, dan M. A. Fauzi. 2009. *Produksi bersih*. Bogor : IPB Press.
- Jha, M. K., V. Kumar, and R. J. Singh. 2000. Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes. *Journal resources, conservation & recycling* 33 : 1-22.
- Ligiane, R., Morais, and A. Carlos. 2007. Recovery of zinc and cadmium from industrial waste by leaching/cementation. *Journal minerals engineering* 20 (9) : 956-958.
- Maaß, P., P. Peißker, and C. Ahner. 2011. *Hand book of hot dip galvanization*. London: John Wiley&Sons.
- Putra, S. 2006. Perbaikan mutu pakan yang disuplementasi seng asetat dalam upaya meningkatkan populasi bakteri dalam protein mikroba di dalam rumen, pencernaan, bahan kering, dan nutrisi ransum sapi bali bunting. *Majalah peternakan* 9 (1).
- Rao, S. 2006. Resources recovery and recycling from metallurgical wastes. *Journal waste management* 7: 1-557.
- Ren, X., Q. Wei, S. Hu, and S. Wei. 2010. The recovery of zinc from hot galvanizing slag in an-exchange membrane electrolysis reactor. *Journal of hazardous materials* 181 (1-3) : 908-914.
- Sanjay, P. 2008. Zinc dross problem in galvanising and its use to produce electrolytic zinc powder. In : *International Seminar on Coated Steels (ISCS-2008) : Prospect, Problem and Potential of Coated Steels*. Jamshedpur
- Sarka, L. and D. Matysek. 2010. Zinc recovery from steel-making wastes by acid pressure leaching and hematite precipitation. *Journal hydrometallurgy* 10 (3-4) : 171-173.
- Sugiyarto, K.H. dan R.D. Suyanti. 2010. *Kimia anorganik logam*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Suryani, R.D. dan A. Rosalina. 2008. Perbandingan kadar seng plasma diare akut gizi baik dan gizi buruk anak usia 6 bulan – 2 tahun. *Sari pediatric* 10 (3).
- Techobanoglous, G., T. Hillary, and A. V. Samuel. 1993. *Integrated solid waste management*. New York : Mc Graw Hill.
- Widowati, W., A. Sastiono, dan R. Jusuf. 2008. *Efek toksik logam*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Yulianti, S. R. 2006. Efek suplementasi ion zinc pada pengobatan tuberculosis paru terhadap perubahan P 100 latensi vep. Tesis. Departemen Mata. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Depok. Indonesia.