

Daur Ulang Timbal (Pb) Dari Aki Bekas Dengan Menggunakan Metode Redoks

A. P. Bayuseno, Yusuf Umardani, Demas YogoPranoto

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Kampus Undip Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

Phone: +62-24-7460059, FAX: +62-24-7460058,

Abstrak

Aki merupakan komponen utama penyedia energi listrik pada kendaraan bermotor. Sampai saat ini komponen utamanya masih terbuat dari logam timbal (Pb). Tujuan utama dari daur ulang aki adalah untuk mengambil logam timbal. Teknologi yang digunakan juga bermacam-macam dari yang sangat sederhana hingga teknologi tinggi, tetapi pada dasarnya logam timbal dipisahkan dengan cara proses reduksi-oksidasi.

Pada penelitian ini sel aki dilebur pada suhu 450 °C, 500 °C dan 550 °C. Sedangkan aki yang digunakan adalah aki sepeda motor yang sudah tidak terpakai lagi. Sementara pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kualitas dan massa timbal hasil daur ulang. Adapun pengujian yang dilakukan meliputi pengujian komposisi dan kekerasan. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa pada suhu 450 °C menghasilkan timbal 363,392 gram, suhu 500 °C menghasilkan timbal 392,122 gram dan 385,642 gram pada suhu 550 °C. Sedangkan komposisi timbal daur ulang 91,166 % sampai dengan 92,334 % dan angka kekerasan HB 5,326 sampai dengan 6,161.

Kata kunci : Aki, Timbal (Pb), Redoks, Komposisi Timbal, Angka kekerasan HB

1. PENDAHULUAN

Aki merupakan salah satu komponen pendukung dalam kendaraan bermotor. Aki berfungsi sebagai komponen pencatu daya dalam kendaraan bermotor. Sampai saat ini komponen utamanya masih terbuat dari logam timbal (Pb).

Saat ini perkembangan industri otomotif meningkat tajam dan hal ini juga mempengaruhi perkembangan industri komponen pendukung seperti industri aki sebagai komponen pencatu daya pada kendaraan bermotor. Dengan semakin meningkatnya industri aki maka kebutuhan akan timbal (Pb) sendiri sebagai bahan baku utama industri aki juga meningkat tajam. Sedangkan saat ini sebagian besar timbal masih diperoleh dengan jalan penambangan langsung dari alam yang membutuhkan proses pengolahan lebih kompleks. Di satu sisi bahan

limbah aki juga banyak ditemukan di beberapa industri. Oleh karena itu, diperlukan suatu alternatif untuk memperoleh timbal (Pb) dengan proses yang lebih mudah dan sederhana.

Salah satu jalan adalah dengan mendaur ulang timbal (Pb) dari aki bekas yang sudah tidak terpakai. Hal ini juga memiliki keunggulan karena disamping dapat memenuhi timbal (Pb) dengan proses produksi yang lebih mudah tetapi juga dapat mengurangi pencemaran tanah yang berbahaya akibat penimbunan sampah aki bekas. Metode daur ulang yang dapat digunakan adalah metode daur ulang aki bekas dengan menggunakan proses redoks (reduksi-oksidasi). Metode ini memiliki keunggulan bila dibandingkan metode lainnya, yaitu teknologi yang digunakan relatif sederhana dengan peralatan yang tidak terlalu kompleks sehingga biaya yang dikeluarkan jauh

lebih murah dan bisa diterapkan pada industri skala kecil dan menengah.

2. DASAR TEORI

2.1 Aki

Accumulator atau sering disebut aki, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan aki untuk dapat menghidupkan mesin mobil (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). Aki mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik. Di pasaran saat ini sangat beragam jumlah dan jenis aki yang dapat ditemui.

Jenis aki yang umum digunakan adalah *accumulator* timbal. Secara fisik aki ini terdiri dari dua kumpulan pelat yang dimasukkan pada larutan asam sulfat encer (H_2SO_4). Larutan elektrolit itu ditempatkan pada wadah atau bejana aki yang terbuat dari bahan ebonit atau gelas. Kedua belah pelat terbuat dari timbal (Pb), dan ketika pertama kali dimuati maka akan terbentuk lapisan timbal dioksida (PbO_2) pada pelat positif. Letak pelat positif dan negatif sangat berdekatan tetapi dibuat untuk tidak saling menyentuh dengan adanya lapisan pemisah yang berfungsi sebagai isolator (bahan penyekat). [Ref.7 hal. 1-2]

2.2 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) adalah satu dari tujuh logam pada jaman kuno, merupakan rekor penemuan yang paling tua. Pada saat dahulu, inti Pb telah dinilai sebagai sebuah mata cat dan material ornamental, dan lebih dekat diketahui artifak Pb, ditemukan di Turki pada tahun 6500 SM. Simbol kimia untuk timbal, Pb, berasal dari bahasa latin, *Plumbum*. Timbal sangat lembut, termasuk logam dengan titik leleh rendah, padat pada temperatur ruang/kamar dan dikenal dengan warna perak abu-abu, memiliki sifat dapat ditempa dan wajar mempunyai kepadatan tinggi. Timbal meleleh pada suhu $327^\circ C$ dan mendidih pada $1751^\circ C$. Timbal merupakan salah satu jejak elemen di kulit bumi yang keras, dalam arti melimpah hingga ~ 13 ppm, tetapi timbal dapat dihadirkan dalam jumlah yang besar sebagai galena (PbS) ada co-mineral dengan tembaga, perak, emas, seng, timah, arsenic dan antimonium. Inti-inti timbal secara luas didistribusikan dan diproduksi secara komersial di lebih 50 negara, produksi terbesar dilakukan oleh USA, dahulu USSR, Australia, Peru, China dan Kanada. Kira-kira 5 juta ton Pb

diproduksi setiap tahun, bagaimanapun sumber produksi kedua dari Pb menjadi produksi primer yang lebih dominan. Penggunaan utama dari Pb yaitu pada baterai, pigmen dan kimia, bensin antiknock aditif, pembungkus kabel, solder dan aplikasi lainnya. Timbal merupakan logam beracun dan tingkatan tinggi dari emisi dalam lingkungan kota yang merupakan sebuah masalah kesehatan masyarakat, pada umumnya terjadi pada negara berkembang Pada tingkatan tinggi dari ekspose manusia untuk Pb, menghasilkan kerusakan pada hampir semua organ dan sistem organ, yang lebih penting pusat sistem gelisah, ginjal dan darah, sedang pada tingkatan rendah, berpengaruh pada darah sintesis dan proses-proses biokimia lainnya dan *biological* serta lemahnya fungsi neulogikal bersama efek lainnya. [Ref. 10]

2.3 Daur Ulang Timbal

Daur ulang aki ditujukan untuk mengambil logam timbal (Pb) atau disebut juga ingot dan plastik box, untuk dimanfaatkan kembali. Teknologi yang digunakan juga bermacam-macam dari yang sangat sederhana hingga teknologi tinggi, tetapi pada dasarnya logam timah diambil dengan cara reduksi-oksidasi unsur timbal yang ada di dalam.

Timbal merupakan tingkatan paling tinggi daur ulangnya dari semua logam. Karena timbal berlawanan dengan korosi, timbal sisa dapat digunakan untuk daur ulang selama dekade bahkan berabad-abad setelah diproduksi.

Didalam melakukan daur ulang timah dikenal beberapa alternatif teknologi. Pemilihan teknologi ini akan menentukan desain peralatan yang akan dipergunakan. Namun secara umum dalam usaha daur ulang timah dikenal teknologi sebagai berikut:

a. Elektrokimia

Yang dimaksud proses elektrokimia yaitu melakukan leaching segala metal maupun ion Pb menjadi Pb^{2+} selanjutnya dengan proses elektrolisis Pb^{2+} diubah menjadi Pb metal. Proses ini jarang dilakukan oleh industri kecil menengah maupun rumah tangga di Indonesia hal ini dikarenakan biaya investasi serta operasional yang mahal.

b. Metode Redoks

Proses ini menggunakan karbon/arang serta udara sebagai reduktor dan oksidator untuk melelehkan sel aki menjadi timah cair. Suhu diperlukan untuk melelehkan timah sehingga akan terpisah anatar timah

dan pengotor diantaranya sulfur. Suhu operasi terjadi lebih dari 500° C. Proses ini banyak dilakukan di Indonesia, baik dengan teknologi yang sangat sederhana maupun yang sudah maju. [Ref. 16 hal. 171-172]

2.4 Pemeriksaan dan Pengujian Spesimen

Pemeriksaan dan pengujian dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui komposisi timbal dan angka kekerasan dari timbal hasil daur ulang dengan metode redoks.

2.4.1 Pengujian Komposisi Timbal

Pengujian komposisi timbal dengan menggunakan pengujian *X-Ray Fluorination* (XRF). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta. Alat analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) dapat digunakan untuk mengidentifikasi kandungan logam berat baik secara kualitatif ataupun secara kuantitatif dalam sampel lingkungan atau sampel-sampel lainnya yang mempunyai matriks yang sama. Metode ini mempunyai kelebihan dibandingkan lainnya, yaitu dapat digunakan untuk analisis sampel dalam bentuk padatan dan cairan tanpa merusak komposisi sampel (*non destructive method*).

Dasar analisis alat X-Ray Fluorescent ini adalah pencacahan sinar x yang dipancarkan oleh suatu unsur akibat pengisian kembali kekosongan elektron pada orbital yang lebih dekat dengan inti (karena terjadinya eksitasi elektron) oleh elektron yang terletak pada orbital yang lebih luar. Pengisian elektron pada orbital K akan menghasilkan spektrum sinar x deret K I pengisian elektron pada orbital berikutnya menghasilkan spektrum sinar X deret L, deret M, deret N dan seterusnya.

Setiap unsur akan memancarkan sinar-X dengan energi karakteristik. Sifat karakteristik tersebut digunakan untuk analisis kualitatif. Energi sinar-X yang dipancarkan dideteksi dengan detektor penangkap sinar-X kemudian diubah menjadi pulsa-pulsa listrik lalu diperkuat oleh penguat awal dan penguat akhir, sehingga terbentuk sebuah spektrum. Analisis kuantitatif dilakukan dengan cara menginterpolasi intensitas sinar-X suatu unsur pada kurva kalibrasi standar. Zat standar yang digunakan diusahakan mempunyai sifat fisik dan kimia yang mirip dengan sampel.[Ref. 18]

2.4.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan ketahanan suatu material terhadap penetrasi material lain. Kekerasan suatu bahan mempunyai berbagai macam pengertian tergantung pada pengalaman pihak-pihak yang terlibat. Pada umumnya kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam dengan sifat tersebut ketahanannya terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen.

Untuk orang-orang yang berkecimpung dalam mekanika pengujian bahan banyak yang mengartikan kekerasan sebagai ukuran ketahanan terhadap lekukan. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam.

[Ref. 4]

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Pengujian dalam tugas akhir ini dilakukan dalam beberapa tahapan penting, meliputi: menentukan tujuan pengujian, mengumpulkan landasan teori untuk pengujian, menentukan prosedur pengujian, melakukan pengujian dan analisa hasil pengujian. Tahap-tahap pengujian tersebut disusun agar pengujian dapat berjalan secara sistematis.

3.2. Bahan Baku dan Spesimen Penelitian

Bahan baku atau material yang digunakan dalam penelitian ini berupa sel-sel aki bekas yang tidak digunakan lagi. Sel-sel aki yang digunakan bisa berasal dari aki mobil maupun aki pada sepeda motor. Pada pengujian ini kami menggunakan aki sepeda motor

3.3. Alat Penelitian dan Pengujian

3.3.1 Alat Penelitian

a. *Incenerator*/Tungku

Proses peleburan dilakukan didalam *incinerator* dengan suhu pembakaran diatas titik lebur dari logam timbal . *Incenerator* merupakan ruangan tertutup yang tahan panas yang berfungsi sebagai tempat untuk meleburkan sel-sel aki bekas. Selama proses peleburan udara akan dialirkan menuju ke cerobong yang sudah didesain sedemikian rupa.

b. Cetakan

Diperlukan sebuah wadah/cetakan untuk mencetak timbal hasil peleburan sehingga didapatkan spesimen yang diinginkan. Dalam penelitian ini cetakan berbentuk kerucur terpancung yang terbuat dari bahan stainless steel.

c. Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan gas LPG dengan berat 15 kg berjumlah 1 buah.

d. Tempat Peleburan

Berfungsi sebagai tempat sel-sel aki selama proses peleburan. Alat ini diletakkan di dalam tungku/incinerator.

e. *Thermocouple* dan Display

Berfungsi untuk mengetahui suhu peleburan dan suhu ruang. Berjumlah 2 buah. *Thermocouple* diletakkan di dua tempat yaitu satu buah pada tempat peleburan dan lainnya diletakkan di dalam ruangan tungku. Suhu yang terjadi akan muncul di display yang diletakkan di luar tungku.

f. *Blower*

Blower yang digunakan berjumlah satu buah yang berfungsi untuk mengalirkan oksigen ke dalam tungku peleburan sehingga proses pembakaran akan sempurna.

3.3.2 Alat Pengujian

a. Alat Pengujian Kekerasan Timbal

Pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan Brittle n3 Emcotest yang dimiliki Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin UNDIP. Metode ini menggunakan metode metode Brinell bedanya yang digunakan juga untuk material yang lunak dengan nilai kekerasan 4 – 30 HB. Beban dan diameter bola indenter yang diterapkan sama terhadap semua material yaitu 30 Kg dan 2 mm. Setelah pembentukan indenter selanjutnya diukur diameter (d) lekukan dengan mikroskop dan dial indikator dan untuk mengetahui angka kekerasan dihitung dengan rumus Brinell.

b. Alat Pengujian Komposisi Timbal

Metode yang digunakan untuk mengetahui komposisi material yaitu dengan metode analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang dimiliki Laboratorium Kimia Analitik Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta. Komponen utama dari XRF terdiri dari detector, system data dan model ASA merk Canberra. Adapun spesifikasinya adalah sebagai berikut :

Detektor : *Si (Li) Detector System– Canberra*

Si (Li) detector meliputi tingkatan energi antara beberapa ratus eV sampai 50 keV, digunakan dalam berbagai macam variasi aplikasi termasuk x-ray fluorescence, x-ray microanalysis, PIXE, EXAFS, x-ray diffraction dan Mossbauer. Genie 2000 Basic Spectroscopy Software merupakan perlengkapan yang komprehensif untuk data akuisisi, tampilan dan analisis dalam komputer pribadi. Sistem data ini disajikan dengan pendukung independen untuk berbagai macam detektor, kemampuan jaringan kerja yang luas, alat penghubung manusia yang intuitif dan interaktif dan prosedur yang komprehensif. ASA-100 secara penuh mengintegrasikan *Multichannel Analyzer* yang terdiri dari semua yang dibutuhkan untuk mendukung sistem Nal (TI) spektroskopi. Tegangan tinggi, suplai energi preamplifier termasuk dalam hal yang sederhana, dalam papan PCI-bus yang padat dan panjang. Kebutuhan listrik kurang dari 7,5 W. [Ref. 9]

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan proses peleburan aki bekas dengan proses redoks.

3.5 Prosedur Pemeriksaan dan Pengujian

Pemeriksaan dan Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian komposisi timbal dan kekerasan.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Massa Timbal Yang Diperoleh

Proses peleburan sel aki bekas dalam *incinerator* menghasilkan timbal dan sisa peleburan. Sisa peleburan berupa slag (bongkahan), partikel berat (*Bottom Ash*) dan partikel ringan (*Fly Ash*). Massa timbal yang diperoleh setelah peleburan dapat disajikan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil peleburan timbal dari sel aki bekas

Peleburan	Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III
Jenis Aki	Basah - Kering	Basah - Kering	Basah - Kering
Berat Sel aki	2000 gr	2000 gr	2000 gr
Suhu	450° C	500 C	550° C
Hasil Peleburan (gr)			
Slag	1.329,624	1.325,243	1.319,436
Timbal	363,392	392,122	385,642
Bottom Ash	267,334	276,776	287,846
Fly Ash	0,221	0,253	0,321
Sulphuric Acid	39,429	5,606	6,775

Dari tabel diatas, dapat disimpulkan pengaruh suhu terhadap timbal hasil peleburan. Variasi suhu peleburan mempengaruhi jumlah timbal yang didapat, terlihat perbedaan hasil peleburan antara suhu 450° C, 500° C dan 550° C. Hasil peleburan terbanyak didapatkan pada suhu 500° C sebesar 392,122 gram. Sedangkan pada suhu 550° C menunjukkan penurunan hasil peleburan yang diakibatkan oleh suhu yang terlalu panas sehingga mengakibatkan timbal lebih banyak menguap. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan jumlah partikel berat (*bottom ash*) dan partikel ringan (*fly ash*) pada suhu peleburan 500° C, peningkatan tertinggi pada suhu peleburan 550° C. Sehingga dapat disimpulkan massa terbanyak untuk peleburan timbal daur ulang dari aki bekas menggunakan metode redoks adalah pada suhu 500° C.

4.2 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi menggunakan Metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang dilakukan di Laboratorium Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta. Spesimen yang diuji berjumlah 3 buah, masing-masing

spesimen memiliki perbedaan proses produksi dengan variasi suhu peleburan. Spesimen 1 dilebur pada suhu 450° C, spesimen 2 dilebur pada suhu 500° C dan spesimen 3 dilebur pada suhu 550° C. Tabel 4.2 memperlihatkan hasil uji komposisi kimia timbal hasil peleburan.

Tabel 4.2 Hasil uji komposisi timbal (Pb) daur ulang

Label	Parameter	Satuan	Hasil uji
Sampel-I	Pb	%	91,166 ± 0,090
	Sn	%	0,711 ± 0,005
	Sb	%	6,124 ± 0,087
Sampel-II	Pb	%	92,078 ± 0,099
	Sn	%	3,477 ± 0,251
	Sb	%	2,446 ± 0,151
Sampel-III	Pb	%	92,334 ± 0,195
	Sn	%	4,808 ± 0,159
	Sb	%	0,859 ± 0,037

Dari tabel hasil pengujian komposisi di atas dapat dilihat ada unsur lain yang bercampur dalam timbal. Unsur lain tersebut yaitu timah (Sn) dan antimony (Sb) yang berpengaruh pada kemurnian timbal (Pb). Dengan adanya pengotor ini berakibat pada sifat-sifat mekanik diantaranya dapat dilihat pada tabel 4.3 yang berpengaruh pada kekerasan logam timbal.

Dari tabel dapat disimpulkan bahwa setiap proses peleburan (1, 2 dan 3) timbal mempengaruhi komposisi timbal yang dihasilkan. Hasil komposisi timbal tertinggi didapat dari proses peleburan pada suhu 550° C

sebesar $92,334 \pm 0,195$. Dengan meninjau hasil komposisi dari peleburan timbal daur ulang menggunakan metode redoks ini mendekati spesifikasi kandungan timbal yang dipersyaratkan untuk produksi daur ulang sebesar 99,97 % Pb.

4.3 Pengujian Kekerasan

Alat yang digunakan dalam pengujian kekerasan adalah n3 Emcotest milik Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan T. Mesin UNDIP. Sampel yang diuji berjumlah 3 jenis. Masing-masing jenis sampel dibagi menjadi 3 spesimen sehingga jumlah seluruhnya adalah 9 spesimen. Tiap spesimen diambil angka kekerasan tiga titik. Tabel 4.3 memperlihatkan hasil uji kekerasan timbal hasil peleburan.

Tabel 4.4 Rata-rata angka kekerasan masing-masing sampel

Spesimen	Rata-rata Kekerasan HB	Suhu Peleburan (°C)
I	6,161	450
II	5,348	500
III	5,326	550

Sehingga dapat diketahui rata-rata kekerasan pada setiap sampel. Dengan meninjau sifat fisik yang dimiliki timbal (Pb) maka angka kekerasan tersebut sudah mendekati dari angka yang distandarkan yaitu 4 HB (untuk timbal murni). Hal ini karena timbal hasil peleburan masih mengandung beberapa unsur lain seperti timah (Sn) dan antimon (Sb). Peningkatan kekerasan disebabkan oleh partikel antimon (Sb) dan timah (Sn). Angka kekerasan yang paling mendekati dengan timbal murni muncul pada suhu peleburan 550° C.

5 PENUTUP

Dari data dan analisa penelitian tersebut di atas, penulis dapat menyampaikan beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1. KESIMPULAN

1. Didapatkan timbal hasil daur ulang sebesar 363,392 gram pada suhu peleburan 450 °C, 392,122 gram pada

suhu peleburan 500 °C dan 385,642 gram pada suhu peleburan 550 °C.

2. Komposisi timbal hasil peleburan aki bekas dengan proses redoks yang dilebur pada suhu 450 °C, 500 °C dan 550 °C menghasilkan kadar timbal berkisar antara 91,166 % sampai dengan 92,334 %, adanya pengotor (Timah dan Antimon) menyebabkan kandungan timbal tidak mencapai 99,99 %.
3. Angka kekerasan HB berkisar antara 5,326 sampai dengan 6,161, hal ini menunjukkan kualitas timbal yang baik yaitu mendekati angka kekerasan HB 4,0 untuk timbal murni.

5.2. SARAN

1. Perlu dilakukan pemisahan bagian sel aki yang mengandung timbal sebelum digunakan sebagai bahan baku peleburan.
2. Perlu dilakukan proses *refining* berupa penambahan *sodium nitrate* (NaNO₃) dan *Sulphur* untuk menghilangkan pengotor seperti antimon (Sb), tembaga (Cu) dan timah (Sb) sehingga didapatkan kemurnian timbal hingga 99,99 %.
3. Menambah durasi waktu penahanan pada saat peleburan untuk meningkatkan kemurnian timbal hasil daur ulang.

DAFTAR PUSTAKA

1. [1] Anderson, J.C. dkk, 1974, *Material Science, Second Edition*, ELBS : Hong Kong.
2. ASM Handbook Committee, 1990, *Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special-Purpose Material Volume*, ASM International.
3. Callister, William D, Jr., 1997, *Materials Science and Engineering an Introduction, Fourth Edition*, John Wiley & Sons. Ic : New York.
4. Dieter, George E, 1987, *Metalurgi Mekanik, Edisi Ketiga*, Erlangga : Jakarta.
5. Patnaik, Pradyot, 2002, *Handbook of Inorganik Chemical*, McGraw-Hill : New York.
6. Surdia, Tata. Dkk, 2000, *Teknik Pengecoran Logam*.
7. Suryaningrat, Widodo, 2006, *Teknologi Aki, Fisika UPI*, Bandung.
8. www.adt.curtin.edu.au,

9. www.canberra.com
10. <http://en.wikipedia.org/wiki/Lead>
11. www.en.Wikipedia.org/wiki/anglesite,
12. www.en.Wikipedia.org/wiki/cerrusite,
13. www.en.Wikipedia.org/wiki/galena,
14. <http://www.freepatensonline.com>
15. www.gs.astra.co.id
16. <http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/BukuPetnisLimbLH/07AKI.pdf>
17. www.mindat.org/min-4322.html,
18. www.mindat.org/min-3320.html,
19. <http://web.missouri.edu>,
20. Vest, Heino Dr.-Ing, 2002, *Fundamentals of The Recycling of Lead-Acid Battery*, Gate Information Service GTZ : Eschborn.