

EVALUASI PROSES DAUR ULANG SEL ACCU BEKAS SERTA KUALITAS PRODUK TIMBAL

Athanasius P Bayuseno

Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro

Abstrak

Baterai/accu merupakan komponen penting didalam kendaraan bermotor. Sampai saat ini komponen utamanya masih terbuat dari logam timbal (Pb). Accu yang sudah mati umumnya didaur ulang atau dilebur kembali. Tujuan utama dari daur ulang baterai adalah untuk mengambil timbal dan boks plastik sebagai ingot. Teknologi yang digunakan saat ini masih bervariasi dari yang sangat sederhana hingga teknologi tinggi, tetapi pada dasarnya logam timbal dipisahkan dengan cara proses peleburan, sehingga disamping menghasilkan logam timbal juga menghasilkan sisa dari peleburan yang berupa partikel yang sangat berbahaya terhadap manusia maupun lingkungan karena sisa peleburan ini termasuk kedalam limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Didalam penelitian ini peleburan sel accu bekas dilakukan dengan incinerator dengan menambahkan sistem penangkap partikel yang berupa siklon dan scrubber. Kegiatan penelitian ini menggunakan limbah baterai sepeda motor, sementara peleburan sel baterai dilakukan pada suhu 500°C serta variasi penahanan waktu peleburan selama 15, 30 dan 45 menit. Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kadar timbal yang terkandung didalam air dan debu dari sisa peleburan, pengujian debu terdiri dari bottom ash, fly ash di siklon dan fly ash di scrubber. Adapun karakteristik logam timbal daur ulang dilakukan pengujian antara lain; komposisi, kekerasan, porositas dan tahanan listrik. Dari hasil pengujian untuk ketiga variasi penahanan ternyata didalam air tidak terdapat kadar timbal, sedangkan bottom ash mendekati persamaan $y = -522,5t - 2155,3$ dan fly ash di siklon mendekati persamaan $y = 34,802t + 630,86$ dan fly ash di scrubber mendekati persamaan $y = 186,98t + 468,04$. Dari beberapa pengujian didapat komposisi timbal 93,332 % sampai dengan 97,800 %. angka kekerasan HB 5,201 sampai dengan 6,006 dan tahanan listrik 20,0 mikrohm.

Kata kunci : Daur ulang accu, incinerator, partikel, and porositas.

1. PENDAHULUAN

Accu (*battery*) merupakan komponen penting sebagai catu daya didalam kendaraan bermotor. Lama pemakaiannya accu sangat tergantung pada kualitas sel timbal. Pertumbuhan penjualan otomotif yang sangat pesat akhir-akhir ini telah menuntut ketersediaan accu cukup besar, namun demikian jumlah produksi limbah sel accu juga meningkat. Limbah accu bekas ini jika tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan persoalan lingkungan yang serius, sehingga umumnya accu yang sudah tidak terpakai ini akan dikumpulkan oleh pengumpul yang kemudian akan didaur ulang atau dilebur.

Usaha daur ulang accu bekas telah banyak dilakukan oleh industri rumah tangga dan kecil tersebar di berbagai tempat, biasanya tempat-tempat yang terpencil. Industri daur ulang accu jarang yang dilakukan oleh industri skala menengah-besar, hal ini dikarenakan usaha menengah-besar memerlukan biaya mobilisasi pengumpulan accu bekas yang besar untuk memenuhi *break even points* (BEP) sehingga dirasakan lebih menguntungkan jika menerima hasil daur ulang setengah jadi industri kecil, untuk diproses lebih lanjut menjadi produk murni, maupun bahan baku impor (pada saat ini dilarang). Selanjutnya industri daur ulang accu bekas ini apabila tidak ditata dan tanpa penggunaan teknologi yang tepat akan berakibat buruk terhadap lingkungan dan kesehatan manusia dalam pengumpulan, pengangkutan maupun prosesnya. Pencemaran dari usaha daur ulang accu bekas ini dapat disebabkan (i) pencemaran udara yang berasal dari asap dan debu yang mengandung

logam berat Pb, (ii) bau sulfur yang spesifik dan (iii) limbah cair yang mengandung asam sulfat.

Daur ulang accu dimaksudkan untuk mengambil logam timbal (Pb) atau disebut juga ingot maupun 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 (redoks) unsur timbal yang ada di dalam sel accu. Dari proses daur ulang tersebut dihasilkan 2 jenis material yaitu logam/ingot timbal dan plastik box yang dapat dimanfaatkan oleh pabrik accu atau pabrik plastik.

Di dalam melakukan proses daur ulang timbal dikenal beberapa alternatif teknologi. Pemilihan teknologi ini akan menentukan desain peralatan yang akan dipergunakan. Kenyataan yang terjadi masih banyak masyarakat industri kecil yang kurang memperhatikan dampak lingkungan dari hasil daur ulang accu tersebut. Adapun sifat-sifat limbah daur ulang accu adalah sebagai berikut :

- Gas dan bau, pencemaran ini berupa gas-gas sisa hasil pembakaran, SO_2 , debu, Pb dan lain lain.
- Padat, berupa slag sisa daur ulang. Slag ini dapat dipergunakan sebagai bahan pengganti pasir maupun batu dalam bahan bangunan.
- Limbah cair, limbah cair berupa asam sulfat biasanya limbah ini sudah tercecer di pengumpul maupun sumber.

Disamping itu kegiatan daur ulang didalam industri kecil sangat sulit dilarang, hal ini dikarenakan daur ulang accu merupakan mata pencaharian dan dirasakan sangat menguntungkan bagi industri kecil.

Selain itu pembakaran yang terjadi pada proses daur ulang accu tidak pernah sempurna sehingga selain menghasilkan gas CO₂ dan H₂O, pembakaran yang terjadi juga menghasilkan gas-gas yang beracun (*toxic*) yaitu CO, HC, logam berat (timbal (Pb) dan lain-lain yang masih belum disadari oleh kebanyakan masyarakat terutama Industri kecil dan menengah. Oleh karena itu perlu adanya kerjasama masyarakat – pemerintah.

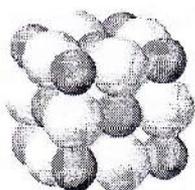
Untuk mengurangi pencemaran udara maka harus dilakukan pengisolasian sumber dampak, yaitu dengan memasang cerobong beserta perangkat debu (*siklon*) dengan penambahan reaktor plasma. Bangunan cerobong bisa dibuat dari batu bata yang di plaster. Cerobong ini bekerja karena ada tarikan ventilasi serta efek cerobong. Dari cerobong inipun memerlukan sebuah filter yang dapat berupa reaktor plasma yang berfungsi untuk mereduksi gas buang hasil pembakaran agar udara yang keluar dari cerobong tidak mencemari lingkungan sekitar. Dari masalah diatas maka penulis menyajikan perencanaan suatu sistem filter dengan menggunakan reaktor plasma dari proses daur ulang pelaburan accu bekas, dimana gas buang yang berkaitan dengan gas CO₂, CO, HC, O₂ dan Pb di udara sehingga kandungannya dapat tereduksi. Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi proses peleburan sel accu bekas agar ramah lingkungan. Disamping itu komposisi kimia logam timbal hasil daur ulang diuji dengan metode serapan atom spektrometri (AAS), kekerasan logam timbal diukur dengan metode Brinell. Selain itu struktur mikro logam timbal diamati dengan mikroskop optik, sementara tahanan listrik diukur dengan voltmeter. Data hasil penelitian ini akan dibandingkan dengan data karakteristik logam timbal yang ada di pasaran.

2. TINJAUAN PUSTAKA

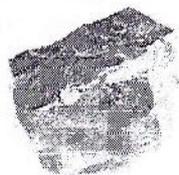
2.1 Jenis material timbal

a. Galena (PbS) – 86,6% Pb

Galena merupakan bentuk mineral alami dari timbal sulfida dan inti timbal yang sangat penting. Galena menyimpan sejumlah perak penting seperti dimasukkan tahap mineral sulfida perak atau sebagai larutan padat terbatas di dalam struktur galena. Galena yang mengandung perak ini menjadi bijih perak paling utama di dalam menambang, sebagai tambahan seng, cadmium, antimonium, bismut dan arsenik juga terjadi di sejumlah variabel di dalam bijih timbal. Karakteristik dari material Galena dapat disajikan dalam tabel 2.1.



(a)



(b)

Gambar 2.1 (a) Gambar unit sel dari galena, (b) Kristal galena dari Kansas.

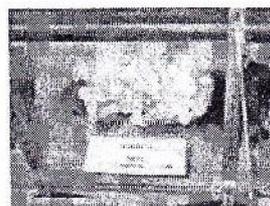
Tabel 2.1 Karakteristik Gelena [Ref. 13]

Uraian	Keterangan
Formula kimia	PbS
Warna	Timbal abu-abu, perak kubus dan oktahedra
Bentuk kristal	Isometrik heksahedral
Perpecahan	Kubus
Skala kekerasan Mohs	2.5 – 2.75
Warna kilauan	Metallic
Indeks bias	Buram (<i>opaque</i>)
Spesifik gravitasi	7.4 – 7.6
Sifat lumer (<i>fluibilitas</i>)	2

a. Kerisit (PbCO₃)

Kerisit berasal dari bahasa latin *cerussa* yang artinya timbal putih adalah mineral yang terdiri dari timbal karbonat (PbCO₃) dan merupakan bijih timbal yang penting. Pada tahun 1565 senyawa ini disebut *cerussa nativa* (oleh K. Gesner), pada tahun 1832 FS. Beudant manamanya *cruse*, sedang nama kerisit (*cerussite*) dimulai oleh W. Haidinger.

Kerisit umum terdapat dalam bentuk kristal. Kerisit mengkristal dalam sistem ortorhombik dan berisomorf dengan aragonit. Mirip seperti aragonit, kerisit juga sering mengalami perubahan, dan berbentuk pseudo-heksagonal. Tiga kristal biasanya berada pada dua muka prisma, menghasilkan kelompok stelat bergaris enam dengan masing-masing kristal saling bersilangan dengan sudut sekitar 60°. Kristal kerisit biasanya memiliki penampilan yang terang dan halus. Kerisit juga terdapat dalam bentuk kelompok butiran yang kompak, atau kadang-kadang dalam bentuk serat. Biasanya kerisit berwarna putih atau tidak berwarna, kadang-kadang juga abu-abu atau kehijauan yang diperlihatkan pada gambar 2.2. Mineral ini sangat rapuh, dan memiliki retakan konkoid. Mineral ini memiliki tingkat kekerasan 3 hingga 3,75 dalam skala Mohs, dan massa jenis 6,5 g/cm³. Iglesiasit adalah kerisit yang memiliki kandungan 7 % seng karbonat, dinamai menurut tempatnya ditemukan, yaitu Iglesias di Sardinia.



Gambar 2.2 Kerisit dalam bentuk bijih kristalin.

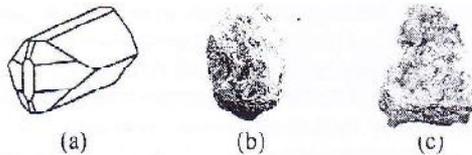
Senyawa ini dikenali melalui pengembaraannya yang khas, serta sifat pemantulan cahayanya yang disebut *adamantine lustre*, serta massa jenisnya yang tinggi. Mineral ini tidak larut dalam air, namun larut dalam asam nitrat encer berbuih. Dalam tes *blowpipe*, mineral ini melebur dengan cepat, yang mengindikasikan kandungan timbal (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Ciri-ciri Kerisit [Ref. 15]

Uraian	Keterangan
Formula kimia	PbCO ₃
Warna	Putih, abu-abu, biru, hijau
Bentuk kristal	Dipyramidal (2/m 2/m 2/m)
Bentuk pecahan	Baik (110) dan (021)
Skala kekerasan Mohs	3 - 3,5
Warna kilauan	Tidak fleksible, seperti kaca
Indeks bias	n _α = 1,803; n _β = 2,074; n _γ = 2,076
Sifat optik	Biaksial (-)
Spesifik gravity	6,53 - 6,57

b. Anglesit (PbSO₄)

Anglesit merupakan mineral timbal sulfat (PbSO₄). Terbentuk dari sebuah produk oksidasi dari inti timbal sulfida primer, yaitu *galena*. Anglesit terbentuk sebagai kristal primatik orthorhombik dan massa seperti tanah, dan isomorfous dengan *barite* dan *celestine* (gambar 2.3). Anglesit memiliki berat gravitasi spesifik dari 6,3 pada saat timbal berisi 74% berat, dengan nilai kekerasan 2,5 - 3. Berwarna putih, abu-abu dengan lapisan kuning pucat. Dan mungkin berubah gelap jika tidak murni.



Gambar 2.3 (a) Bentuk kristal anglesit, orthorhombik; (b) Anglesit.

Anglesit pertama dikenali sebagai jenis mineral oleh William Yang ditemukan pada tahun 1783, di pertambangan tembaga Parys di Anglesey. Nama anglesit tersebut, dari tempat ini, dinamai oleh F. S. Beudant pada tahun 1832. Kristal dari Anglesey, yang mana dahulu ditemukan dengan berlimpah-limpah pada suatu acuan batu besi cokelat yang tumpul, dalam ukuran kecil dan sederhana dalam bentuknya, yang pada umumnya dibatasi oleh empat muka dari suatu prisma dan empat muka dari suatu kubah; yaitu brownish-yellow di dalam warna yang berhubungan dengan suatu noda batu besi cokelat, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.3. Kristal dari beberapa tempat lain, khususnya dari Monteponi di Sardinia, tidak berwarna pucat, yang memiliki warna mengkilap yang tidak fleksible, dan pada umumnya dimodifikasi oleh banyak permukaan yang terang. Ciri-ciri anglesit dapat dilihat dalam tabel 2.3 berikut :

Tabel 2.3 Ciri-ciri Anglesit [Ref. 14]

Uraian	Keterangan
Formula kimia	PbSO ₄
Warna	Putih, abu-abu, orange, kuning, hijau, biru, sedikit
Bentuk kristal	Orthorhombic-Dipyramidal (2/m 2/m 2/m)
Bentuk pecahan	Baik (021) dan cistines (021)
Skala kekerasan Mohs	2,5 - 3
Warna kilauan	Tidak fleksible, gelap ketika bercampur tanah
Indeks bias	n _α = 1,878; n _β = 1,883; n _γ = 1,895
Sifat optik	Biaksial (+)
Spesifik gravitasi	6,3
Sifat lumer (<i>fluoresible</i>)	1,5

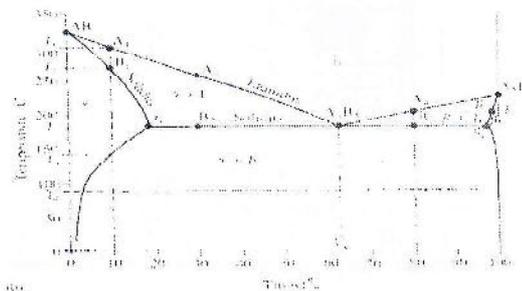
2.2 Sifat fisik timbal

Merupakan logam perak abu-abu yang mengkilap, mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*), mudah dicor, dirol dan diekstrud, kekentalan (*density*) 11.3 kg/cm³, angka kekerasan moh's sama dengan 1, angka kekerasan Brinell sama dengan 4.0 (logam dengan kemurnian tinggi), mudah dilelehkan, meleleh pada temperatur 327.46 °C, menguap pada suhu 1749 °C, tekanan uap 1 torr pada suhu 970 °C dan 10 torr pada suhu 1160 °C, penghantar listrik yang jelek, hambatan jenis (ρ) 20.65 microhm-cm pada suhu 20 °C dan dari cairan meleleh 94.6 microhm-cm pada titik leleh; viskositas dari logam yang dicairkan 3.2 centipoise pada titik leleh dan 2.32 centipoise pada 400 °C; regangan permukaan 442 dyne/cm pada 350 °C; kekuatan tarik 2000 psi; penampang serap thermal neutron 0.17 barn; standar elektroda potensial, Pb²⁺ + 2e⁻ ⇌ Pb-0.13 V; bersifat tahan terhadap korosi. [Ref. 7, Hal. 453-454].

2.3 Diagram Fasa Timbal-Timah

Diagram fasa memiliki arti penting dalam sistem paduan, karena terdapatnya hubungan antara struktur mikro dengan sifat-sifat mekanis suatu material, dimana perubahan struktur mikro suatu paduan berhubungan dengan karakteristik diagram fasanya. Selain itu diagram fasa juga memberikan informasi tentang melting point, pengintian, rekristalisasi dan fenomena-fenomena lainnya.

Gambar 2.4 menyajikan diagram fasa Pb-Sn dimana α dan β merupakan larutan padat dari timah dalam timbal dan timbal dalam timah. Hal itu dapat dilihat pada komposisi yang dapat dipertimbangkan pada garis horizontal, berdasarkan pada titik pertemuan 180 °C. Temperatur pada garis horizontal solidus disebut temperatur eutektik dan komposisi dimana liquidus bertemu dengan garis horizontal solidus disebut komposisi eutektik, C_e. C_e ini penting sebagai catatan bahwa komposisi eutektik sangat tidak mungkin untuk menjadi komposisi equiatomik (50 % - 50 %), tetapi variasi dari sistem ke sistem, dalam hal ini terjadi sekitar 62 wt% Sn (- 73 at % Sn).



Gambar 2.4 Diagram fasa Timbal (Pb) – Timah (Sn).

Solidifikasi dari beberapa paduan dalam Pb-Sn dapat kita ambil sebagai contoh yaitu pada Pb-10wt% Sn, yang mana merupakan ciri khas dari sebagian kecil paduan yang berisi lebih sedikit timah dari pada

komposisi yang ditunjukkan sebagai α_e pada gambar 2.4. Di bawah kondisi keseimbangan (*equilibrium*) paduan ini akan memadat untuk sifat keseimbangan padatan yang dapat dicampur, yaitu: pemadatan akan dimulai pada temperatur T_1 dan berakhir pada T_2 , menghasilkan butiran yang homogen dari larutan padat α . Hal yang menarik pada sekitar titik paduan ini yaitu sebagai pendingin pada padatan, batas kepadatan dari timah dalam timbal dicapai pada temperatur T_3 . Pada temperatur di bawah T_3 , fase β mulai mempercepat di luar larutan padat. Pada temperatur T_4 , komposisi pada fase α dan β akan berada dalam keseimbangan keduanya pada batasan wilayah fase α dan fase β , dinamakan Pb-4 wt% Sn dan hampir 100 % Sn.

[Ref. 1, Hal. 231]

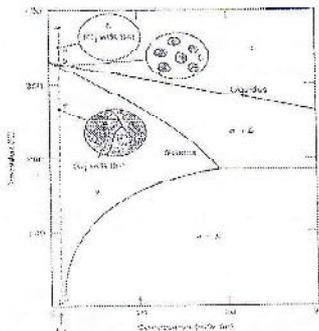
2.4 Perubahan struktur mikro pada timbal

Berdasarkan pada komposisi, beberapa tipe yang berbeda dari struktur mikro memungkinkan untuk pendinginan dengan pelan pada paduan sistem eutektoid biner. [Ref. 4, Hal. 255-260]

a. Struktur pada timbal paduan 0 – 2 % berat Sn

Fasa ini disebut juga fasa larutan padat α . Pada gambar 2.5 terlihat pada komposisi C_1 terjadi pendinginan secara perlahan dari temperatur cair, misal 350°C , ditunjukkan oleh garis vertikal ww' .

Total liquid paduan dan dari komposisi C_1 sampai menyalang garis liquidus tepatnya 330°C , dimana waktu fasa padat α mulai terbentuk. Ketika menuju daerah fasa $\alpha + L$, pemadatan berjalan terus yang berarti pendinginan lebih lanjut dari bentuk padat α . Selain itu komposisi pada fasa cair dan padat yang berbeda mengikuti sepanjang fasa pembatas liquidus dan solidus. Hasil paduan berupa berbagai kristal dengan komposisi yang seragam pada C_1 , dan tidak ada perubahan yang terjadi selama pendinginan sampai temperatur ruang. Bentuk struktur mikro ini diperlihatkan secara skematik pada titik c gambar 2.5.

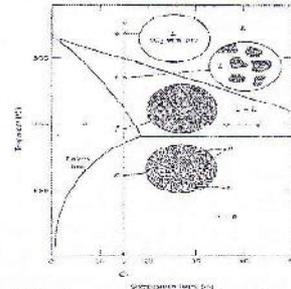


Gambar 2.5 Struktur pada Timbal paduan 0 – 2 % berat Sn.

b. Struktur pada timbal paduan 2 % - 18,3% berat Sn

Pada gambar 2.6 terlihat paduan pada komposisi C_2 didinginkan seperti pada garis xx' . Sepanjang garis xx' terjadi perubahan yang sama seperti kasus sebelumnya, pada saat bereaksi sesuai dengan daerah fasa (pada titik d, e dan f). Di atas persimpangan

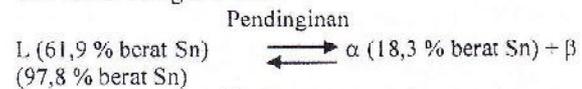
garis, titik f, struktur mikro terdiri dari butiran α pada komposisi C_2 . Di atas garis solvus, padatan α larut saat melewati, dan merupakan hasil dari partikel kecil fasa β , hal ini ditunjukkan pada titik g. Dengan Pendinginan berlanjut, partikel ini akan berkembang ukurannya karena pecahan massa dari fasa β bertambah kilau dengan penurunan temperatur.



Gambar 2.6 Struktur pada timbal paduan 2 % - 18,3% berat Sn.

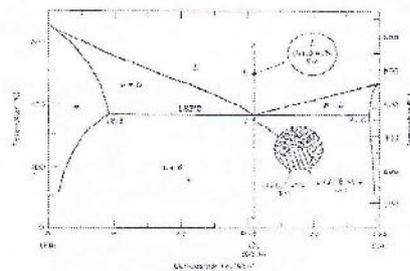
c. Struktur pada timbal paduan 61,9 % berat Sn

Struktur ini melewati komposisi eutektoid. Dengan mempertimbangkan paduan yang dimiliki pada komposisi ini yang didinginkan dari temperatur termasuk daerah fasa liquid (misal pada suhu 250°C) terlihat pada garis yy' gambar 2.7. Pada temperatur terendah, tidak terjadi perubahan sampai temperatur eutektoid, 183°C . Di atas persimpangan isothermal eutektoid, transformasi menuju dua fasa α dan β . Transformasi ini diperlihatkan oleh reaksi sebagai berikut :



Pemanasan

yang mana komposisi fasa α dan β dihasilkan oleh titik akhir isothermal eutektoid.



Gambar 2.7 Struktur pada timbal paduan 61,9 % berat Sn.

Selama transformasi ini sangat diperlukan pendistribusian kembali dari komponen timbal dan timah. Karena fasa α dan β mempunyai komposisi yang berbeda. Struktur mikro padatan tersebut merupakan hasil dari transformasi yang terdiri dari lapisan yang bergantian dari fasa α dan β yang terbentuk secara simultan selama transformasi. Struktur mikro ini diperlihatkan pada gambar 2.8, titik i, yang disebut struktur mikro eutektoid.

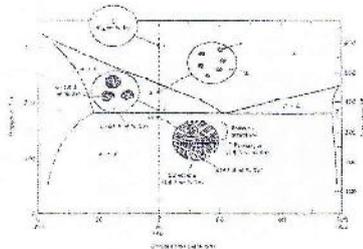


Gambar 2.8 Foto struktur mikro paduan timbal-timah pada komposisi eutektoid. Struktur mikro ini terdiri dari larutan padat fasa α (warna hitam) dan larutan padat fasa β (warna terang). Perbesaran 375x.

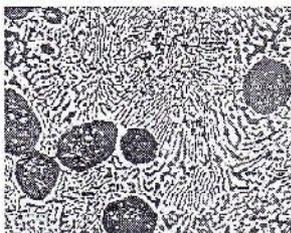
d) Struktur pada semua komposisi selain eutektoid, pada saat didinginkan, bersilangan dengan isothermal eutektoid

Pada gambar 2.9 ditunjukkan komposisi C_4 , di sebelah kiri eutektoid dengan temperatur terendah didapat garis z_2' , dimulai dari titik j perkembangan struktur mikro antara titik j dan l sama dengan struktur pada paduan 2 % - 18,3% berat Sn, demikian juga persimpangan isothermal eutektoid (titik l) fasa α dan liquid mempunyai komposisi 18,3 % dan 61,9 % berat Sn.

Pada titik ini temperatur terendah di bawah eutektoid, dimana komposisi eutektoid akan menuju ke struktur eutektoid. Tanpa perubahan yang signifikan akan terjadi dengan fasa α yang dibentuk selama pendinginan daerah $\alpha + L$. Kemudian fasa α akan ada di antara struktur eutektoid dan juga fasa yang dibentuk pada saat pendinginan fasa $\alpha + L$. Foto struktur mikro paduan timbal timah dengan α primer dan struktur eutektoid ditunjukkan Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Struktur pada semua komposisi selain eutektoid, pada saat didinginkan, bersilangan dengan isothermal eutektoid.



Gambar 2.10 Foto struktur mikro paduan timbal-timah dengan komposisi 50 % berat Sn-50 % berat Pb. Perbesaran 400x.

2.5 Spesifikasi Daur Ulang Timbal

Di seluruh dunia, dua spesifikasi kadar timbal berlaku : yang pertama dengan minimum 99,99% Pb dan kedua minimum 99,97% Pb. Ketidakhersihan dalam timbal antara lain antimonium, arsenic, bismuth, tembaga, nikel, perak, timah dan seng. Baru-baru ini, selenium dan tellurium telah ditambah sebagai tambahan penting. Perusahaan timbal besar umumnya memproduksi timbal dengan kandungan 99,99% Pb, sedangkan untuk produksi daur ulang sebesar 99,97% Pb. Perbedaan terbesar dalam tingkatan timbal yaitu daur ulang umum tidak menghilangkan bismuth dan perak dalam proses penyulingan. Daur ulang timbal pada umumnya berisi cukup bismuth untuk mencapai kemurnian 99,99%. [Ref. 2].

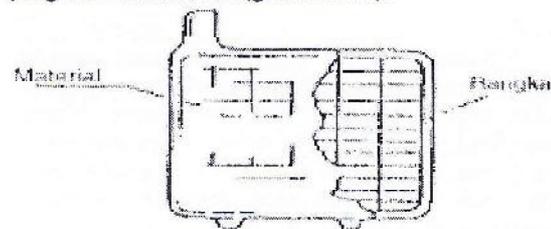
2.6 Kandungan Unsur pada Sel Accu

Umur aktif baterai tergantung pada ketahanan plat timbal paduan dalam menahan korosi disetiap penggunaan (*charge/discharge*). Plat pada baterai kendaraan biasanya terbuat dari paduan timbal-antimoni yang terdiri dari 1,5 sampai 3 % dan elemen lainnya seperti timah, arsenic, tembaga, sulfur dan selenium. [Ref. 2, Hal. 1680 - 1681].

Dalam referensi lain juga menyebutkan tingkatan dari plat yang meliputi kombinasi : perak 20-100 ppm, bismuth 250-1000, seng 250-1000, antimonium 100-1000 ppm, dan besi tidak boleh lebih dari 30 ppm. [Ref. 18].

Plat positif dan negatif

Plat positif dan plat negatif merupakan komponen utama suatu accu. Kualitas plat sangat menentukan kualitas suatu accu, plat-plat tersebut terdiri dari rangka yang terbuat dari paduan timbal antimon yang diisi dengan suatu bahan aktif. Bahan aktif pada plat positif adalah timbal peroksida yang berwarna coklat, sedang pada plat negatif adalah spons - timbal yang berwarna abu abu (gambar 2.11).



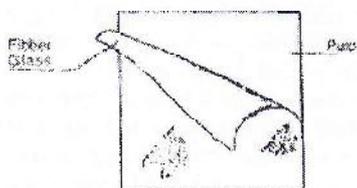
Gambar 2.11 Plat Sel Accu.

Sehingga dapat dikatakan bahwa untuk membuat accu dengan kualitas baik maka di antaranya kadar atau karakteristik timbal yang digunakan harus mencapai logam timbal dengan komposisi sesuai yang tersebut di atas.

Separator dan lapisan serat gelas

Antara plat positif dan plat negatif disisipkan lembaran separator yang terbuat dari serat *cellulosa* yang diperkuat dengan resin (gambar 2.12). Lembaran lapisan serat gelas dipakai untuk melindungi bahan aktif dari plat

positif, karena timbal peroksida mempunyai daya kohesi yang lebih rendah dan mudah rontok jika dibandingkan dengan bahan aktif dari plat negatif. Jadi fungsi lapisan serat gelas disini adalah untuk memperpanjang umur plat positif agar dapat mengimbangi plat negatif, selain itu lapisan serat gelas juga berfungsi melindungi separator.



Gambar 2.12 Lapisan Serat Gelas.

Penghubung antara sel dan terminal

Accu 12 volt mempunyai 6 sel, sedang Accu 6 volt mempunyai 3 sel. Sel merupakan unit dasar suatu Accu dengan tegangan sebesar 2 volt. Penghubung sel (*connector*) menghubungkan sel sel secara serf. Penghubung sel ini terbuat dari paduan timbal antimon. Ada dua cara penghubung sel - sel tersebut. Yang pertama melalui atas dinding penyekat dan yang kedua melalui (menembus) dinding penyekat. Terminal terdapat pada kedua sel ujung (pinggir), satu bertanda positif (+) dan yang lain negatif (-). Melalui kedua terminal ini listrik dialirkan penghubung antara sel dan terminal.

Elektrolit

Cairan elektrolit yang dipakai untuk mengisi accu adalah larutan encer asam sulfat yang tidak berwarna dan tidak berbau. Elektrolit ini cukup kuat untuk merusak pakaian. Untuk cairan pengisi accu dipakai elektrolit dengan berat jenis 1.260 pada 20° C. Bak dan tutup accu Elektrolit ini cukup kuat untuk merusak pakaian. Untuk cairan pengisi Accu dipakai elektrolit dengan berat jenis 1.260 pada 20° C.

Sumbat

Sumbat dipasang pada lubang untuk mengisi elektrolit pada tutup accu, biasanya terbuat dari plastik. Sumbat pada Accu motor tidak mempunyai lubang udara. Gas yang terbentuk dalam Accu disalurkan melalui slang plastik/ karet. Uap asam akan tertahan pada ruang kecil pada tutup accu, kemudian asamnya dikembalikan ke dalam sel.

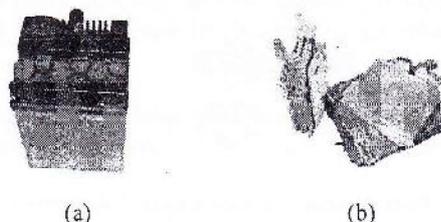
Perekat bak dan tutup

Ada dua cara untuk menutup accu, yang pertama menggunakan bahan perekat lem, dan yang kedua dengan bantuan panas (*Heat Sealing*). Yang pertama untuk bak *polystyrene* sedang yang kedua untuk bak *polipropylene*. [Ref.17 hal. 1-2].

3. MATERIAL DAN PROSEDUR PENGUJIAN

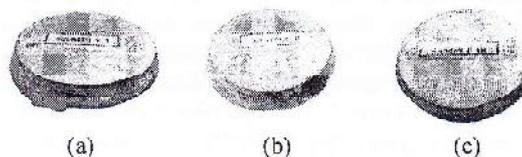
3.1. Bahan baku dan benda uji

Bahan baku atau material yang yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa sel-sel accu bekas yang tidak digunakan lagi (gambar 3,1a,b). Sel-sel accuyang digunakan bisa berasal dari accumobil maupun accupada sepeda motor.



Gambar 3.1 a. Accubekas (sepeda motor), b. Sel accubekas.

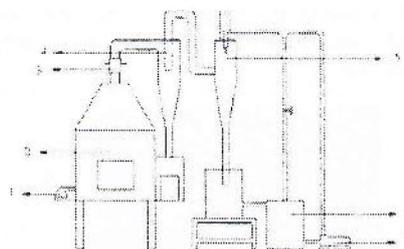
Adapun spesimen penelitian merupakan sel-sel accuyang sudah dilebur dan dicetak dalam satu cetakan, yaitu sebagai berikut (gambar 3.2):



Gambar 3.2 a. Spesimen 1; b. Spesimen 2; c. Spesimen 3.

3.2. Unit Incinerator

Proses peleburan dilakukan didalam incinerator dengan suhu pembakaran diatas titik lebur dari logam timbal. Incinerator merupakan alat yang digunakan untuk peleburan tertutup (gambar 3.3). Suhu yang ditentukan dalam peleburan sel accubekas yaitu suhu ± 500°C kemudian dilakukan variasi penahanan 15, 30 dan 45 menit.



Gambar 3.3 Unit incinerator

- Keterangan :
- 1. Blower
 - 2. Incinerator
 - 3. Reaktor Plasma
 - 4. Siklon
 - 5. Scrubber
 - 6. Bak penampung air
 - 7. Pompa

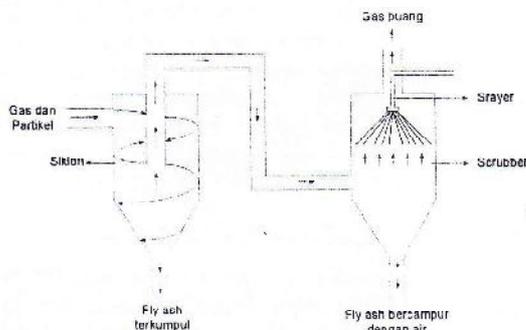
Secara umum pompa digunakan untuk mensirkulasikan air dimana air didalam *scrubber* berfungsi sebagai filter/penyaring gas buang dari sini maka partikel atau *fly ash* yang lolos didalam siklon dapat turun kebawah bersama air. Sistem kerjanya yaitu air dipompa kemudian di spray sehingga gas yang keluar ke lingkungan sudah benar-benar bersih. Efektivitas dari spray tergantung dari bukaan spray. Bukaan dari sistem ini diambil yang terbaik yaitu pada bukaan $\frac{3}{4}$. Selanjutnya blower digunakan sebagai penambah oksigen didalam incinerator, karena didalam pembakaran membutuhkan oksigen. Blower juga berfungsi untuk mendorong udara panas yang ada dalam tungku untuk segera keluar.

Kegiatan proses peleburan sel accu bekas dilakukan didalam incinerator yang ada di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Diponegoro yaitu dengan menambah unit siklon dan *scrubber*. Siklon dan *scrubber* berfungsi sebagai penangkap debu atau partikel sisa hasil peleburan. Partikel yang tertangkap di siklon merupakan partikel berat dari *fly ash* sedangkan yang tertangkap di *scrubber* atau bercampur dengan air merupakan partikel ringan dari *fly ash* yang lolos dari siklon. Bahan bakar yang digunakan dalam peleburan yaitu gas LPG, dengan bahan bakar ini maka hasil dari proses peleburan tidak bercampur dengan bahan bakar.

3.3 Deskripsi Penangkapan Partikel Sisa peleburan

Proses penangkapan partikel sisa peleburan terbagi dalam dua unit yaitu siklon dan *scrubber*. Mula-mula gas yang bercampur dengan partikel (*Fly Ash*) keluar dari incinerator dan masuk ke siklon, dengan adanya gaya sentrifugal yang timbul didalam siklon cenderung menggerakkan partikel secara radial kearah dinding, sehingga partikel akan menempel di dinding dan meluncur ke bawah ke dalam kerucut sehingga dapat dikumpulkan (gambar 3.4).

Sementara itu partikel yang ringan keluar dari siklon menuju ke *scrubber*, prinsip pemisahannya yaitu gas dan partikel yang lolos dari siklon masuk dari bawah kemudian disemprot dengan cairan melalui nozzle dari atap *scrubber*, sementara gas yang dialirkan dari bawah naik keatas dan bersentuhan dengan butiran cairan yang jatuh, selanjutnya gas keluar dari *scrubber* menuju ke lingkungan.



Gambar 3.4 Deskripsi penangkapan partikel

3.4 Pegujian komposisi kimia

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) digunakan didalam penelitian ini untuk menentukan konsentrasi suatu unsur (logam) dalam suatu sampel air dan debu. SSA yang digunakan yaitu Merk Perkin Tipe 3110 Milik Laboratorium Fakultas MIPA Jurusan Kimia Universitas Diponegoro. Pada dasarnya alat ini didasarkan pada panjang gelombang dari logam timbal yaitu 283,3 nm. Pada pengujian debu sebelum menggunakan *Spektrofotometer Serapan Atom* (SSA), terlebih dahulu sampel uji diekstrak terlebih dahulu untuk memisahkan dari unsur pengikat lain sedangkan untuk pengujian air langsung dilakukan absorpsi dengan *Spektrofotometer Serapan Atom* (SSA). Disamping itu produk timbal hasil peleburan diuji dengan dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta.

3.5 Karakterisasi Material

Pengujian kekerasan dari spesimen dilakukan pada permukaan benda uji yang sudah diampelas dan datar pada 3 titik di permukaan material. Pengujian kekerasan pada spesimen dilakukan dengan metode Brinell. Pemeriksaan cacat dan struktur mikro produk logam timbal dilakukan dengan mikroskop optik. Selanjutnya tahanan listrik dengan metode volt meter.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penangkapan Partikel

Proses peleburan sel accu bekas dalam incinerator menghasilkan timbal dan sisa peleburan. Sisa peleburan berupa slag (bongkahan), partikel ringan (*fly ash*) dan partikel berat (*bottom ash*). Penangkapan partikel hasil peleburan sel accubekas diambil dari dua sistem penangkapan yaitu di siklon dan *scrubber* dapat disajikan didalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil penangkapan partikel peleburan sel accubekas

Peleburan	I	II	III
Jenis Aki	Basah - Kering	Kering - Kering	Basah - Kering
Berat Sel aki	2000 gr	2000 gr	2000 gr
Suhu	500 C	500 C	500 C
Waktu Penahanan	15 menit	30 menit	45 menit
Hasil Peleburan (gr)			
Slag	1.323,524	1.628,530	1.299,432
Timbal	373,491	222,022	357,277
Bottom Ash	259,701	231,616	259,846
<i>Fly Ash</i> di Siklon	0,216	0,237	0,317
<i>Fly Ash</i> di <i>Scrubber</i>	0,213	0,286	0,333

Dari tabel diatas, dapat ditunjukkan pengaruh waktu penahanan terhadap hasil peleburan. Waktu penahanan tidak mempengaruhi jumlah timbal yang didapat, yang berpengaruh yaitu jenis aki, karena terlihat accubasah lebih banyak menghasilkan timbal dibandingkan dengan accukering. Sisa peleburan yang berupa *slag* (partikel besar) lebih banyak dari accukering begitu juga untuk *bottom ash* sehingga dapat

disimpulkan bahwa accubasah lebih banyak menghasilkan timbal dari pada accukering.

Pengaruh waktu penahanan terhadap sisa peleburan yang berupa partikel ringan (*fly ash*) dalam siklon maupun *scrubber* terlihat dalam tabel 4.1, penangkapan partikel di siklon untuk tiga kali peleburan berturut-turut hasilnya 0,216 gram, 0,237 gram, 0,317 gram. Dari hasil tersebut ternyata lama penahanan berpengaruh terhadap jumlah partikel yang jatuh terkumpul dalam siklon, tetapi selisihnya tidak jauh berbeda karena partikel tidak jatuh sempurna dalam siklon diakibatkan permukaan dari siklon yang tidak licin dan tidak rata sehingga partikel-partikel menempel di dinding maupun pipa. Penangkapan partikel didalam *scrubber* untuk tiga kali peleburan berturut turut yaitu 0,213 gram, 0,286 gram, 0,335 gram. Dari hasil tersebut terjadi peningkatan jumlah partikel yang tertangkap terhadap lama penahanan peleburan. Jadi sistem siklon dan *scrubber* dapat mengurangi jumlah partikel sebelum keluar dari cerobong ke lingkungan yang sangat berdampak terhadap kesehatan dan lingkungan.

4.2 Pengujian Debu dan Air

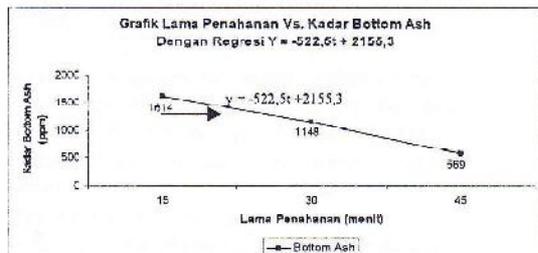
Pengujian debu dan air dilakukan dengan metode SSA untuk mengetahui kadar Pb yang terkandung dari sisa proses peleburan sel accubekas dapat disajikan didalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian debu dan air

Suhu (°C)	Lama Penahanan (menit)	Bottom Ash (ppm)	Fly Ash (ppm) Siklon	Fly Ash (ppm) Scrubber	Air (ppm)
500	15	1614	660	658	0
500	30	1148	711	836	0
500	45	569	730	1032	0

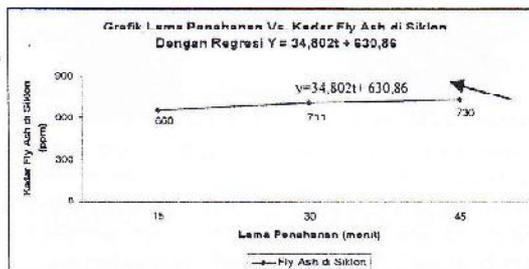
Dari tabel 4.2 dan gambar 4.1 diatas terlihat bahwa kadar Pb didalam bottom ash makin menurun karena pengaruh lama penahanan peleburan, makin lama waktu penahanan, makin turun kadar Pb, begitu juga sebaliknya. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa waktu penahanan mempengaruhi kadar Pb disebabkan karena makin lama penahanan

menyebabkan kadar Pb menguap. Pengaruh lama penahanan terhadap kadar *bottom ash* dapat digambarkan dengan regresi persamaan $y = -522,5t + 2155,3$. Dari sisa hasil peleburan yang berupa partikel terlihat bahwa kadar Pb masih tinggi sehingga perlu diperhatikan pengelolannya karena berdampak terhadap lingkungan.



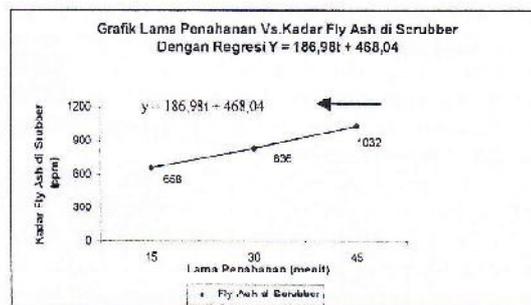
Gambar 4.1 Grafik Kadar Pb di Bottom Ash

Dilain pihak kadar Pb didalam *fly ash* yang tertangkap di siklon, menunjukkan semakin lama penahanan mempengaruhi kadar Pb, semakin lama waktu penahanan semakin tinggi kadar Pb begitu juga sebaliknya. Pengaruh lama penahanan terhadap kadar *fly ash* di siklon dapat digambarkan dengan persamaan $y = 34,802t + 630,86$ seperti terlihat pada gambar 4.2. Dari besarnya kadar Pb yang tertangkap di siklon maka perlu diperhatikan sistem penangkapan partikel karena Pb merupakan limbah B3 yang berbahaya dan berdampak terhadap kesehatan maupun lingkungan.



Gambar 4.2 Kadar Pb di Siklon

Gambar 4.3 menyajikan kadar Pb yang tertangkap di *scrubber*, makin lama penahanan makin tinggi kadar Pb, dan juga dapat diperlihatkan bahwa setelah siklon masih perlu ditambahkan *scrubber*. Pengaruh lama penahanan terhadap kadar *fly ash* di *scrubber* dapat digambarkan dengan persamaan $y = 186,98t + 468,04$.



Gambar 4.3 Kadar Pb di Scrubber

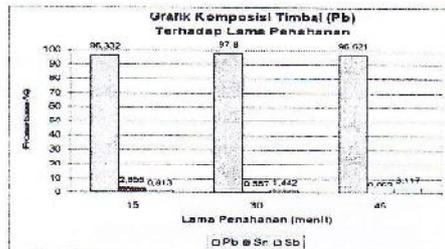
Dari tabel 4.1 terlihat bahwa tidak terdapat Pb didalam air, karena sesuai dengan sifat fisik Pb bahwa Pb tidak mudah larut dalam air dingin, sehingga limbah air dari *scrubber* bila dibuang ke lingkungan tidak berdampak terhadap lingkungan, tetapi perlu diperhatikan, dari gambar 4.3 bahwa didalam endapan air, kadar Pb masih tinggi sehingga sebelum air dibuang ke lingkungan perlu diendapkan terlebih dahulu.

4.3 Hasil uji komposisi produk daur ulang timbal

Hasil pengujian komposisi kimia dapat disajikan didalam gambar 4.4 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 maka berakibat pada sifat-sifat mekanik dan kimia

diantaranya yang berpengaruh pada kekerasan logam timbal.

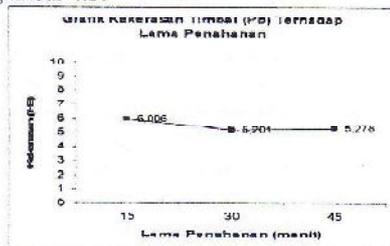
Dari grafik dapat disimpulkan bahwa setiap proses peleburan (1, 2 dan 3) timbal tidak terlalu berpengaruh pada komposisi timbal yang dihasilkan. Pengaruh yang mungkin adalah berat timbal yang dihasilkan, semakin lama waktu penahanan maka akan ada logam timbal yang menguap.



Gambar 4.4 Grafik komposisi timbal (Pb) terhadap lama penahanan

4.4 Hasil uji kekerasan produk timbal

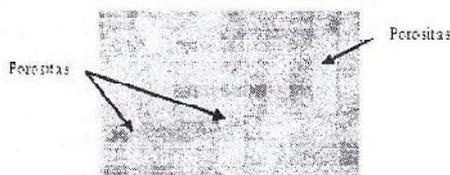
Dari data uji kekerasan di atas dapat diketahui angka kekerasan pada masing-masing sampel, untuk mengetahui angka kekerasan pada setiap sampel maka dibuat rata-rata angka kekerasan tiap sampel disajikan dalam gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik kekerasan timbal (Pb) tiap sampel.

4.5 Pemeriksaan Cacat Material

Pemeriksaan cacat porositas material dengan menggunakan pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik yang dilengkapi dengan alat pemotret (kamera). Dari uji metalografi, diperoleh foto struktur mikro dari material timbal (Pb) umumnya berupa cacat porositas seperti terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Struktur mikro Timbal (Pb) dengan waktu penahanan pembakaran 30 menit pada suhu 500°C, dengan menggunakan etsa asam asetat, asam nitrat dan glicerol serta perbesaran 100x.

Dari gambar 4.6 dapat dilihat porositas yang terjadi pada timbal dengan waktu penahanan 30 menit setelah di etsa dengan asam asetat, asam nitrat dan glicerol serta perbesaran 100x. Seperti pada gambar 4.3, porositas ini disebabkan laju pendinginan yang tidak sempurna dan udara masuk pada saat penuangan. Hal ini menunjukkan dengan waktu penahanan pembakaran 30 menit dan suhu 500°C tidak mengurangi porositas pada timbal.

Dari beberapa pengujian dan pemeriksaan di atas dapat dibuat tabel rangkuman timbal hasil daur ulang. Kualitas timbal terbaik didapat pada sampel II yaitu dengan lama penahanan 30 menit seperti terlihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Kualitas Timbal (Pb) hasil peleburan accu bekas

Label	Suhu Peleburan (°C)	Waktu Penahanan (menit)	Komposisi Timbal (Pb) (%)	Angka Kekerasan HB	Tahanan Listrik -R- (ohm)
SAMP EL I	500	15	96,332 ± 0,054	6,006	20,0 × 10 ⁻⁶
SAMP EL II	500	30	97,800 ± 0,015	5,201	20,0 × 10 ⁻⁶
SAMP EL III	500	45	96,621 ± 0,033	5,278	20,0 × 10 ⁻⁶

5. KESIMPULAN

- Didalam penelitian diperoleh hasil produksi dengan kualitas timbal daur ulang dengan kadar 97,8 % (berat), namun dari segi jumlah produksi kinerja alat masih belum bisa diaplikasikan ke dunia industri karena akan memerlukan biaya yang sangat tinggi.
- Komposisi timbal hasil peleburan aki bekas dengan proses redoks yang dilebur pada suhu 500° dan waktu penahanan 15, 30 dan 45 menit menghasilkan kadar timbal berkisar antara 93,332 % sampai dengan 97,800 %, adanya pengotor (Timah dan Antimon) menyebabkan kandungan timbal tidak mencapai 99,99 %.
- Angka kekerasan HB berkisar antara 5,201 sampai dengan 6,006, hal ini menunjukkan kualitas timbal yang baik yaitu mendekati angka kekerasan HB 4,0 untuk timbal murni.
- Tahanan listrik (R) yang terdapat pada logam timbal hasil daur ulang adalah 20,00 × 10⁻⁶ ohm atau 20,0 microhm.

6. DAFTAR PUSTAKA

- 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 2*. ASM International
- 3) ASM Handbook Committee. 2004. *Metallography and Microstructures 2004, Volume 9*. ASM International

- 4) Callister, William D, Jr. 1997. *Materials Science and Engineering an Introduction, Fourth Edition*. John Wiley & Sons, Inc : New York
- 5) Dieter, George F. 1987. *Metalurgi Mekanik, Edisi Ketiga*. Erlangga : Jakarta
- 6) German, M. R., 1994. *Powder Metallurgy Science. 2nd Ed.* Metal Powder Industries Federation.
- 7) Patnaik, Pradyot. 2002. *Handbook of Inorganik Chemical*. McGraw-Hill : New York
- 8) Surdia, Tata. Dkk. 2000. *Teknik Pengecoran Logam*
- 9) Widyanto, S. A., 2006. *Tugas Sarjana Metode Pengaturan Parasitas Produk dengan Proses Sintering*. Teknik Mesin UNDIP
- 10) <http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/file/Artikel-39.pdf>, 5 Mei 2008
- 11) <http://web.missouri.edu>,
- 12) www.adt.curtin.edu.au, 4 Juni 2008
- 13) www.en.Wikipedia.org/wiki/galena, 4 Juni 2008
- 14) www.en.Wikipedia.org/wiki/anglesite, 4 Juni 2008
- 15) www.en.Wikipedia.org/wiki/cerrusite, 4 Juni 2008
- 16) www.mindat.org/min-4322.html, 18 Agustus 2008
- 17) www.mindat.org/min-3320.html, 18 Agustus 2008
- 18) Sumantry, Teddy. 2002. *Pembuatan Eksitasi Am-241 untuk pemberdayaan instrument X-Ray Fluorescence*. P2PLR Batan : Jakarta
- 19) www.canberra.com, 27 Oktober 2008
- 20) <http://www.gs.astra.co.id>
- 21) <http://www.freepatensonline.com>, 16 Februari 2009
- 22) www.en.Wikipedia.org, 22 Februari 2009

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan semua pihak khususnya mahasiswa S1 Teknik Mesin dan laboran dalam menyelesaikan penelitian ini.