

ANALISA KEGAGALAN PROSES PEMBUATAN STRAP AKI KENDARAAN BERMOTOR

FAILURE ANALYSIS OF IMPROPER MANUFACTURING PROCESS OF CAR BATTERY STRAP

Fogot Endro Wibowo^a, Amin Suhadi^b

^aMahasiswa Magister Teknik Mesin ISTN, Durentiga Jakarta

^bBalai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) – BPPT

Kawasan Puspitek Serpong Tangerang 15314

e-mail:amin.suhadi@bppt.go.id,fogot.ew@gmail.com

Abstrak

Strap pada aki mempunyai peran atau fungsi vital dalam sistem penyimpanan arus listrik untuk sebuah kendaraan bermotor. *Strap* dibuat dengan cara menghubungkan pelat-pelat logam timbal yang bermuatan negatif dengan positif melalui proses pengelasan. Kegagalan dari proses pembuatan akan menghasilkan proses penyimpanan arus yang tidak sempurna, sehingga aki tidak berfungsi. Untuk mencegah kerusakan tersebut maka dilakukan penelitian penyebab terjadinya patah dengan metode *root cause analysis* pada *strap* aki, yaitu teliti berbagai kemungkinan penyebab kerusakan antara lain: desain, material, serta manufaktur agar patah yang sama tidak terulang kembali. Analisa hasil penelitian pada patahan yang terjadi pada *strap* aki menunjukkan bahwa tidak terdapat bukti ilmiah yang menunjukkan kerusakan akibat desain, proses pembuatan maupun operasional. Hasil analisa terhadap material menunjukkan bahwa komposisi unsur kimia paduan timbal tidak sesuai spesifikasi standar, sehingga material tersebut tidak tahan terhadap korosi retak tegang (SCC) dan kerapuhan hidrogen saat beroperasi. Jadi penyebab utama dari kerusakan adalah karena kesalahan material.

Kata kunci : *Strap* Aki, Pelat, Patahan, Logam Timbal

Abstract

Battery straps have an important role in the electric current storage system in a car. The straps are made of lead alloy plates that have a negative pole and connected with a positive pole by welding. Failure on the manufacturing process may result in the current storage system, as a result, malfunction has occurred in the battery. Therefore, further research is needed to avoid this condition. The aim of this research is to find out the main cause of failure of the straps, so that battery reject can be prevented. This research is done using root cause analysis method which observing all of the possible aspects to failures, such as material, design, manufacturing and operational procedures. The result of analysis on failure surface of straps indicated that there is no scientific evidence that failure is caused by neither design, manufacturing nor operational procedure. The valuable evidence that is found indicates the chemical composition of straps are not in accordance with standard specifications so that this material is not resisted to stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement during battery is operated. Therefore, the root cause of failure is wrong material selections.

Key words: *Battery Strap, Plate, Failure, Lead*

Diterima (received) : 31 Agustus 2018, Direvisi (revised) : 25 Oktober 2018,

Disetujui (accepted) : 23 November 2018

PENDAHULUAN

Pada setiap kendaraan bermotor terdapat alat penyimpan arus yang dalam bahasa Indonesia disebut aki (*accu*). Fungsi utama aki adalah untuk menyimpan arus yang dihasilkan dari dinamo dan kemudian digunakan untuk memberi energi listrik kepada semua sistem yang membutuhkan, seperti lampu, *enginestarter*, AC, radio, *power window* dan yang lainnya. Jadi jika aki rusak maka beberapa komponen kendaraan tidak dapat berfungsi secara optimal, bahkan mesin kendaraan sulit untuk dihidupkan. Karena itu peranan aki sangat penting dalam kelangsungan operasi suatu kendaraan bermotor. Unsur utama dalam penyusunan aki kendaraan bermotor adalah pelat-pelat elektroda yang berfungsi sebagai kutub positif dan pelat yang berfungsi sebagai kutub negatif serta media cairan asam sulfat sebagai cairan elektrolitnya. Pelat-pelat tersebut dihubungkan menjadi satu sel dengan cara pengelasan menggunakan material timah hitam (Pb) yang disebut *Strap* (Gambar 1). Jadi *Strap* tersebut berfungsi sebagai penghantar arus antar sel pada aki kendaraan bermotor.¹⁾ Karena itu jika terjadi kerusakan dari *strap*, maka fungsi dari *strap* sebagai penghubung arus listrik akan terganggu karena aliran arus listrik tidak berjalan dengan sempurna, sehingga aki secara keseluruhan menjadi tidak berfungsi. Penelitian ini bertujuan untuk mencari penyebab utama kerusakan yang terjadi pada *strap* aki yang diproduksi oleh perusahaan dalam negeri, yang telah menerima keluhan kerusakan cukup banyak, yaitu sebesar 12,20 ppm Aki/ tahun²⁾. Dengan ditemukannya penyebab utama kerusakan, maka diharapkan kerusakan sejenis tidak terjadi lagi.

TINJAUAN PUSTAKA

Aki Kendaraan Bermotor

Perkembangan Pembuatan Aki.

Berbagai macam teknologi telah digunakan dalam proses pembuatan aki, terutama dalam proses manufaktur *strap*. Proses penyambungan pelat elektroda dengan *strap* ada yang menggunakan teknologi pengecoran, yaitu dengan cara menuangkan logam timah hitam cair ke ujung masing-masing elektroda sehingga terhubung satu sama lain³⁾, ada juga yang menggunakan teknologi pengelasan⁴⁾. Sebagian besar industri pembuatan aki memilih penyambungan pelat elektroda dengan *strap* dilakukan dengan proses

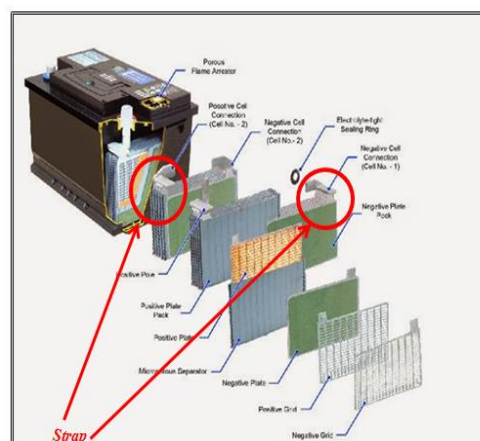
pengelasan karena lebih cepat dan tahapan prosesnya lebih sederhana. Namun, teknologi pengelasan yang di pilih bervariasi bergantung dari investasi peralatan yang dilakukan⁵⁻⁷⁾. Pada industri aki yang besar seperti pada sub bagian industri otomotif, proses pengelasan *strap* sudah menggunakan robot, sehingga hasilnya lebih konsisten, presisi dan bagus⁵⁻⁸⁾. Namun pada industri kecil dan menengah proses pengelasan masih dilakukan secara manual, atau semi otomatis, sehingga hasilnya sangat berbeda dengan produk industri aki yang dibuat oleh industri otomotif, serta hasilnya masih banyak kekurangan dibandingkan dengan sistem pengelasan yang menggunakan robot⁸⁾.

Fungsi aki

Aki pada kendaraan bermotor (mobil) berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari dinamo dalam bentuk energi kimia, yang kemudian akan digunakan untuk mensuplai listrik ke sistem *starter*, sistem pengapian, lampu, AC, klakson, *electric windows*, dan sistem kelistrikan lainnya^{1,2,9)}.

Komponen aki

Komponen atau bagian-bagian aki secara garis besar, dapat di jelaskan seperti pada Gambar 1¹⁾.



Gambar 1.
Prinsip Dasar Susunan Komponen Aki Mobil

Timah Hitam (*Lead*) dalam Aki

Bahan baku utama dari aki termasuk *strap* aki adalah paduan Timah hitam (Pb) dengan Antimony (Sb) dimana kandungan Pb untuk total material bahan baku aki mencapai 50%¹⁰⁾. Selain Sb, terdapat juga kandungan Kalsium (Ca) pada beberapa komponennya. Komposisi logam paduan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari

2 jenis, yaitu kelompok Pb-Sb dan Pb-Ca. Grid kelompok

paduan Pb-Sb digunakan pada pelat kutub aki positif, *connector* dan *filler*, sedangkan kelompok paduan Pb-Ca digunakan pada pelat kutub aki negatif.

Secara umum, komposisi kimia yang distandarkan dapat dilihat pada Tabel 1¹¹⁾.

Tabel 1.
Komposisi Kimia Paduan Pb pada Aki

Kelompok Pb-Sb(%) berat	Kelompok Pb-Ca (%) berat
Sb 15-35	Ca 0,05-0,12
As 0,15-0,3	Sn 0,3-1,5
Sn 0,01-0,3	Ag 0-0,1
Cu 0,005-0,03	Al 0,001-0,02
Se,S 0,001-0,03	-
Pb Sisanya	Pb sisanya

Proses Pembuatan Strap Aki

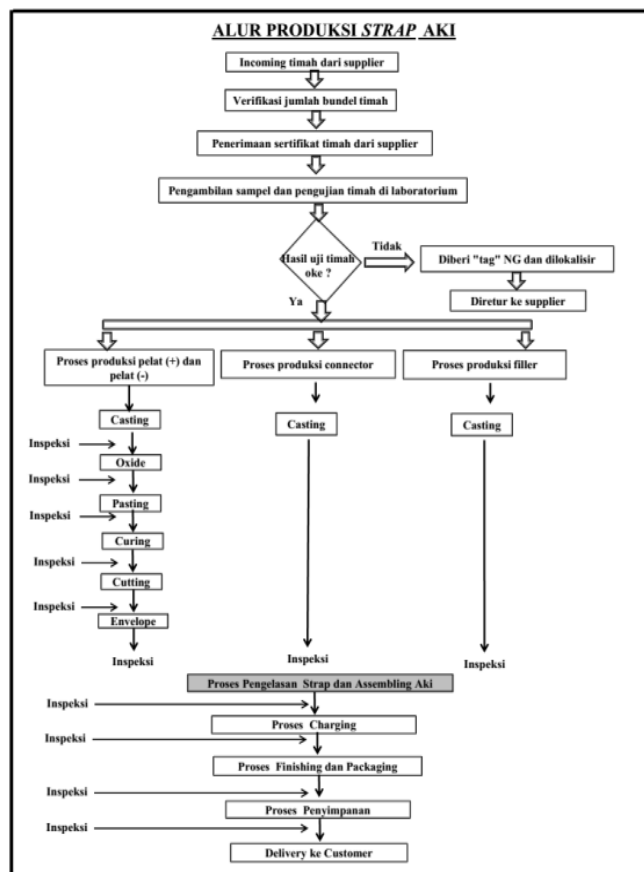
Strap aki merupakan penyatuan dari beberapa pelat yang dijadikan satu sel baik pelat positif ataupun pelat negatif. Penggabungan ini dibuat dengan proses pengelasan manual pada salah satu bagian

ujungnya. Gambar dari strap aki dapat dilihat pada Gambar 2¹²⁾.



Gambar 2.
Strap Aki pada Sel Pelat Aki

Proses pembuatan *strap* aki adalah bagian dari proses manufaktur aki secara keseluruhan. Alur produksi pembuatan *strap* aki bisa dilihat pada Gambar 3¹³⁾. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa proses pembuatan *strap* aki adalah penggabungan beberapa komponen. Inspeksi kualitas diawali terhadap material timah yang datang dari pemasok, yaitu dengan melakukan inspeksi visual dan inspeksi pengujian di laboratorium.



Gambar 3.
Alur Proses Produksi Aki dan *Strap* Aki

Proses penyatuan beberapa komponen menjadi *strap* aki yang terdiri dari pelat, *connector* dan *filler* masing masing dibuat dari timbal dengan proses pengecoran dengan komposisi dan dimensi sesuai dengan standar produk. Rangkaian proses pengelasan strap aki sampai menjadi aki dapat dilihat pada Gambar 4¹⁴⁾.



Gambar 4. Proses Rangkaian Pengelasan Strap Aki Sampai dengan Menjadi Aki

Urutan proses *assembling* aki seperti urutan pada Gambar 4 adalah ¹⁴⁾:

- a. Proses *Stacking*, yaitu proses penyusunan pelat-pelat menjadi satu kesatuan sel dengan jumlah pelatnya sesuai spesifikasi tertentu.
- b. Proses Pengelasan, yaitu pengelasan pelat yang sudah disusun tersebut bersama dengan *connector* dan *filler* dengan menggunakan meja las.
- c. Proses *Inserting*, yaitu memasukkan sel pelat hasil pengelasan ke dalam wadah.
- d. Proses *Squeeze Welding*, yaitu menghubungkan antar partisi di dalam wadah aki.
- e. Proses *Heat Sealing*, yaitu penutupan wadah dengan memasang *cover* berbahan plastik.
- f. Proses *Testing*, yaitu inspeksi dengan menggunakan mesin.
- g. Proses proses *charging* yaitu pemberian cairan H₂SO₄ ke dalam aki, kemudian diikuti dengan pemberian arus

Kerusakan pada Aki

Kerusakan yang sering terjadi pada aki mobil, pada umumnya dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2^{12,15)}.

Tabel 2. Penyebab Kerusakan pada Aki

No	Kerusakan	Penyebab 1	Penyebab 2
1	Voltase rendah	Strap retak atau patah	-
		Pelat mengalami hubungan arus pendek	Pelat di dalam sel bengkok Gagal pengelasan Separator wadah pelat robek
2	Pole hitam	Lasan antar sel putus	-
3	Bocor	Oksidasi pada pole (+) atau (-)	-
		Wadah atutup aki pecah	-

Data dari tabel 2, khusus *strap* aki yang patah menjadi perhatian serius karena tingkat frekuensi yang sangat tinggi.

Kerusakan pada Strap Aki

Strap aki dapat rusak baik pada saat pembuatan maupun ketika beroperasi. Beberapa kasus kerusakan *strap* aki adalah sebagai berikut¹⁵⁾:

1. Pelat lepas (*plate off*) dari strap, yaitu ujung pelat terlepas dari *strap* seperti terlihat pada Gambar 5. Penyebabnya antara lain adalah :
 - Ketinggian pelat sebelum dilas yang tidak seragam
 - *Lug* (ujung) pelat kotor sebelum dilas
 - Proses pengelasan yang kurang sempurna



Gambar 5. Sambungan Pelat Lepas dari Strap Aki

2. *Strap* hasil pengelasan retak/patah

Terjadinya patah *strap* pada saat proses pengelasan ataupun setelah aki tersebut dipakai oleh konsumen, seperti terlihat pada Gambar 6³⁾:



Gambar 6.
Strap Aki Patah

3. Connector terbakar

Connector terbakar dan menjadi cekung oleh proses pengelasan, seperti Gambar 7.



Gambar 7.
Connector Terbakar

Penyebab terjadinya *connector* terbakar ini adalah besar api las dan jarak api las dengan *connector* tidak sesuai standar.

4. Ketebalan strap melebihi standar

Tebal *strap* hasil pengelasan melebihi batas standar yang ditentukan, seperti Gambar 8. Beberapa penyebabnya adalah api las kurang dari standar, pengisian *filler* terlalu lama, dan material *filler* kotor.



Gambar 8.
Ketebalan Strap Melebihi Standar

Faktor-faktor penyebab Kegagalan atau Kerusakan dari Strap Aki

Beberapa faktor penyebab dari kegagalan atau kerusakan *strap* aki adalah sebagai berikut ¹¹⁻¹⁵ :

1. Faktor disain

Strap aki dibuat dengan tujuan sebagai penghantar arus dari masing-masing sel di dalam aki. Sehingga persyaratan dari disain *strap* aki adalah :

- Tidak patah ataupun retak dengan beban arus yang diterima dan dikeluarkan
- Tidak patah ataupun retak karena getaran atau vibrasi

Kesalahan dari faktor disain ini meliputi kesalahan dalam perhitungan, dan kesalahan memperhitungkan lingkungan operasi.

2. Faktor material

Adalah material bahan baku yang digunakan untuk membuat komponen *strap* aki. Misalnya cacat produk hasil cetak material, spesifikasi material yang salah, dan terjadinya penurunan sifat mekanis.

3. Faktor proses manufaktur

Kesalahan proses manufaktur meliputi : Kemampuan pekerja dalam melakukan proses pengelasan *strap* aki, penggunaan alat yang baik dan benar, serta penggunaan metode yang sesuai.

4 Faktor operasional

Adalah faktor kerusakan yang disebabkan atau terjadi oleh kesalahan dalam proses pengoperasian.

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan adalah dengan menerapkan sistem *root cause analysis*, yaitu menganalisa dari semua kemungkinan yang dapat menyebabkan kerusakan dengan didukung oleh pemeriksaan dan pengujian di laboratorium. Kemudian satu demi satu kemungkinan tersebut dialami sampai mengerucut ke suatu penyebab tertentu yang mempunyai bukti secara ilmiah dan logis yang dapat dijadikan penyebab utama. Pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Pemeriksaan secara visual terhadap *strap* aki yang mengalami patah ketika beroperasi.
2. Uji komposisi material bahan baku dan elektrolit
3. Pemeriksaan metallografi makro dan mikro.
4. Pemeriksaan jenis patahan dengan mikroskop elektron
5. Uji kekerasan produk
6. Uji kualitas hasil las dengan X-ray

- Analisis penyebab patah yang meliputi evaluasi hasil pemeriksaan dan pengujian.

Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Strap* aki yang belum mengalami patah seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9.

Strap Aki yang Belum Mengalami Patah

- Strap* aki yang sudah mengalami patah seperti terlihat pada Gambar 10



(a) (b)
Gambar 10.

Strap Aki yang sudah mengalami Patah:

(a) Tampak Atas, (b) Tampak Bawah

- Bahan bakutimbal dari masing – masing komponen pembentuk *strap* aki, seperti pada Gambar 11.



Pelat Negatif Pelat Positif Connector

Gambar 11.
Bahan Baku

- Cairan elektrolit yang rutin dipakai untuk aki kendaraan bermotor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Aki dan Spesifikasi

Data aki yang mengalami kerusakan adalah:

- Lama pemakaian : 6 bulan
- Tipe aki : NS 60
- *Voltage* aktual : 10,04 volt
- SpGr aktual : 1,02 gr/ml

Patahan pada *Strap* Aki

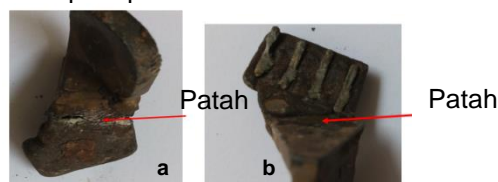
Dari data aki klaim didapatkan informasi bahwa aki tersebut telah beroperasi selama 6 bulan di konsumen. Dari investigasi dan observasi terhadap aki tersebut didapatkan patahan pada *strap* aki. Tahapan detailnya adalah sebagai berikut :

- Memeriksa kondisi fisik luar dari aki.
- Memeriksa dan mencatat tegangan dari masing – masing sel (6 sel) dari aki.
- Memeriksa dan mencatat nilai besaran SpGr (*Specific Gravity*) dari cairan elektrolit.
- Membongkar cover penutup aki.
- Memeriksa sel yang angka tegangan dan SpGr-nya rendah secara visual.
- Memisahkan *strap* aki yang patah.
- Mengambil sampel cairan elektrolit.

Hasil Pemeriksaan Visual

Hasil pemeriksaan visual sebagai berikut :

- Nomor sel dalam aki : 2
- *Strap* patah pada nomor sel : plate Negatif
- Posisi dan gambar *strap* patah adalah seperti pada Gambar 12



Gambar 12.

Posisi Patah pada *Strap*

(a) Tampak Atas (b) Tampak Bawah

Hasil Pemeriksaan Komposisi Kimia

Pengujian AAS dilakukan untuk melihat komposisi bahan bakuyang dipakai untuk membuat *strap* aki. Hasil pengujian komposisi material ditampikan pada Tabel 3.

Tabel 3.

Data Hasil Pengujian Komposisi Bahan Baku

Unsur	Plat positif		Plat negatif	
	Spec %	Hasil %	Spec %	Hasil %
Sn	0,17-0,22	0,21	0,9-1,1	0,001
S	0,004-0,008	0,002	Max.0,002	0,001
Se	0,028-0,036	0,023	Max.0,002	0,001
Sb	1,60-1,80	1,68	Max.0,002	0,009
Ca	Max.0,0005	0,0001	0,07-0,09	0,096

	Konektor		Filler	
	Spec %	Hasil %	Spec %	Hasil %
Sn	0,90-1,10	0,941	0,06-0,08	0,07
S	0,004-0,008	0,002	0,004-0,008	0,002
Se	0,015-0,019	0,013	0,005-0,015	0,010
Sb	2,40-2,60	2,25	3,00-3,20	3,177
Ca	Max.0,0005	0,0001	Max.0005	0,0001

Dari Tabel 3 terdapat ketidaksesuaian antara spesifikasi dengan hasil pengujian yang terjadi pada beberapa unsur :

1. Pelat positif :
 - Unsur Sulfur rendah akibatnya kadar korosi meningkat¹³⁾.
 - Unsur Selenium rendah menyebabkan kadar kekerasan menurun.
 -
2. Pelat negatif :
 - Unsur Timah putih rendah akibatnya kemampuan mengalirkan cairan timah hitam berkurang (*castibility* rendah), banyak terbentuk struktur kristal yang berlubang atau porositas tinggi⁵⁾.
 - Unsur Antimony tinggi akibatnya kekerasan & kekuatan meningkat.
 - Unsur Calcium tinggi sehingga kristal timbal akan lebih halus, kekerasan grid meningkat, regangannya mengecil, serta kekuatannya meningkat.
 -
3. Connector :
 - Unsur Sulfur rendah akibatnya kadar korosi meningkat⁷⁾.
 - Unsur Selenium rendah sehingga kadar kekerasan menurun.
 -
4. Filler :
 - Unsur Sulfur rendah sehingga kadar korosi meningkat.
 -

Dari data komposisi bahan baku yang dipakai untuk membuat *strap* aki tersebut terdapat beberapa unsur yaitu Sn, S dan Se yang berpotensi menyebabkan korosi serta porositas pada logam.

Tabel 4 adalah data hasil pengujian elektrolit yang digunakan untuk mengetahui pengaruh cairan ini terhadap *strap*.

Tabel 4.
Hasil Pengujian Kandungan Cairan Elektrolit

Unsur	Cairan elektrolit (H ₂ SO ₄)	
	Spesifikasi (ppm)	Hasil uji (ppm)
Fe	1,2186	1,5523
Cu	0,0407	0,0347
Zn	0,0812	0,0867
Ni	2,1053	1,3450

Pengaruh dari masing – masing unsur dalam cairan elektrolit adalah ¹⁴⁾:

- Fe mempengaruhi besar kecilnya *self discharge* pada aki.
- Ni mempengaruhi kekuatan grid yang ada di pelat.

Dari bukti ini menunjukkan bahwa cairan elektrolit yang dipakai tidak berpengaruh langsung terhadap kegagalan pada *strap* aki.

Hasil Uji Kekerasan

Pengujian dilakukan di daerah lasandisekitar daerah patah dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 5. Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan sangat jauh dibawah standar yaitu 15 HV, sedangkan nilai kekerasan menurut spesifikasi adalah 163 HV. Rendahnya nilai kekerasan tersebut diakibatkan oleh kandungan Timah putih (Sn) yang rendah¹⁴⁾.

Tabel 5.

Hasil Uji Kekerasan

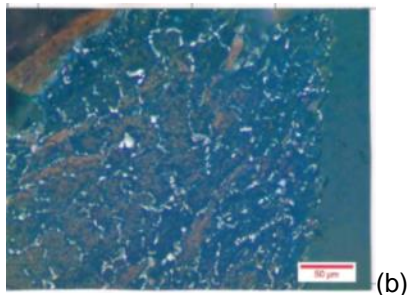
Titik	Hasil uji (HV)	Spesifikasi (HV)
1	15	
2	15	
3	15	163
4	15	
5	16	

Pengujian Metallografi

Pemeriksaan struktur mikro diambil dari potongan *strap* aki yang mengalami patah. Mikrostruktur dari daerah sekitar patahan dapat dilihat pada Gambar 13.

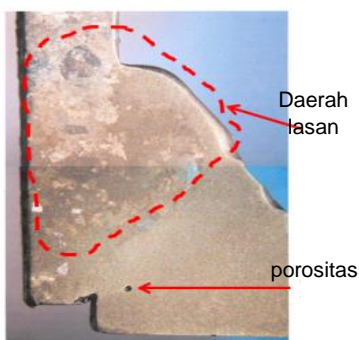
Pada Gambar 13 menunjukkan struktur mikro logam kristal awal yang kaya Pb berderet seperti batang kayu, dimana eutektik Sb 1,1% mengisi celah diantaranya. Fungsi dari Arsen (As) adalah memperbaiki sifat anti korosi di bagian eutektik serta mencegah korosi antar kristal. Tetapi campuran eutektik pada logam berkadar Sb rendah sehingga bagian ujung kelompok kristal awal, yaitu batas partikel, mudah retak.





Gambar 13.
Mikrostruktur dari Patahan dengan Menggunakan SEM
(a) Pembesaran 200x; Pembesaran 500x

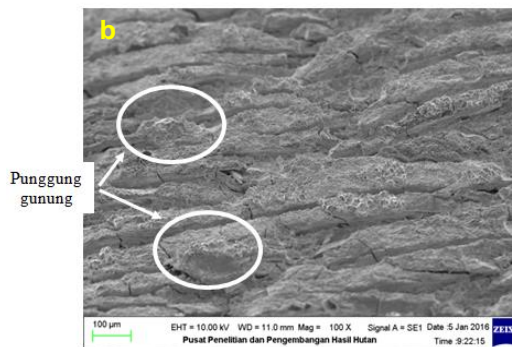
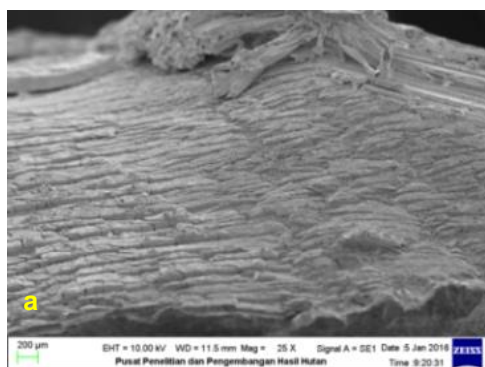
Pemeriksaan struktur makro diambil dari strap aki di daerah pengelasan yang belum mengalami patah, dan hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Gambar 14. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada daerah lasan kualitas pengelasannya baik, namun di daerah HAZ terdapat porositas, yang dapat menjadi sumber retak.



Gambar 14.
Penampang Strap Aki yang Tidak Patah

Pengujian Fraktografi

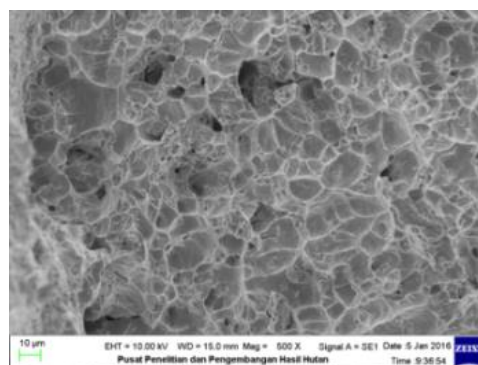
Permukaan patah adalah jejak utama sejarah kegagalan strap aki. Pada penelitian ini pengujian fraktografi dilakukan dengan SEM, karakteristik permukaan patah dan beberapa mekanisme yang terkait dengan tipe patahan dengan dua sampel di tampilan pada gambar 15.



Gambar 15.
Hasil Uji SEM
(a) permukaan patahan Strap. (b) perbesaran di alur patahan.

Dari Gambar 15 terlihat permukaan patahan dalam bentuk seperti pegunungan dihasilkan pada kondisi atmosfer yang mengandung sulfur. Punggung dan zona membentang itu terbentuk dari pergerakan retak bagian depannya. Efek ini terbentuk karena adanya retak lokal periodik dengan pembentukan partikel sulfida dalam pengayaan zona sulfur di ujung retak¹⁰. Hal ini membuktikan bahwa keseragaman kandungan sulfur dalam bahan baku komponen strap aki (*connector*, pelat dan *filler*) juga mempengaruhi terjadinya patah.

Pada Gambar 16 terlihat celah (*rongga*) sebagai hubungan *Stress Corrosion Cracking* (SCC) terhadap *Hydrogen Embrittlement*¹³. Terlihat mekanisme pertumbuhan retak yang cenderung sama dari beberapa bagian.



Gambar 16.
Hasil Uji SEM pada Sampel 2

Sumber dari *hydrogen embrittlement* dapat terjadi dari¹³:

1. Faktor internal bahan baku, yaitu jika bahan baku strap banyak mengandung elemen yang mendorong terbentuknya reaksi lepasnya atom hydrogen dari paduan dan kemudian masuk ke batas butir matriks strap. Kegagalan *hydrogen embrittlement* dicegah dengan mengontrol jumlah hydrogen yang diperkenankan

- selama pembuatan dan pengolahan bahan baku, khususnya dalam proses pencairan.
2. Faktor Eksternal, yaitu faktor masuknya unsur atau kandungan hidrogen dari luar bahan baku, di sekitar *strap* aki. Hidrogen dihasilkan oleh adanya ketidaknormalan proses manufaktur aki dan selama pemakaian aki itu sendiri. Dalam hal ini disebabkan oleh *over charge*.

Hydrogen embrittlement merupakan suatu fenomena penurunan keuletan dan ketangguhan sifat mekanik logam akibat interaksi dengan hidrogen¹³⁾. Dimana terjadi degradasi sifat mekanik akibat *hydrogen embrittlement* yang berpengaruh terhadap variasi ukuran butir. Proses masuknya hidrogen kedalam logam adalah jalan katodik menggunakan larutan elektrolit H₂SO₄ yang ada dalam aki¹⁵⁾.

Pengujian X-ray Radiografi

Pengujian X-ray dilakukan untuk mengetahui kualitas lasan dari *strap* aki yang tidak patah. Hasil Uji Radiografi dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17.
Hasil Uji X-ray Radiografi

Berdasarkan hasil analisis dari gambar hasil X-Ray pada pengelasan *strap* aki yang tidak patah menunjukkan bahwa tidak ditemukan adanya indikasi cacat, sehingga hasil pengelasan dapat disimpulkan mempunyai kualitas yang baik.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil pengujian terhadap *strap* aki, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kerusakan bukan disebabkan karena proses pengelasan karena hasil analisis kualitas lasan baik.

2. Kerusakan juga bukan disebabkan oleh larutan elektrolit yang digunakan, karena hasil ujinya juga baik.
3. Tidak ada bukti otentik yang mengarah ke kesalahan proses assembling
4. Telah ditemukan bukti bahwa komposisi kimia bahan baku sangat menyimpang dari standar yaitu kandungan, Sn, Sb, Se dan S, yang dapat mengakibatkan mampu cor paduan timah hitam menurun, rendahnya nilai kekerasan dan memicu terjadinya SCC dan hydrogen embrittlement sehingga *strap* mudah patah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada kepala program studi Magister Teknik Mesin ISTN beserta staf atas bimbingan dan arahnya. Ucapan terimakasih juga di sampaikan kepada kepala B2TKS beserta staf atas kerjasamanya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Linden, David; Reddy, Thomas B., eds.. *Handbook Of Batteries* 3rd ed.2012. New York: McGraw-Hill. p. 23.5.
2. Schmidt-Rohr, K..*How Batteries Store and Release Energy: Explaining Basic Electrochemistry*, J. Chem. Educ 95,(2018): pp1801-1810
3. Bryann Hibbert D, *Introduction to Electrochemistry*, The Macmillan Press Ltd, London. 2013
4. Detchko Pavlov, *Lead Acid Batteries Science and Technology*. First Edition, 2011
5. Mercedes-Benz Battery Production Plant and Assembly Line, <https://youtu.be/iBhFTJ-ajbE> diakses juli 2018.
6. Production cycle of a sealed lead-acid battery, Electronics and communication technology, 15 November 2017.
7. <https://www.edgefx.in/battery-manufacturing-and-assembling-process-in-industries/> diakses april 2018
8. Calvin D Ritchie, Cation-anion combination reactions. A review, Canadian journal of chemistry, vol.12, 2009,pp.2239-2250.
9. Dell, Ronald; David Anthony; James Rand, *Understanding Batteries*. Royal Society of Chemistry. 2001, ISBN 0-85404-605-4

10. D.A.J. Randa, D.P. Bodenb, C.S. Lakshmic, R.F. Nelsond, R.D. Prengamane, Manufacturing and operational issues with lead-acid batteries, *Journal of Power Sources* 107, 2012, p.280–300.
11. D.W.H. Lambert a, J.E. Manders b, R.F. Nelson c, K. Peters d, D.A.J. Rand, M. Stevenson, Strategies for enhancing lead–acid battery production and performance, *Journal of Power Sources* 88, 2010, pp 130–147.
12. American Society of Materials (ASM) *Metals Handbook Vol. 11, Failure analysis and prevention*, 2010.
13. Yuichi Tsuboi, Ken Sawai, Masashi Shiota, Nobumitsu Hirae, Shigeharu Osumi, Corrosion Behavior of Pb-CA-Sn Alloy of Negative Electrode for Lead Acid Battery during Potential Step Cycles, Technical Report, 2017
14. American Society of Materials (ASM) *Metals Handbook Vol. 02, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, 2010.
15. H. Bode, in: *Lead–Acid Batteries*, Wiley, New York, USA, 2008, pp. 248–273.