

# PENINGKATAN SIFAT MEKANIS ALUMINIUM BEKAS YANG DIDAUR ULANG MELALUI INOKULASI UNSUR TEMBAGA

---

**Aris Budiyo**

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

Abstrak. Tujuan yang dicapai adalah (1) mendiskripsikan metoda pengecoran dan menganalisis sifat fisis maupun mekanis paduan aluminium dari bahan daur ulang (*recyclable materials*); (2) menganalisis sifat bahan terhadap perlakuan aluminium paduan dari bahan daur ulang (*recyclable materials*) melalui proses inokulasi unsur Cu; (3) melakukan optimalisasi perlakuan proses inokulasi unsur Cu bahan aluminium paduan daur ulang; dan (4) merumuskan metoda peningkatan sifat material dan besarnya peningkatan yang diperoleh. Metode yang digunakan adalah Eksperimen Laboratorium. Bahan yang digunakan adalah sekrap aluminium terpilih dari bahas piston bekas sedang unsur tembaga (Cu) berasal dari kawat tembaga. Inokulasi menggunakan unsur Cu divariaskan 2%, 4,5% dan 6%. Bahan dilebur pada crucible grafit dengan pemanasan burner sedangkan inokulasi dilakukan pada cairan logam, selanjutnya dibuat spesimen dan diuji komposisi kimia, foto mikro, uji kekerasan dan uji impak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Proses pengecoran untuk material aluminium daur ulang dilakkan dengan mencairkan logam tersebut ke dalam dapur crucible yang dipanaskan dengan burner sampai suhu 725° untuk mendapatkan hasil coran yang baik, kemudian dituang pada cetakan logam yang telah dipanaskan supaya tidak terjadi pendinginan yang mendadak. (2) Untuk menganalisis sifat mekanis dari aluminium adalah dengan melakukan pengujian kekerasan, tarik dan impak menggunakan mesin-mesin uji yang telah dikalibrasi serta spesimen pengujian dibuat sesuai dengan standar ASTM yang disesuaikan dengan mesin uji. (3) Optimaslisasi dilakukan dengan menambahkan unsur Cu dengan metoda inokulasi pada cairan logam, sehingga diperoleh kekuatan mekanis yang paling optimal. (4) Inokulasi unsur Cu menunjukkan adanya peningkatan pada sifat mekanis piston bekas yang dicor ulang, hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai kekerasan *Brinell* dan nilai ketangguhan *impact*. Kesimpulannya adalah bahwa inokulasi Cu sebesar 4,5% pada pengecoran piston bekas menghasilkan sifat fisis dan mekanis yang lebih baik bila dibandingkan dengan penambahan unsur Cu sebesar 2% dan 6% serta *raw material*, hal ini sesuai dengan referensi.

Kata Kunci: Sifat mekanis, aluminium bekas, inokulasi, tembaga

## PENDAHULUAN

Sebuah studi baru yang ditugaskan oleh Asosiasi yang berbasis Aluminium (<http://id.eastfilters.com>), menunjukkan bahwa penggunaan aluminium untuk otomotif di Amerika sangat tinggi, rata-rata 8,6% dari berat kendaraan tahun 2009 hal ini naik dari hanya 2% pada tahun 1970 dan 5,1 % pada tahun 1990. Integrasi aluminium di mobil dan truk ringan diproyeksikan menjadi hampir 11% dari berat kendaraan pada tahun 2020. Di seluruh dunia, jumlah konten aluminium untuk kendaraan ringan adalah 7,8% dari rata-rata kendaraan ringan di seluruh dunia menghemat berat £ 3.185 pada tahun 2009. Konten pertumbuhan diperkirakan untuk melanjutkan pada tingkat 4-5 pon per kendaraan, per tahun, dan pendekatan £ 300 per kendaraan di seluruh dunia pada tahun 2020.

Piston yang merupakan salah satu komponen yang terbuat dari aluminium paduan harus mempunyai sifat-sifat yang sesuai dengan fungsinya sebagai pembawa tekanan dalam mentransfer energi ke poros engkol melalui batang piston dimana gerak lurus bolak-balik piston dirubah menjadi gerak putar oleh poros engkol. Di dalam silinder, piston selalu bergerak cepat akibat desakan dari gas pembakaran hal ini mengakibatkan piston selalu bersinggungan dengan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi. Oleh karena itu piston dibuat dari aluminium paduan yang mengandung sekitar 98-94% Al, selain ringan juga memberikan pembuangan panas yang baik dibanding material lainnya, tetapi pada piston yang dibuat dari paduan aluminium mempunyai kelemahan dalam kekuatan dan pemuaiian bentuk akibat dari suhu tinggi. Untuk itu diperlukan inovasi baru yang berkelanjutan pada aluminium paduan dengan penambahan unsur lain sehingga diperoleh aluminium paduan yang kuat sekaligus ringan. Unsur-unsur tersebut adalah tembaga (Cu), Nikel (Ni), Silikon (Si), Magnesium (Mg), Seng (Zn) dan Mangan (Mg) secara satu persatu ataupun bersamaan.

Disadari bahwa, untuk memproduksi aluminium diperlukan energi yang sangat besar sedangkan jumlah persediaan material tersebut semakin menipis. Disisi lain limbah logam menjadi permasalahan serius yang harus dicarikan solusi karena itu limbah logam khususnya aluminium bekas (aluminium sekrap) perlu didaur ulang. Pemanfaatan material bekas/sekrap atau daur ulang (*recyclable materials*) adalah sangat diharapkan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku dengan pertimbangan harga yang terjangkau oleh industri kecil, namun pemanfaatnya masih kurang mempertimbangkan kualitasnya. Pada penelitian ini diharapkan dapat menungkap karakteristik material akan dilakukan pemulihan (*recovery*) dan peningkatan (*increase*) sifat material melalui penambahan unsur pada pada cairan logam (inokulasi) dengan komposisi yang paling tepat.

## METODE

Untuk mencapai tujuan di atas maka penelitian ini dirancang secara bertahap dengan

menggunakan pendekatan *Action Research melalui Experintal Laboratorium*, yaitu penelitian yang dilanjutkan dengan tindakan melalui proses Aksi-Refleksi- Evaluasi dalam siklus yang sistematis. Pada tahap penelitian/pengkajian yaitu untuk mengkaji dan menguji secara mendalam tentang proses pengecoran paduan aluminium dari bahan daur ulang dan perlakuan melalui proses inokulasi unsur Cu pada cairan logam. Penuangan menggunakan dapur krusibel grafit dan cetakan logam dengan metoda grafitasi untuk membuat spesimen. Kemudian diuji sifat fisis bahan yang berupa komposisi kimia dan struktur mikro, selanjutnya diuji sifat mekanis material yang berupa kekerasan, kekuatan tarik dan impak. Kemudian pada tahap aksi/tindakan, dilakukan peningkatan sifat fisis, dan mekanis dengan melakukan perlakuan optimalisasi perlakuan. Selajutnya adalah tahap refleksi dan evaluasi adalah tahap pengkajian sekaligus penyimpulan hasil aksi/tindakan. Tahap ini dilakukan setiap kali aksi dan juga terhadap keseluruhan aksi yang telah dilaksanakan.

### **Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: (a) Dapur peleburan, (b) Kompresor, (c) Tangki minyak tanah, (d) Cetakan logam, (e) Timbangan, (f) Gergaji, (g) Kikir, (h) Mesin *milling*, (i) Alat uji *impact (Charpy)* Hung Ta tipe HT-8041A, (j) Alat uji kekerasan *Brinell* merk AFFRI, (k) Alat foto mikro dan makro. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah piston bekas yang dicor ulang (*remelting*) dan selanjutnya dibentuk menjadi spesimen uji *impact (Charpy)* dan uji kekerasan *Brinell*.

### **Proses pengecoran piston bekas dengan penambahan Cu**

Proses peleburan piston bekas dan kawat Cu menjadi spesimen uji kekerasan *Brinell* dan spesimen uji *impact* dilakukan dengan menggunakan tungku *crussible* yang terbuat grafit dengan berbahan bakar minyak tanah. Adapun tahapan dari proses pengecoran piston bekas dengan tambahan kawat Cu adalah sebagai berikut:

1. Isi minyak tanah pada tangki bahan bakar kemudian tambahkan tekanan udara di dalam tangki sebesar 4 Mpa yang berasal dari kompresor.
2. Buka kran minyak tanah pada tangki sehingga minyak tanah keluar melalui kompor kemudian tutup kran dan nyalakan api pada kompor tunggu hingga nyala kompor stabil.
3. Jika panas dalam kompor sudah stabil masukkan material dasar yang berupa piston bekas ke dalam tungku *crussible* yang terbuat dari grafit. Panaskan juga cetakan hingga mencapai suhu 200°C hal ini bertujuan untuk mengurangi waktu pendinginan yang terlalu cepat pada saat proses pengecoran pada cetakan logam yang bisa menyebabkan cacat pada coran. Bila piston bekas sudah lebur (suhu lebur +/-750°C) tuang dalam cetakan untuk spesimen *raw material*.
4. Proses selanjutnya adalah pencampuran kawat Cu ke dalam piston bekas yang telah lebur

sesuai dengan variasi fraksi volume, jangan lupa aduk campuran piston bekas dan kawat Cu agar diperoleh campuran yang merata (suhu lebur untuk Cu Alloy +/-9150).

5. Setelah semua campuran piston bekas dan kawat Cu merata ambil adonan dengan menggunakan ladle kemudian tuang kedalam cetakan logam yang sudah dipanaskan.
6. Lepas benda coran dari cetakan logam dan diamkan sekitar 1 jam sampai bahan coran dingin setelah itu bahan coran siap dibentuk menjadi spesimen uji kekerasan *Brinell* dan ketangguhan *impact*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

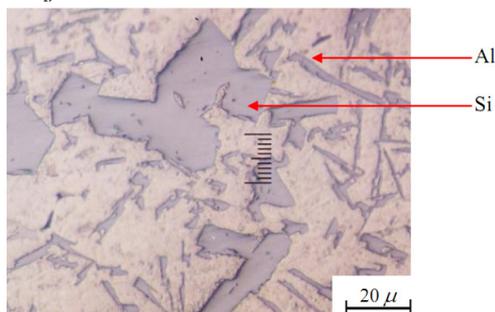
Hasil pengujian komposisi terlihat pada tabel terlihat pada tabel ikut.

**Tabel 2. Hasil pengujian komposisi kimia**

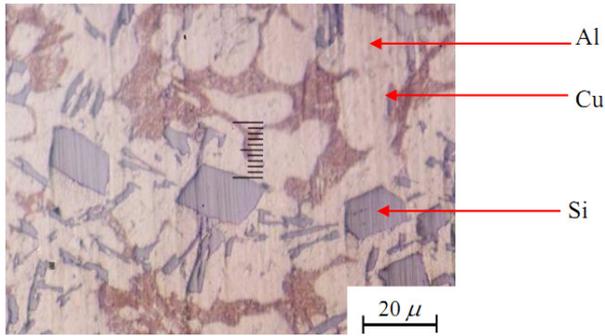
Unsur	Raw material (%)	Al + 2 % Cu (%)	Al + 4,5 % Cu (%)	Al + 6 % Cu (%)
Si	40,991	21,783	16,691	26,592
Fe	0,75209	0,52654	0,45228	0,49221
Cu	1,3364	9,5144	19,829	25,417
Mn	0,32144	0,07514	0,03023	0,141
Ni	0,53278	0,6308	0,82998	0,45462
Zn	0,0983	0,04342	0,0149	0,04685
Sn	0,11993	0,04787	0,04512	0,049
Al	55,848	67,379	62,107	46,808

### Foto mikrostruktur

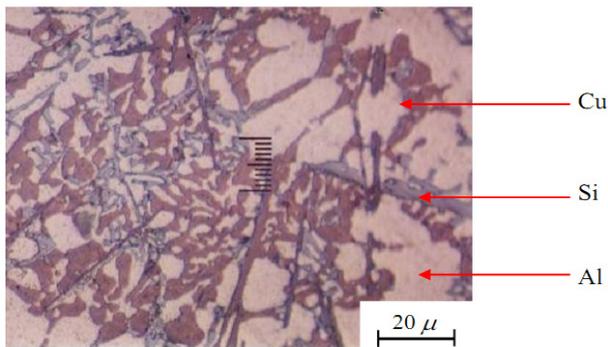
Pengujian foto mikro bertujuan untuk menganalisa struktur yang terdapat pada benda uji atau spesimen, di mana pada penelitian ini yang menjadi objeknya adalah Al, Cu dan Si sehingga dari hasil pengujian foto mikro ini dapat diketahui perbedaan dari masing- masing karakteristik benda uji.



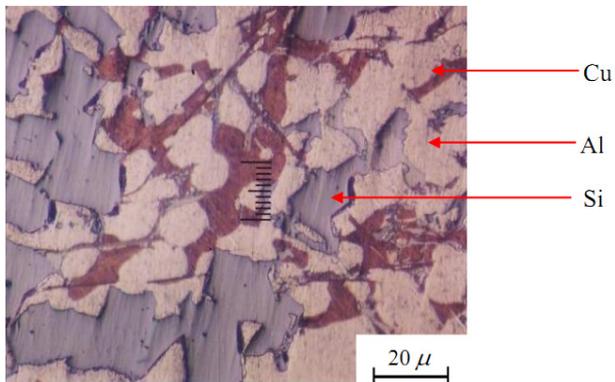
**Gambar 1. Foto mikro raw material dengan pembesaran 500 kali**



**Gambar 2. Foto mikro Al + 2% Cu dengan pembesaran 500 kali**



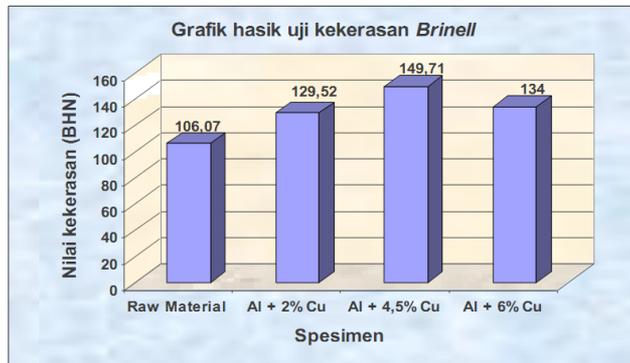
**Gambar 3. Foto mikro Al + 4,5% Cu dengan pembesaran 500 kali**



**Gambar 4. Foto mikro Al + 6% Cu dengan pembesaran 500 kali**

### Hasil uji kekerasan *Brinell*

Pengujian kekerasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan *Brinell* dengan menggunakan mesin uji kekerasan merk AFFRI model 206 RT. Di bawah ini tabel hasil pengujian kekerasan *Brinell* untuk masing-masing spesimen dengan variasi yang berbeda-beda mulai dari *raw material*, Al + 2% Cu, Al + 4,5% Cu, dan Al + 6% Cu. Hasil pengujian terlihat pada grafik berikut.



**Gambar 5. Grafik hasil kekerasan *Brinell* (BHN)**

Pengujian kekerasan *Brinell* ini menggunakan bola penetrator berdiameter 2,5 mm dengan besar beban 62,5 kgf, dimana tiap spesimen diberi pengujian kekerasan sebanyak 3 kali. Dari hasil pengujian pada tiap variasi penambahan Cu kemudian dianalisis kedalam bentuk persamaan dengan hasil akhir dalam bentuk tabel atau grafik. Nilai rata-rata kekerasan untuk spesimen *raw material* adalah sebesar 106,07

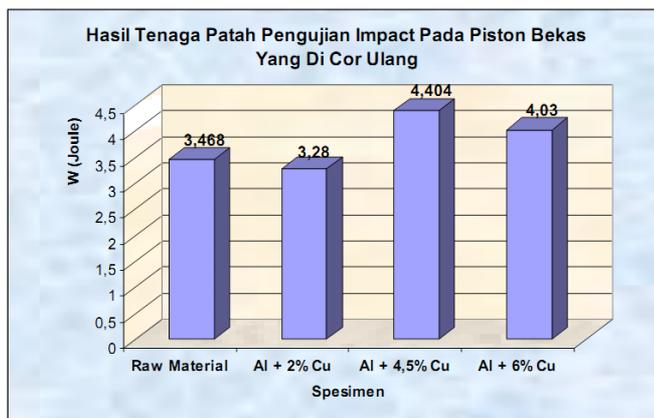
BHN sedang pada tabel 10 untuk nilai kekerasan rata-rata spesimen aluminium paduan dengan penambahan 2% Cu diketahui sebesar 129,52 BHN. Dari data kedua variasi ini dapat diketahui adanya peningkatan nilai kekerasan sebesar 23,45 BHN dari aluminium paduan dengan penambahan Cu sebesar 2% terhadap spesimen *raw material*. Nilai rata-rata kekerasan untuk spesimen aluminium paduan dengan penambahan 4,5% Cu sebesar 149,71 BHN atau mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 43,64 BHN dari nilai kekerasan rata-rata spesimen *raw material*, sedang untuk nilai rata-rata kekerasan spesimen aluminium paduan dengan penambahan 6% Cu juga mengalami peningkatan nilai kekerasannya sebesar 27,93 BHN dari nilai rata-rata kekerasan *raw material*. Dari grafik batang yang ditunjukkan pada gambar 5 juga dapat diketahui bahwa aluminium paduan dengan penambahan Cu sebesar 4,5% mempunyai nilai rata-rata kekerasan tertinggi dari spesimen lainnya, berdasar pada hasil foto mikro hal ini disebabkan karena pada spesimen Al+4,5Cu% terdapat banyak dendrit yang terbentuk pada matrik aluminium paduan dan dendrit inilah yang memberikan peningkatan terhadap nilai kekerasan spesimen Al+4,5%Cu.

### **Ketangguhan *impact***

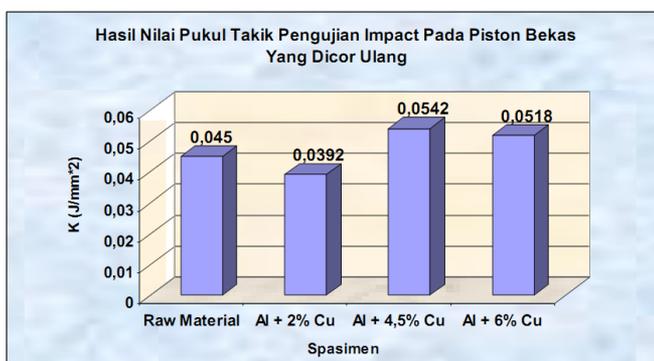
Pengujian ketangguhan *impact* ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar ketangguhan bahan aluminium paduan dari piston bekas yang dicor ulang dengan variasi penambahan Cu 0%, 2%, 4,5%, dan 6% terhadap beban kejut. Hasil dari pengujian *impact* ini sendiri berupa besarnya energi yang diserap oleh spesimen (W) dan nilai pukul takik (K). Pada gambar 6 grafik hasil

tenaga patah pada pengujian *impact charpy* ditunjukkan bahwa nilai tenaga patah untuk spesimen *raw material* tanpa penambahan unsur Cu sebesar 3,46 joule dan pada spesimen aluminium paduan dengan penambahan unsur Cu sebesar 2% sebesar 3,28 joule disini dapat dilihat bahwa adanya penurunan terhadap energi patah sebesar 5,49% terhadap spesimen *raw material*.

Sedang untuk tenaga patah pada spesimen aluminium paduan dengan penambahan 4,5% Cu mengalami peningkatan nilai tenaga patahnya terhadap spesimen *raw material* sebesar 4,41 joule atau 21,54%, begitu juga pada spesimen aluminium paduan dengan penambahan Cu sebesar 6% juga mengalami peningkatan nilai tenaga patahnya sebesar 4,02 joule atau 13,9% terhadap spesimen *raw material*, tetapi di sisi lain dapat dilihat bahwa terjadi adanya penurunan tenaga patah antara spesimen aluminium paduan dengan penambahan Cu sebesar 4,5% dengan 6% yaitu sebesar 0,39 joule atau 8,84%. Dari sini dapat juga diketahui bahwa spesimen aluminium paduan dengan penambahan 4,5% Cu mempunyai nilai yang paling tinggi bila dibandingkan dengan spesimen lainnya, hal ini dikarenakan pada spesimen Al+4,5% Cu terdapat banyak dendrit yang terbentuk pada matrik aluminium paduan, terbentuknya banyak dendrit ini secara tidak langsung menambah nilai ketangguhan aluminium paduan terhadap energi patahan.



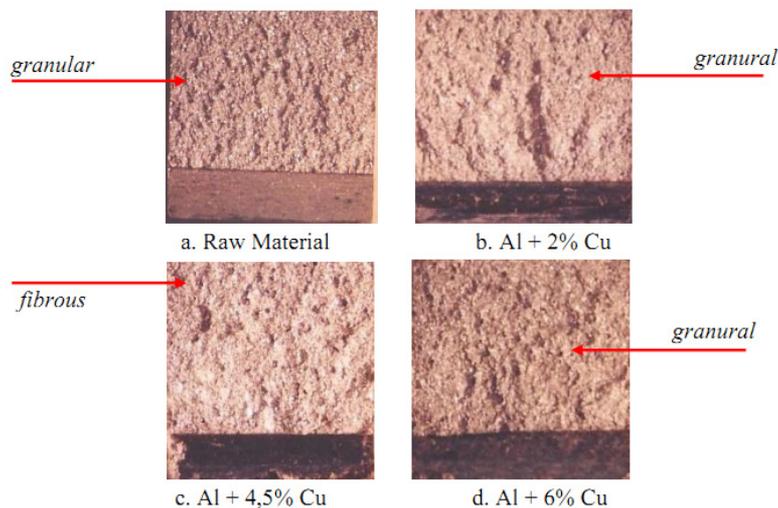
Gambar 6. Grafik hasil tenaga patah (W)



Gambar 7. Grafik hasil pukul takik (K)

Gambar 7 menunjukkan hasil dari nilai pukul takik pada pengujian ketangguhan *impact charpy* dengan 4 variasi penambahan Cu sebesar 0%, 2%, 4,5% dan 6% terhadap piston bekas yang dicor ulang. Nilai pukul takik untuk spesimen *raw material* diketahui sebesar 0,045 J/mm<sup>2</sup> sedang untuk nilai pukul takik pada spesimen lainnya (4,5% dan 6%) mengalami peningkatan terhadap spesimen *raw material* kecuali pada variasi penambahan unsur Cu sebesar 2% yang mengalami penurunan sebesar 0,0058 atau 12,89% dari nilai pukul takik spesimen *raw material*.

Untuk nilai pukul takik pada spesimen aluminium paduan dengan penambahan Cu sebesar 4,5% mengalami kenaikan sebesar 0,0092 J/mm<sup>2</sup> atau 16,97% dari spesimen *raw material*, sedangkan untuk variasi penambahan Cu sebesar 6% mengalami peningkatan nilai pukul takik sebesar 13,13% atau 0,0068 J/mm<sup>2</sup> dari spesimen *raw material*. Selain adanya penurunan nilai pukul takik pada spesimen dengan variasi penambahan Cu sebesar 2% terhadap spesimen *raw material* juga didapatkan adanya penurunan nilai pukuk takik pada spesimen variasi penambahan 6% Cu terhadap spesimen dengan variasi penambahan Cu sebesar 4,5% yaitu sebesar 0,0024 J/mm<sup>2</sup>, penurunan nilai takik kedua variasi ini bisa disebabkan banyaknya cacat titik yang menimbulkan terbentuknya *void* atau kekosongan tempat pada matrik aluminium paduan sehingga terjadi penurunan terhadap nilai pukul takiknya. Dari hasil pengujian nilai pukul takik ini juga dapat diketahui bahwa spesimen dengan penambahan Cu sebesar 4,5% mempunyai nilai tertinggi dari spesimen lainnya, hal ini juga disebabkan karena pada spesimen Al+4,5% Cu mempunyai bentuk susunan dendrit yang merata pada matrik aluminium paduan.



**Gambar 8. Foto makro penampang patah hasil uji *impact***

Pada gambar 8 menunjukkan penampang patah hasil pengujian *impact raw material*, Al + 2% Cu, Al + 4,5 %, dan Al + 6%. Pada pengujian *impact raw material*, Al + 2% dan Al + 6% Cu mempunyai bentuk penampang yang permukaannya rata dan bentuk patahan seperti ini

termasuk dalam jenis patahan *granular* atau patahan getas, jika dilihat berdasar hasil patahan diketahui bahwa ketiga variasi ini mempunyai susunan butir yang kasar yang dapat menimbulkan perambatan retak yang cepat, sedangkan pada Al + 4,5% Cu mempunyai bentuk patahan *fibrous* atau patahan berserat. Bentuk patahan *fibrous* biasanya mempunyai kekuatan yang ulet dan bila dilihat pada foto bentuk patahan dari spesimen Al+4,5% Cu terdapat banyak lekukan (*dimple*) yang menunjukkan bahwa spesimen Al+4,5% Cu ulet. . Dari analisis dari keempat bentuk patahan diatas dapat disimpulkan bahwa Al + 4,5% Cu mempunyai nilai pukul takik dan nilai patahan yang paling baik, bila ditinjau berdasar pada hasil foto mikro tingginya peningkatan nilai ketangguhan ini disebabkan karena munculnya dendrit-dendrit pada matrik alumunium paduan dan dendrit ini tersebar merata pada setiap sisi dari matrik alumunium paduan.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasar pada analisa dan perhitungan dari data-data yang diperoleh dari hasil perbaikan sifat mekanis aluminium bekas yang didaur ulang melalui Inokulasi Unsur Tembaga maka dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut.

1. Proses pengecoran untuk material aluminium daur ulang dilakukan dengan mencairkan logam tersebut ke dalam dapur *crusible* yang dipanaskan dengan burner sampai suhu 725 derajat untuk mendapatkan hasil coran yang baik, kemudian dituang pada cetakan logam yang telah dipanaskan supaya tidak terjadi pendinginan yang mendadak.
2. Untuk menganalisis sifat mekanis dari aluminium adalah dengan melakukan pengujian kekerasan, tarik dan impak menggunakan mesin-mesin uji yang telah dikalibrasi serta spesimen pengujian dibuat sesuai dengan standar ASTM yang disesuaikan dengan mesin uji.
3. Optimaslisasi dilakukan dengan menambahkan unsur Cu dengan metoda inokulasi pada cairan logam, sehingga diperoleh kekuatan mekanis yang paling optimal.
4. Inokulasi unsur Cu menunjukkan adanya peningkatan pada sifat mekanis piston bekas yang dicor ulang, hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai kekerasan *Brinell* dan nilai ketangguhan *impact*. Hasil uji kekerasan *raw material* sebesar 106,07 BHN, setelah dilakukan penambahan unsur Cu sebesar 2% nilai kekerasannya meningkat menjadi 129,52 BHN, sedang pada penambahan unsur Cu sebesar 4,5% dan 6%Cu mengalami peningkatan nilai kekerasan masing-masing sebesar 149,71 BHN dan 134 BHN. Nilai ketangguhan untuk spesimen *raw material* diketahui sebesar 0,045 J/mm<sup>2</sup>, untuk spesimen Al dengan penambahan unsur 2%Cu sebesar 0,0392 J/mm<sup>2</sup> atau mengalami penurunan sebesar 0,0058 atau 12,89% dari nilai ketangguhan spesimen *raw material* sedang pada

penambahan unsur Cu sebesar 4,5% nilai ketangguhannya sebesar 0,0542 J/mm<sup>2</sup> dan penambahan unsur Cu 6% sebesar 0,0518 J/mm<sup>2</sup> dengan peningkatan nilai ketangguhan masing-masing sebesar 16,97% dan 13,13% dari spesimen *raw material*. Penurunan nilai ketangguhan pada spesimen Al+2% Cu terhadap *raw material* disebabkan tingginya temperatur *eutektik* dari fasa Al dan Cu yang mengakibatkan banyaknya unsur Si yang hilang, sehingga menimbulkan munculnya porositas dan *void* atau kekosongan ruang pada matrik aluminium. Peningkatan nilai kekerasan dan ketangguhan dari Al+4,5% Cu terjadi dikarenakan pada saat proses *presipitasi* dari fasa padat  $\alpha$  ke fasa padat  $\alpha+\beta$  atom-atom sel satuan bergerak secara merata sehingga memudahkan terbentuknya dendrit dan butiran partikel yang halus.

5. Inokulasi Cu sebesar 4,5% pada pengecoran piston bekas menghasilkan sifat fisis dan mekanis yang lebih baik bila dibandingkan dengan penambahan unsur Cu sebesar 2% dan 6% serta *raw material*, hal ini sesuai dengan referensi. Tingginya nilai mekanis Al+4,5% Cu ini disebabkan karena pada struktur mikro Al+4,5% presipitat dari Si dan Cu yang terurai secara merata sehingga menimbulkan munculnya dendrit-dendrit baru dan ukuran partikel yang halus secara tidak langsung merubah sifat mekanis dari Al+4,5% menjadi tinggi.

## Saran

1. Untuk mengurangi banyaknya porositas yang muncul pada saat proses pengecoran piston bekas dengan penambahan unsur Cu dapat dilakukan proses *degassing*.
2. Dalam mendapatkan campuran unsur paduan Cu yang baik pada waktu proses pengecoran hendaknya diperlukan alat pengaduk atau *mixer machine* agar diperoleh campuran unsur paduan yang lebih sempurna.
3. Sewaktu proses penuangan hendaknya cetakan logam dipanasi terlebih dahulu hingga mencapai suhu 2000 C hal ini dilakukan untuk mengurangi proses penyusutan cetakan yang terlalu cepat pada waktu proses pendinginan.
4. Berdasar pada hasil sifat fisis dan mekanis dari Al+4,5% Cu terhadap spesimen *raw material* maka spesimen Al+4,5% Cu dapat dijadikan alternatif dalam pengadaan material metal paduan untuk komponen-komponen otomotif seperti piston, *manifold*, dudukan *shockbecker*, *velg*, blok mesin dll.

## DAFTAR PUSTAKA

.....*Metal Handbook Ninth Edition Volume 9 Metallography and Microstructures*, American SoCiety For Metals.

- Berthelot, M.J., 1997, *Composite Material, Mechanical Behavior And Structur Analysis*, Springer, Verlag, New York, USA.
- Budiyono, A. dan Jamasri, 2003, “Pengaruh Remelting terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Impak Paduan Aluminium Tuang 380”, *Proseding Seminar Nasional “Peran Riset dan Teknologi Bidang Teknik Mesin dalam Mendukung Pembangunan Nasional”*, Universitas Brawijaya, Malang.
- Budiyono, A. dan Jamasri, 2004, “Pengaruh Remelting terhadap Laju Perambatan Retak”, *Proseding Seminar Nasional “Perkembangan Riset dan Teknologi Bidang Industri”*, PAU Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Budiyono, Aris dkk, 2006, “Karakterisasi dan Peningkatan Ketahanan Retak Sekrap Aluminium yang Telah Mengalami Proses Remelting”, *Laporan Penelitian Hibah Pekerti*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Budiyono, Aris, 2002, “Perubahan Kekerasan pada Aluminium Sekrap Akibat Tuang Ulang (Remelting)”, *Varia Teknika, Vol. 22, Nomor 1, Januari 2002*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Budiyono, Aris, 2004, “Pengaruh Remelting terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Aluminium”, *Tesis, Fakultas Teknik*, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Henkel & Pense 2002. *Structure And Properties Of Engineering Materials*. New York, McGraw-Hill.
- <http://id.eastfilters.com/newsdetails/582/US%3A-otomotif-aluminium-menggunakan-naik.html> diakses 19 Februari 2011.
- M.E, M.Met, Djaprie, Sriati, Ir 1985. *Teknologi Mekanik*. Jakarta, Erlangga.
- Schlenker, R. B. 1971. *Introduction to Materials Science*. Sydney, John Wiley & Sons Australian PTY LTD.
- Smallman, E. R, Bishop, J. R, & M.E, M.Met, Djaprie, Sriati, Ir 2000. *Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material*. Jakarta, Erlangga.
- Surdia T., 1975. *Pengetahuan Bahan Teknik*. edisi kelima. Jakarta, PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, Tata dan Chijiwa, Kenji. 1982. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta, PT. Pradnya Paramita.