



## DAFTAR ISI

Pengembangan Paduan Aluminium AA 319 (Al-Si-Cu) Dengan Penambahan 3 wt.% Zn : Pengamatan Pada Kondisi Coran Dan Setelah Perlakuan Panas <i>Bondan T. Sofyan</i>	1
Pengembangan Dinding Beton Ringan Berbahan Serat Jerami Padi Sebagai Pengganti Batu Bata <i>Andi Saidah, Suryani Buang dan Uus Rusdiana</i>	9
Pengaruh Pencampuran Batubara Bituminus Dan Sub-Bituminus Dari Tanjung Enim Terhadap Karakteristik Pembakarannya <i>Nukman dan Ahmad Juni Fitra Agung</i>	19
Sistem Kontrol Pada Teknologi Variable Depth Tillage <i>Soeharsono dan Radite P.A. Setiawan</i>	29
Pengaruh Degasser Dan Grain Refiner Terhadap Sifat Mekanik Paduan AL-SI Produk Cor <i>Sofyan Djamil</i>	37
Karakteristik Koefisien Perpindahan Panas Lokal Dan Pola Aliran Fluida Melalui Permukaan Penghantar Panas Dengan Susunan Rectangular FIN <i>Ainul Ghurri dan Ngurah Putra Wibawa</i>	43
Pengaruh Proses Karbonisasi Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket Biomassa Cangkang Kakao <i>M. Syamsiro dan Harwin Saptoadi</i>	55
Desain Alat Uji Defleksi Konstruksi Balok Sederhana <i>Agustinus Purna Irawan</i>	63

## **Pengembangan Paduan Aluminium AA 319 (Al-Si-Cu) Dengan Penambahan 3 wt.% Zn : Pengamatan Pada Kondisi Coran dan Setelah Perlakuan Panas**

**Bondan T. Sofyan**

Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok 16424, Indonesia.  
[bondan@metal.ui.ac.id](mailto:bondan@metal.ui.ac.id)

### **Abstrak**

*Paduan Aluminium AA 319 sering digunakan pada proses pengecoran yang membutuhkan karakteristik coran yang baik dengan keuletan yang baik. Secara ekonomis, penambahan scrap pada proses pengecoran mampu mengurangi biaya produksi namun menyebabkan fluktuasi komposisi paduan. Salah satu unsur yang sering berfluktuasi jumlahnya adalah Zn (seng).*

*Studi ini mempelajari pengaruh penambahan 3 wt. % Zn terhadap karakteristik setelah proses pengecoran dan proses perlakuan panas dengan variabel temperatur penuaan yang berbeda. Pengujian porositas dan k-mould dilakukan untuk menganalisa kualitas produk cor yang dihasilkan, sedangkan pengujian tarik dan kekerasan dilakukan guna mengamati respon pengerasan dari paduan ini terhadap proses penuaan (ageing). Sementara itu, observasi struktur mikro dari material dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik, Scanning Electron Microscope (SEM) yang dilengkapi dengan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS).*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 3 wt. % Zn tidak mampu meningkatkan respon paduan terhadap pengerasan pengendapan. Pengamatan porositas dan kandungan inklusi hasil coran mengindikasikan penambahan 3 wt. % Zn tidak memberikan efek yang signifikan. Sedangkan, kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan dan elongasi meningkat sebesar 0.41 %, 1.8 %, 5.7 % dan 27.5 %. Peningkatan kekerasan setelah proses perlakuan panas disebabkan adanya endapan yang diduga adalah  $Al_2Cu$ .*

*Kata kunci: AA319, Zn,  $Al_2Cu$ , penuaan*

## **Development of Aluminium AA 319 (Al-Si-Cu) Alloy with Addition of 3 wt.% Zn : Observation on As-Cast and As-Heat Treated Condition**

### **Abstract**

A commonly used aluminium alloy in casting process is AA319, that possesses good castability and ductility. Foundry industries generally use scrap along with virgin ingots as feed materials to reduce cost of production. However, this may lead to fluctuation in composition, and one element that is prone to it is Zn (zinc).

This research studies the effect of addition of 3 wt. % Zn on the as-cast as well as as-heat treated characteristics with variable ageing temperatures. Porosity and k-mould testing was conducted to analyze the quality of casting product, while tensile and hardness testing was utilized to follow the response of the alloy to ageing processes. Microstructural observation was performed by using optical microscope and Scanning Electron Microscope that is equipped with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS).

The results show that addition of 3 wt. % Zn did not significantly increase the age-hardening response. The presence of porosity and as-cast inclusion was not affected by addition of 3 wt. % Zn. While the tensile strength, yield strength, hardness and elongation increased by 0.41 %, 1.8 %, 5.7 % and 27.5 %, respectively. Increase in hardening after ageing process is indicated to be related to the precipitation of  $Al_2Cu$ .

*Keywords: AA319, Zn,  $Al_2Cu$ , ageing*

## Pendahuluan

Aplikasi penggunaan paduan aluminium sering digunakan untuk komponen otomotif karena berat jenis yang ringan ( $2.79 \text{ kg/m}^3$ ) sehingga dapat mengurangi berat mesin. Salah satunya adalah aluminium AA 319 yang memiliki kekuatan tarik 185-235 MPa, kekerasan 70 HB dan elongasi 2 % [ASM International, 1990]. Paduan aluminium AA 319 merupakan paduan eutektik Al-Si dengan dua tahap pembekuan utama yaitu pembentukan aluminium dendrit yang diikuti dengan pembentukan eutektik Al-Si. Adanya unsur paduan seperti Mg dan Cu dan elemen pengotor seperti Fe, Mn dan Zn menyebabkan proses pembekuan yang lebih kompleks, yaitu terbentuknya fasa-fasa intermetalik Al-Si pada mikrostruktur hasil coran. Pembentukan fasa-fasa ini terjadi saat pembekuan dimana jumlah fasa yang terbentuk akan meningkat seiring dengan menurunnya temperatur [Martinez dkk, 2004].

Unsur paduan seperti Zn, Cu, Mn dan Si memiliki kelarutan di dalam aluminium lebih dari 1 wt. % dan memiliki kelarutan yang lebih rendah pada suhu rendah. Semua paduan untuk *age hardening* terdiri dari paduan yang dapat melarut di temperatur yang tinggi (*solution heat treated*) dan mengendap pada temperatur rendah (*aged*) untuk meningkatkan kekerasan. Paduan untuk coran mengandung silikon sebagai elemen tambahan utama karena paduan Al-Si memiliki kemampuan mampu alir untuk mengisi cetakan yang baik dan tahan terhadap *hot cracking*. Terbentuknya fasa silikon pada hasil coran meningkatkan kekuatan karena banyaknya fasa silikon yang terbentuk selama proses pembekuan [Hatch, 1995].

Unsur paduan Fe merupakan elemen pengotor dalam paduan Al-Si [Ashtari dkk, 2005] sebab kelarutan Fe sangat rendah ( $\sim 0,04 \%$ ) dan temperatur lebur  $1538 \text{ }^\circ\text{C}$ . Fasa intermetalik hasil pembentukan dengan besi yang berupa  $\beta\text{-Al}_3\text{FeSi}$  sangat merugikan terhadap sifat mekanis paduan Al-Si. Dampak negatif ini dapat diatasi dengan menambahkan elemen paduan sehingga morfologi bentuk fasa ini berubah dari bentuk pipih menjadi fasa dendritik "*chinese script*" yang berupa  $\alpha\text{-Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$  [Ashtari dkk, 2004]. Fasa-fasa lain yang mungkin terbentuk dalam paduan aluminium, yang umum berupa  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{FeMnAl}_6$ , dan  $\alpha\text{-AlFeSi}$ .

Untuk meningkatkan kekuatan dari paduan aluminium AA 319 umumnya melalui proses pengerasan pengendapan. Terbentuknya endapan  $\text{Al}_2\text{Cu}$  dan  $\text{Mg}_2\text{Si}$  selama proses penuaan dapat meningkatkan kekuatannya. Penambahan unsur Zn dapat meningkatkan kekuatan tarik (*tensile properties*) untuk paduan aluminium hasil pengerjaan. Penambahan Zn bersamaan dengan tembaga dan magnesium akan menghasilkan komposisi *heat-treatable* dan penuaan alami yang unik. Zn juga umumnya digunakan pada komposisi pengecoran *gravity casting* dan *die casting* dari material *scrap*. Toleransi sampai 3 % seng memperbolehkan penggunaan *scrap* aluminium tingkat lebih rendah dalam pembuatan paduan sehingga dapat menurunkan biaya produksi [ASM, 1979].

## Metode Penelitian

Material yang digunakan adalah paduan aluminium AA 319 yang mengandung: 2.51 wt. % Cu, 6.63 wt. % Si, 0.09 wt. % Mg, 0.33 wt. % Zn, 0.49 wt. % Fe, 0.11 wt. % Mn, 0.03 wt. % Ni dan 0.02 wt. % Ti. Komposisi material pada saat proses peleburan paduan aluminium AA 319 ke dalam dapur induksi memiliki perbandingan antara ingot dan *scrap* 45 : 55. Metode pengecoran dilakukan dengan metode gravitasi (*gravity casting*). Proses penghilangan gas yang terperangkap (*degassing*) dilakukan dengan GBF (*Gas Bubble Floation*) di dalam dapur induksi berkapasitas 300 kg. Proses *degassing* ini dilakukan sekitar 10 – 15 menit, kecepatan bilah 400-500 rpm, dan tekanan gas argon 0.2 - 0.3 MPa. Penambahan elemen paduan sebanyak 3 wt. % Zn dilakukan setelah proses GBF berlangsung dengan temperatur *holding* berkisar  $720 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Paduan dituangkan ke dalam cetakan pasir resin.

Pengujian komposisi dilakukan dengan metode spektrometer. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik *Shimadzu Autograph*, kecepatan penarikan mesin sebesar 0.04 mm/s dengan beban 200 kg. Sementara untuk pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Brinell dengan 6 titik berbeda pada permukaan sampel. Indentor berbentuk bola baja berdiameter

2.5 mm dan beban sebesar 31.25 kgf. Waktu penjejakan yang diberikan adalah sekitar 10 detik. Pengujian porositas dilakukan dengan menggunakan *OSTEK Porosity Tester* selama 359 detik dengan tekanan 750 mmHg dan Pengujian *k-mould* dilakukan dengan menuangkan paduan ke dalam cetakan uji yang memiliki beberapa takik.

Proses pengerasan pengendapan diawali dengan *solution treatment* pada suhu 525 °C selama 1 jam kemudian didinginkan cepat (*quench*) dengan media air. Untuk kondisi T4, sampel yang telah didinginkan cepat tersebut kemudian dibiarkan dalam suhu ruang 25 °C sedangkan untuk sampel T6 kembali masuk dapur untuk suhu 150 °C dan 200 °C.

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) menggunakan Oxford Leo 420 yang dilengkapi dengan EDS (*Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy*). Sebelum melakukan pengujian mikrostruktur, sampel uji dipersiapkan dengan melakukan pengamplasan dari mesh 240 sampai 4000, memoles dengan zat MgO kemudian mengetsa dengan HF 0.5% dan dicelup selama 15 detik.

## Hasil dan Pembahasan

### Karakteristik Produk Coran

Pengujian komposisi kimia dari paduan aluminium AA 319 coran tanpa dan dengan penambahan Zn dibandingkan dengan komposisi standar ditampilkan pada Tabel 1. Secara umum, komposisi paduan aluminium AA 319 coran tanpa dan dengan penambahan Zn masih dalam komposisi standar. Menarik untuk diamati bahwa paduan aluminium AA 319 tanpa penambahan Zn telah memiliki kandungan Zn sekitar 0.33 wt. % yang diperkirakan berasal dari *scrap*. Pengaruh penambahan Zn terlihat dengan meningkatnya komposisi paduan menjadi 3.16 wt. %.

**Tabel 1** Hasil pengujian komposisi paduan aluminium AA 319 dengan penambahan 3 wt.% Zn dibandingkan dengan standar.

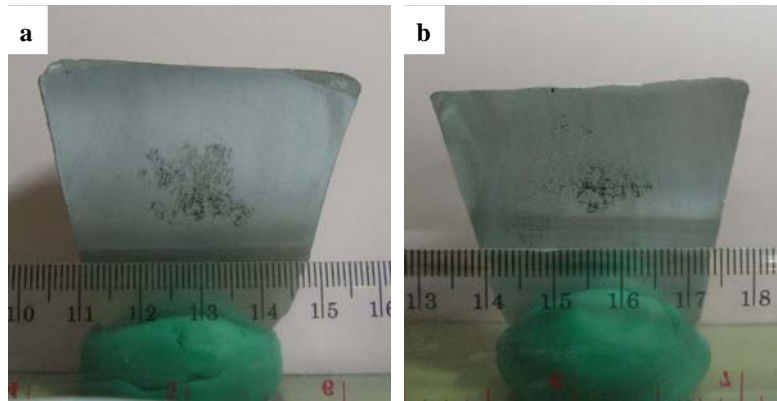
Unsur	AA 319	AA 319	Komposisi standar AA 319
	+ 0 wt.% Zn	+ 3 wt.% Zn	[ <a href="http://www.matweb.com">http://www.matweb.com</a> , 2007] hasil coran
Cu	2.51	2.56	3.0-4.0
Si	6.63	6.25	5.5-6.5
Mg	0.09	0.1	0.1 maks
Zn	0.33	3.16	1.0 maks
Fe	0.49	0.49	0.5 maks
Mn	0.11	0.12	0.5 maks
Ni	0.03	0.04	0.35 maks
Ti	0.02	0.02	0.25 maks

Sifat mekanis paduan aluminium AA 319 coran tanpa dan dengan penambahan 3 wt. % Zn terdapat pada Tabel 2. Kekuatan tarik paduan dasar aluminium AA 319 dengan penambahan 3 wt. % Zn mengalami peningkatan kenaikan kekuatan tarik (0.4 %) dibandingkan dengan kekuatan tarik paduan tanpa penambahan Zn. Sementara, kekuatan luluh, elongasi dan kekerasan akan meningkat sebesar 1.84%, 27.5% dan 5.7%. Hasil ini sesuai dengan literatur bahwa unsur Zn memiliki pengaruh positif terhadap sifat mekanis [Gruzleski dan Closset, 1990].

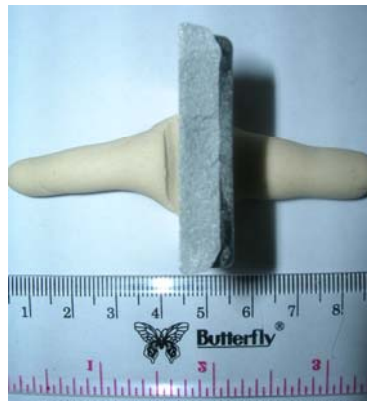
**Tabel 2** Hasil pengujian sifat mekanis paduan dasar aluminium AA 319 tanpa dan penambahan 3 wt.% Zn terhadap standar.

Sifat Mekanis	AA 319	AA 319	Komposisi standar AA
Hasil coran	+ 0 wt. % Zn	+ 3 wt. % Zn	319 [ASM, 1990]
Kekuatan Tarik (MPa)	178.831	179.631	185
Kekuatan Luluh (MPa)	57.02	58.07	125
Elongasi (%)	3.2	4.08	2
Kekerasan (BHN)	70	74	70





**Gambar 1.** Hasil pengujian porositas paduan aluminium AA 319 dengan kandungan (a) 0 wt.% Zn, (b) 3 wt.% Zn.

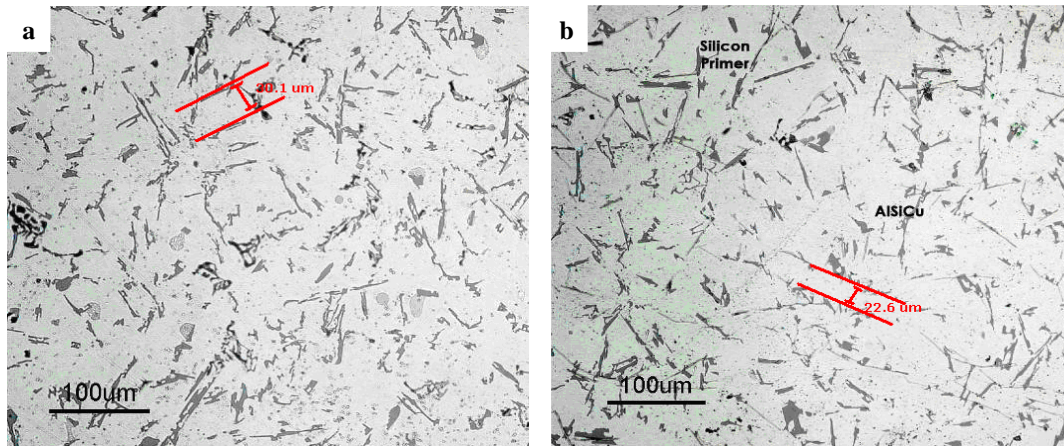


**Gambar 2.** Sampel uji K-Mould menunjukkan AA 319 + 3 wt.% Zn hasil coran bersih dari inklusi

Pengaruh penambahan Zn terhadap paduan aluminium AA 319 terhadap kandungan porositas terdapat pada Gambar 1. Pengurangan porositas pada sampel uji terlihat pada paduan aluminium AA 319 dengan penambahan 3 wt.% Zn. Hal ini sesuai dengan literatur [Campbell dan Harding, 1994] bahwa penambahan Zn berpotensi untuk menurunkan kelarutan hidrogen padat. Namun demikian, belum diperoleh informasi lebih lanjut mengenai mekanisme pengurangan hidrogen oleh unsur-unsur tersebut. Sementara menurut Anyalebechi [1995], kelarutan padat hidrogen dapat diturunkan dengan adanya elemen-elemen seperti Zn, Si, Cu dan Fe. Penurunan kelarutan padat hidrogen ini disebabkan karena parameter interaksi antara Zn-Al lebih besar daripada Zn-H

Gambar 2 menunjukkan permukaan patahan sampel uji K-mould. Tampak permukaan memiliki jejak perpatahan ulet dan tidak tampak adanya inklusi berupa partikel hitam pada permukaan patahan. Hasil pengujian ini dapat mengindikasikan bahwa fluksing saat proses pengecoran berjalan dengan baik.

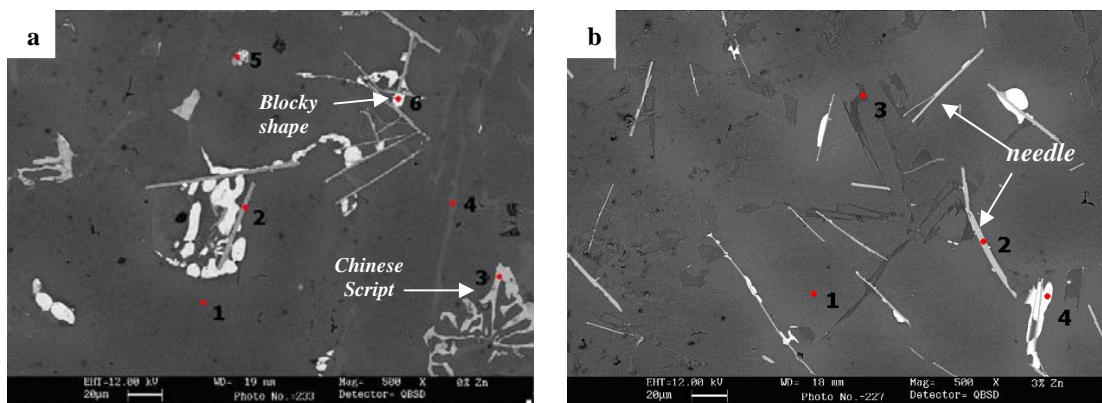
Struktur mikro paduan aluminium AA 319 coran tanpa dan dengan penambahan 3 wt.% Zn terdapat pada Gambar 3. Kedua foto tersebut memperlihatkan jaringan dendritik  $\alpha$ -aluminium beserta beberapa fasa interdendritik termasuk partikel Si yang merupakan ciri khas pengecoran paduan aluminium. Selama proses pembekuan, sebagian dari pengotor dan unsur paduan larut ke larutan padat pada matriks dan sebagian lagi membentuk partikel intermetalik [Backerud dkk, 1990]. Fasa intermetalik ini terbentuk karena unsur aluminium memiliki tingkat keelektronegatifan yang tinggi terhadap unsur lain.



**Gambar 3** Struktur mikro paduan aluminium AA 319 dengan kandungan (a) 0 wt.% Zn, dan (b) 3 wt.% Zn pada kondisi coran.

Dari kedua foto mikro tersebut tampak tidak adanya perbedaan mikrostruktur yang signifikan dengan adanya penambahan 3 wt. % Zn pada kondisi coran. Namun, pengamatan lebih detail menunjukkan bahwa ukuran lengan dendrit (*dendrit arm spacing*) pada paduan dengan penambahan 3 wt.% Zn lebih kecil dibandingkan pada paduan dasar, yaitu 22.6  $\mu\text{m}$  dan 30.1  $\mu\text{m}$ . Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa penambahan Zn memperhalus dendrit [Hatch, 1990].

Hasil pengamatan paduan aluminium AA 319 tanpa dan dengan penambahan Zn dengan SEM dapat dilihat pada Gambar 4. Struktur interdendritik yang terbentuk selama proses pembekuan dapat dibedakan berdasarkan perbedaan warna dan morfologi. Paduan aluminium tanpa penambahan Zn memiliki morfologi fasa yang berbentuk tulisan cina (*chinese script*) dan berbentuk kotak (*blocky shape*) sedangkan untuk paduan dengan penambahan 3 wt. % Zn memiliki morfologi berbentuk jarum (*needle*).



**Gambar 4** Struktur mikro dengan SEM paduan aluminium AA 319 dengan penambahan (a) 0 wt.% Zn, dan (b) 3 wt.% Zn pada kondisi coran.

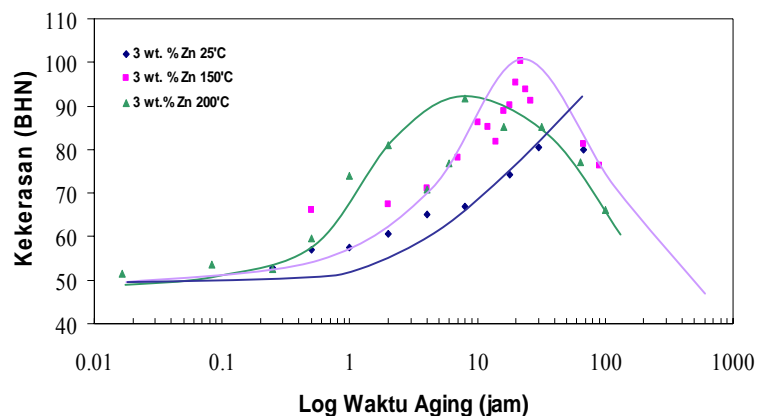
Proses identifikasi fasa yang terbentuk dilakukan dengan menggunakan EDS yang rincian komposisinya tidak ditampilkan pada makalah ini. Secara berturut-turut, fasa yang terbentuk pada paduan aluminium tanpa penambahan Zn (Gambar 4.a) adalah matriks aluminium,  $\alpha$ -AlSiFeMn,  $\beta$ -AlSiFeMn, Si Primer, AlSiCu dan  $\text{Al}_2\text{Cu}$ . Fasa yang berbentuk *chinese script* mengindikasikan adanya fasa AlSiFeMn. Terbentuknya fasa yang berwarna abu-abu ini tergantung dari komposisi

Fe, Mn dan Si dalam paduan, sebab kelarutan padat unsur-unsur ini sangat rendah di dalam aluminium cair yaitu 0.052%, 1.82% dan 1.65% [Warmuzek dkk, 2004]. Pada paduan tanpa penambahan Zn tampak beberapa fasa berwarna putih berbentuk kotak (*blocky shape*) yang banyak mengandung fasa  $Al_2Cu$ . Fasa  $Al_2Cu$  berbentuk *blocky shape* disebabkan karena proses pendinginan yang lambat di dalam cetakan pasir [Martinez dkk, 2004].

Pada paduan yang telah ditambahkan Zn, fasa yang berwarna abu-abu mengindikasikan adanya fasa  $AlSiFeMn$ . Morfologi fasa  $AlSiFeMn$  ini memiliki bentuk yang berbeda terhadap morfologi pada paduan tanpa penambahan Zn. Bentuk *chinese script* berubah menjadi *needle* seiring dengan penambahan Zn. Perubahan morfologi ini yang diperkirakan berkontribusi terhadap kenaikan sifat mekanik yang diikuti dengan peningkatan kegetasan. Peran Zn dalam perubahan morfologi ini kemungkinan disebabkan oleh perubahan tegangan permukaan matriks akibat karakteristik Zn yang berstruktur CPH di dalam aluminium yang berstruktur FCC. Selain itu, menurut literatur [Davies, 2001] dengan peningkatan Si akan terbentuk fasa  $\alpha$  yang dilanjutkan dengan fasa  $\beta$ -Al-Fe-Si. Fasa  $\alpha$  memiliki struktur kristal kubik dan berbentuk *chinese script* pada mikrostruktur. Sedangkan fasa  $\beta$  umumnya berbentuk jarum (*needle*). Hasil uji komposisi menunjukkan terjadi peningkatan kadar Si pada paduan tanpa penambahan Zn yaitu 17.59 wt. % menjadi 24.55 wt. % dengan penambahan 3 wt. % Zn. Pada diagram fasa Al-Zn terlihat adanya *miscibility gap* yang mengindikasikan Zn tidak larut sempurna dalam matriks sehingga berpotensi untuk mempengaruhi morfologi fasa yang terbentuk. Hal ini membuktikan bahwasanya aluminium paduan AA 319 dengan penambahan 3 wt. % Zn mengalami peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan.

Penambahan Zn jelas terlihat pada meningkatkan komposisi Zn pada matriks. Pada paduan aluminium AA 319 tanpa penambahan Zn, matriks mengandung 100 % Al. Sedangkan matriks pada paduan dengan penambahan 3 wt. % ditemukan mengandung Zn dalam konsentrasi cukup signifikan yaitu mencapai 6.46 wt. %. Hal ini disebabkan oleh kelarutan Zn yang sangat tinggi pada aluminium (82.8 wt. %) sehingga penambahan 3 wt. % Zn menyebabkan Zn larut sempurna dan menyebar pada matriks. Kandungan Zn dalam matriks inilah yang menyebabkan terjadinya proses penguatan larutan padat.

#### Karakteristik Pengerasan Pengendapan



**Gambar 5** Respon pengerasan pengendapan aluminium paduan AA 319 dengan penambahan 3 wt. % Zn beberapa temperatur.

Kurva pengerasan pengendapan aluminium paduan AA 319 dengan penambahan 3 wt. % Zn pada 25 °C (*natural aging*), 150 °C dan 200 °C (*artificial aging*) ditampilkan pada Gambar 5. Berdasarkan penghitungan standar deviasi, kesalahan relatif penjejakan sampel *natural aging* sebesar sebesar 3.16 %, sedangkan untuk sampel *artificial aging* 150 °C dan 200 °C berturut-turut 3.37 % dan 2.77 %.



Proses pengerasan dengan *natural aging*, paduan mengalami masa inkubasi selama 1 jam. Inkubasi yang terjadi di awal mula merupakan proses pelepasan tegangan sisa yang terjadi akibat pendinginan cepat (*quenching*) sehingga kekerasan stabil. Setelah masa inkubasi selesai maka terjadi peningkatan kekerasan. Sampel paduan aluminium AA 319 dengan penambahan 3 wt. % Zn pada kondisi *natural ageing* selama 1002 jam mengalami peningkatan kekerasan namun belum mencapai puncak.

Pada kondisi *artificial ageing* (150 °C) dan (200 °C) terlihat bahwa paduan dengan penambahan Zn memiliki masa inkubasi yang lebih lama yaitu pada temperatur 150 °C sekitar 4 jam dan 1 jam pada temperatur 200 °C. Kekerasan puncak dicapai untuk aluminium paduan AA 319 dengan penambahan 3 wt. % Zn pada suhu 150 °C akan terjadi pada 22 jam (100 BHN), pada suhu 200 °C terjadi pada 8 jam (92 BHN).

Berdasarkan literatur, paduan yang telah dilakukan proses *ageing* untuk waktu tertentu pada temperatur di bawah 180 °C maka akan terbentuk nukleasi endapan pertama yang merupakan partikel Cu koheren disebut juga GP Zones [Porter dan Easterling, 1987] Pembentukan GP Zones ini akan membentuk endapan yang koheren sehingga kekerasan yang dicapai akan lebih tinggi meski dalam waktu yang lebih lama dibandingkan dengan proses *aging* pada suhu di atas 180 °C. Sehingga berdasarkan literatur maka kekerasan yang dicapai pada temperatur 150 °C akan lebih tinggi daripada pada temperatur 200 °C. Gambar 5 mengindikasikan terjadinya penurunan kekerasan setelah melewati kekerasan maksimum. Hal ini disebabkan terbentuknya partikel  $\theta'$  dan  $\theta$  yang tidak koheren dan menurunkan kekerasan.

Literatur menyatakan bahwa dengan adanya penambahan panas, maka endapan yang terbentuk semakin cepat terjadi [Ringer dan Hono, 2000]. Sumber lain menambahkan bahwa laju *aging* meningkat dengan naiknya temperatur *aging* sedangkan puncak kekerasan menurun<sup>1</sup>. Sedangkan dari hasil penelitian, tidak terdapat perbedaan kekerasan maksimal yang signifikan terhadap perbedaan temperatur. Berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur dengan SEM matriks mengandung Zn yang tersebar. Zn memiliki ukuran atom yang sangat kecil (0.133 nm) dibandingkan ukuran atom aluminium sebesar 0.143 nm [Callister, 2006]. Besarnya atom relatif Zn terhadap Al adalah 6.9 %. Oleh sebab itu Zn berfungsi sebagai substitusi diantara atom-atom aluminium sehingga terjadilah proses pengerasan larutan padat. Pengaruh penambahan 3 wt. % Zn terhadap kekerasan dapat diketahui dari pembentukan senyawa endapan dan matriks yang mengandung Zn.

Pengamatan dengan SEM terbatas pada komposisi dan morfologi endapan. Sedangkan mekanisme pembentukan endapan tersebut tidak bisa di amati sehingga perlu pengamatan lebih lanjut dengan menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscope*).

## KESIMPULAN

1. Penambahan 3 wt. % Zn ke dalam paduan aluminium AA 319 akan meningkatkan kekuatan tarik sebesar 0.94 %, kekerasan sebesar 5.7 % dan kekuatan luluh sebanyak 3.4 %.
2. Penambahan 3 wt. % Zn ke dalam paduan aluminium AA 319 menurunkan ukuran DAS.
3. Penambahan 3 wt. % Zn ke dalam paduan aluminium AA 319 mengubah morfologi fasa  $\alpha$ -AlSiFeMn yang berbentuk *chinese script* menjadi  $\beta$ -AlSiFeMn yang berbentuk jarum.
4. Proses perlakuan panas dengan pengerasan pengendapan menghasilkan peningkatan kekerasan dibandingkan dengan kondisi coran. Penambahan 3 wt. % Zn ke dalam paduan aluminium AA 319 dengan proses pengerasan pengendapan akan dicapai kekerasan maksimal sebesar 100 BHN pada temperatur 150 °C dan 92 BHN pada temperatur 200 °C.
5. Fasa-fasa yang terbentuk selama proses perlakuan panas mengalami perubahan morfologi, distribusi, komposisi dan struktur kristal yang sangat mempengaruhi sifat dari paduan.

6. Kelarutan Zn yang sangat tinggi (82.8 %) dalam aluminium menyebabkan Zn larut sempurna dalam matriks dan membentuk fasa intermetalik dengan unsur lain.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai melalui skema Hibah Penelitian PHK A2 Departemen Metalurgi dan Material 2005 dengan mahasiswa pelaksana Sdr. Widya C. Puspitasari. Terima kasih kepada PT. Astra Honda Motor atas penyediaan fasilitas pengecoran dan alat-alat laboratorium.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anyalebechi, P.N. *Analysis of the effect of alloying elements on hydrogen solubility in liquid aluminium alloys*. Scripta Metallurgica et Materialia, Vol. 33, No.8, pp. 1209-1216, 1995.
- Ashtari, P, H. Tezuka, T. Sato. *Modification of Fe containing intermetallic compounds by K addition to Fe rich AA 319 Aluminium alloys*. Scripta Materialia 53 (2005) 937-942.
- ASM, Metal Handbook 9<sup>th</sup> edition Volume 2, Properties and Selection: *Non Ferrous Alloy and Pure Metals*, 1979.
- ASM International, ASM Handbook. Properties and Selection of Non Ferrous Alloys and Special Purpose Material Volume 2. Metals Park. Ohio. 1990.
- Backerud, L, et al., *Solidification Characteristics of Aluminium Alloys*, Volume 2 : Foundry Alloys. AFS/Skanaluminium. Sweden.1990.
- Callister, Jr. W.D, *Materials Science and Engineering 4th Edition*. John-Willey & Sons, Inc. USA. 1996.
- Campbell and Richard A Harding, IC in materials, *Solidification Defect In Casting*, European Aluminium Assocation University of Birmingham, 1994 ([www.bygg.ntnu.no/pbl/bm3\\_2002/talat/3000/3200/3207.pdf](http://www.bygg.ntnu.no/pbl/bm3_2002/talat/3000/3200/3207.pdf))
- Davis, J.R, *Alloying: Understanding The Basics*. ASM International. Ohio. 2001.
- Gruzleski, J.E dan Bernard M. Closset. *The Treatment Of Liquid Aluminium-Silicon Alloys*. American Foundrymen's Society, Inc. USA. 1990.
- Hatch, John E. *Aluminium : Properties and Physical Metallurgy*. ASM Metals Park. Ohio. 1995.  
<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MAC3190FS> (22 Agustus 2007).
- Martinez, E.J, M.A Cisneros G, S. Valtierra, J Lacaze. *Effect of tronsium and ooling rate upon eutectic temperatures of AA 319 aluminium alloy*. Scripta Materialia.2004.
- Porter, D.A and Easterling K.E. *Phase Transformations in Metals and Alloys*. Von Nostrand Reinhold. United Kingdom. 1987.
- Ringer, S.P, and Hono, K, *Microstructural Evolution and Age Hardening in Aluminium Alloys : Atom Probe Field-Ion Microscopy and Transmission Electron Microscopy Studies*. Material Characterization 44:101-131 (2000).
- Warmuzek,M, Mrowka, G, Sieniawski, J, *Influence of heat treatment on the precipitation of the intermetallic phases in commercial AlMn1FeSi alloy*. J. Mat. Proc. Tech. 157-158 (2004) 624-632.