

ISSN : 1411-1098

Akreditasi Nomor : 89/Akred-LIPI/P2MBI/5/2007

Jurnal

Sains Materi Indonesia

Indonesian Journal of Materials Science

Edisi Khusus Desember 2008

**Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional
INDONESIA**

JURNAL SAINS MATERI INDONESIA
Indonesian Journal of Materials Science
Edisi Khusus Desember 2008

DEWAN KEHORMATAN
HONORARY BOARD

Menteri Negara Riset dan Teknologi RI, Menteri Pendidikan Nasional RI, Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional

DEWAN PENASEHAT NASIONAL
NATIONAL ADVISORY BOARD

*Dr. Hudi Hastowo, BATAN, Prof. Dr. Aang Hanafiah R. Wangsaatmaja, BATAN,
Dr. Pramudita Anggraita, BATAN, Prof. Dr. Umar Anggara Jenie, Apt., M.Sc., LIPI, Prof. Dr. Marsongkohadi
Prof. Dr. N. M. Surdia, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Mardjono Siswosuwarno, ITB, Prof. Dr. Soleh Kosela, UI
Prof. Dr. M. O. Tjia, Prof. Dr. Prajoto*

DEWAN PENASEHAT INTERNASIONAL
INTERNATIONAL ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Rees D. Rawlings, Imperial Collage of Science, Technology and Medicine, University of London, UK

DEWAN PENGARAH
STEERING BOARD

*Ir. Iman Kuntoro, Dr. Ridwan, Dr. Ir. Utama H. Padmadinata, Prof. Dr. Eddy S. Siradj,
Dr. Ing. Ir. Amir Partowiyatmo, Prof. Dr. S. S. Achmadi, Prof. Dr. Suasromo,
Dr. Ir. Rochim Suratman, Dr. Arion Said, Dr. Hamdani Zain M. Eng.*

PENANGGUNG JAWAB
MANAGING EDITOR

Kepala Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional

DEWAN REDAKSI
EDITORIAL BOARD

KETUA
CHAIRMAN

Dra. Mujamilah, M.Sc., BATAN

WAKIL KETUA
Co-CHAIRMAN

Prof. Dr. Wahyudi Priyono Suwarso, UI

STAF EDITOR
EDITORIAL STAFF

*Drs. A. Ikram, M.Sc. PhD, BATAN
Dr. A. Manaf, M. Met., UI
Dr. Ir. Suyatman, ITB
Dra. Rukihati, SU APU, BATAN
Dr. Sutiarso, BATAN*

*A. Purwanto, PhD, BATAN
Drs. Bambang Heru P., BATAN
Drs. A. Karo Karo, M.Sc., BATAN
Dr. Sudaryanto, BATAN
Dr. Sunit Hendrana, LIPI*

*Dr. Jamuzi Gun Lazuardi, UI
Dr. Andika Fajar, BATAN
Dr. Evvy Kartini, BATAN
Dra. Saryati, APU, BATAN
Dr. Edy Giri R. Putra, BATAN*

*Drs. Sudirman, M.Sc, APU, BATAN
Drs. E. Sukiman, M.Sc., BATAN
Dr. Asmu Wahyu S., PT Tripolyta Indonesia, Tbk
Drs. Gunawan, M.Sc, BATAN
Dr. Agus Hadi S. W., M.Sc, BPPT*

REDAKTUR PELAKSANA
EXECUTIVE EDITORIAL

Drs. Sumanto, Dra. Mirah Yulaili, Dra. Rina Ramayanti, Yualina Riastuti Partiwj, Hendradi Setiono

*Penerbit : Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN
Terbit pertama kali : Oktober 1999. Frekuensi terbit : Empat bulanan
Alamat Redaksi/Editorial Address : PTBIN, BATAN, Gedung 43, Kawasan Puspipstek, Serpong 15314, Tangerang
Telepon : (021) 75874261, 7562860 Ext. 4009-4010, Fax : (021) 7560926, E-mail : ptbin@batan.go.id*

JURNAL SAINS MATERI INDONESIA
Indonesian Journal of Materials Science
Edisi Khusus Desember 2008

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii

POLIMER

1. Eniya Listiani Dewi dan Sri Handayani, <i>Karakterisasi Komposit Hidrokarbon Polimer Tersulfonasi (sABS-Z) Sebagai Alternatif Polielektrolit Untuk Fuel Cell</i>	1 - 4
2. Indra Gunawan, Deswita, Aloma K. K. dan Sudirman, <i>Sintesis dan Karakterisasi Komposit High Density Polyethylene-Pati Tapioka</i>	5 - 8
3. Nuri Astrini, <i>Pengaruh Penambahan Etil Propilen Kopolimer (EPM) pada Polipropilen (PP) Terhadap Sifat Mekanik Polipaduan PP-EPM yang Dihasilkan</i>	9 - 12
4. Erizal, Tita P. dan Dewi, S. P., <i>Sintesis Hidrogel Poliakrilamida (PAAM)-Ko-Alginat dengan Iradiasi Sinar Gamma dan Karakterisasinya</i>	13 - 20
5. Dewi Sondari, Nuri Astrini, Lik Anah and Agus Haryono, <i>Influence of Surfactant Sorbitan Monolaurate to Suspension Polymerization of Polyacrylic Acid Superabsorbent</i>	21 - 24
6. Nikham, <i>Uji Biodegradabilitas Secara Enzimatis Film Paduan Polimer Polipropilen-Ko-Etilen/Poli-ε-Kaprolakton Dan Polipropilen-Ditempel-Maleik Anhidrat</i>	25 - 30
7. Evi Triwulandari, Hesti Prihastuti, Agus Haryono and Edi Susilo, <i>Synthesis and Structure Properties of Rigid Polyurethane Foam from Palm Oil Based Polyol</i>	31 - 36
8. Deswita, Aloma K. K., Sudirman dan Indra Gunawan, <i>Modifikasi Polietilen Sebagai Polimer Komposit Biodegradable untuk Bahan Kemasan</i>	37 - 42
9. Sri Handayani dan Eniya Listiani Dewi, <i>Pengaruh Suhu Operasi Terhadap Karakteristik Membran Elektrolit Polieter Eter Keton Tersulfonasi</i>	43 - 47
10. Yunilda, <i>Pembuatan Koloid ¹⁸⁸Renium-Sn Sebagai Senyawa Terapi Radiosinovektomi</i>	48 - 50
11. Handayani A.S., Mulyana H., Piccioni F. L. dan P. B. M. Janssen, <i>Sintesis dan Karakterisasi Kopolimer Cangkok Poly(Methyl/Buthyl Methacrylate)-Tapioka</i>	51 - 56
12. Jadigia Ginting, <i>Studi Pembuatan Komposit Polimer Semi Isolator Superkritis untuk Meningkatkan Efisiensi Trafo Daya</i>	57 - 61
13. Tri Darwinto, <i>Sintesis dan Analisis Methacryloyl-L-Alanine Methyl Ester Menggunakan Fourier Transform Nuclear Magnetic Resonance</i>	62 - 66

LOGAM

14. Bondan T. Sofyan, Andry Soetiawan dan Ragil E. Susanto, <i>Respon Laku Panas Paduan Aluminium AC4B dengan Penambahan 0,01 %Berat Sr Melalui Proses Low Pressure Die Casting</i>	67 - 71
15. Sutiarmo, Antonius Sitompul, dan Wagiyono H., <i>Penentuan Parameter Homogenisasi* untuk Ekstrusi Pada Paduan Aluminium 6060 Produksi Lokal</i>	72 - 77
16. Eddy Djatmiko dan Budiarto, <i>Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan dan Strukturmikro pada Paduan Al-Si-Mg</i>	78 - 83
17. Aziz K. Jahja, Marzuki Silalahi and Nurdin Effendi, <i>Effects of Sensitization on A New Austenite Alloy Using Dielectric Method</i>	84 - 87
18. Efendi Maburi, <i>Pengaruh Ruthenium pada Strukturmikro Aging Superalloy Berbasis Nikel</i>	88 - 92

RESPON LAKU PANAS PADUAN ALUMINIUM AC4B DENGAN PENAMBAHAN 0,01 % BERAT Sr MELALUI PROSES *LOW PRESSURE DIE CASTING*

Bondan T. Sofyan¹, Andry Soetiawan¹ dan Ragil E. Susanto²

¹⁾ Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424

²⁾ PT. Astra Honda Motor

Jl. Laksda Yos Sudarso, Sunter I, Jakarta 14350, Indonesia

email: bondan@metal.ui.ac.id

ABSTRAK

RESPON LAKU PANAS PADUAN ALUMINIUM AC4B DENGAN PENAMBAHAN 0,01 % BERAT Sr MELALUI PROSES *LOW PRESSURE DIE CASTING*. Salah satu masalah yang sering timbul pada produk paduan aluminium hasil proses Low Pressure Die Casting (LPDC) adalah porositas dan pengerutan akibat pola pendinginan yang tidak seragam, serta kekerasan yang tidak optimal. Modifikasi paduan menggunakan Sr serta proses laku panas merupakan alternatif pemecahan masalah tersebut. Penelitian ini mempelajari pengaruh modifikasi paduan AC4B dengan penambahan 0.01 % berat Sr serta responsnya terhadap perlakuan panas ageing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 0.01 % berat Sr memodifikasi struktur silikon dari acicular menjadi halus dan berserat. Struktur ini diyakini dapat menambah kekerasan dari paduan AC4B. Akan tetapi penambahan Sr ini juga akan meningkatkan jumlah porositas sehingga perlu penanganan yang baik dalam aplikasinya. Proses laku panas meningkatkan kekerasan, dimana semakin tinggi temperatur ageing, menyebabkan semakin cepatnya dicapai puncak kekerasan, namun menurunkan nilai puncak.

Kata kunci : Paduan AC4B, modifikasi, Sr, ageing, Low Pressure Die Casting, acicular

ABSTRACT

AGEING RESPONSE OF AC4B ALUMINIUM ALLOYS WITH 0.01 wt. % Sr ADDITION PROCESSED THROUGH LOW PRESSURE DIE CASTING. Common problems found in aluminium components produced through Low Pressure Die Casting (LPDC) process are low hardness with porosity and shrinkage due to different cooling rate. Modification of microstructure by addition of Sr and heat treatment processes are alternatives to solve the problems. This research studies the effects of modification through addition of 0.01 wt. % Sr and ageing processes on the microstructure and mechanical properties of AC4B aluminium alloy. The results show that addition of 0.01 wt. % Sr modifies silicon structure from acicular into fine and fibrous. This structure is believed to slightly increase the hardness of AC4B aluminium alloy. However, addition of Sr increases porosity that should be carefully handled. Ageing processes increase the hardness of the alloy, in which the higher the ageing temperature, the shorter the time needed to achieve peak hardness, but the lower the peak hardness of the alloy.

Keywords: AC4B alloy, modification, Sr, ageing, Low Pressure Die Casting, acicular

PENDAHULUAN

Salah satu material paduan aluminium tuang yang diaplikasikan secara luas dalam industri otomotif adalah AC4B (Al-Si-Cu), karena sifat mekanik, mampu cor, ketahanan korosi yang unggul serta biaya daur ulang yang rendah. Paduan aluminium AC4B merupakan paduan Al-Si hipoeutektik dengan dua tahap pembekuan yang utama, yaitu pembekuan dendrit kaya aluminium yang diikuti dengan pembentukan fasa kedua kaya silikon. Namun demikian, kelemahan dari material ini adalah bahwa

fasa kedua silikon berbentuk *acicular* memiliki tepi yang tajam yang berpotensi menginisiasi dan mempromosi perambatan retak sehingga berkontribusi pada kegetasan yang tinggi. Selain itu kisaran temperatur pembekuan yang cukup besar menyebabkan sulitnya mengisi daerah antar dendrit yang menyebabkan porositas pada produk cor [1].

Penambahan strontium ke dalam paduan aluminium-silikon hipoeutektik menyebabkan transformasi morfologi fasa silikon dari serpihan

acicular menjadi batangan berserat, sehingga memperbaiki sifat mekanik, terutama meningkatkan ketangguhan retak dan keuletan [2]. Pada laju pembekuan tertentu, keberadaan Sr menurunkan temperatur nukleasi dan pertumbuhan fasa eutektik (Al)-Si, dan pengaruh ini semakin dominan dengan laju pembekuan yang semakin tinggi [3]. Penambahan Sr tidak mempengaruhi pembekuan primer dari aluminium, namun memodifikasi reaksi pembentukan fasa kedua. Hasil analisis DTA mengkonfirmasi bahwa penambahan Sr memiliki pengaruh langsung terhadap mekanisme pertumbuhan fasa eutektik (Al)-Si. Perubahan kecil pada kinetika pembentukan eutektik akibat penambahan Sr juga menyebabkan modifikasi pada tahap akhir pembekuan serta pembentukan fasa kaya besi dan mangan.

Namun demikian, penambahan Sr selalu terkait dengan pembentukan porositas. Dalam hal ini, Dahle *et al.* [4] menyampaikan sebuah postulat bahwa penambahan Sr menyebabkan perubahan mode nukleasi fasa eutektik, yang semula pada paduan bebas Sr terjadi di sekitar dendrit α -Al, menjadi pada cairan eutektik itu sendiri pada paduan dengan kandungan Sr. Mode nukleasi tersebut mengontrol distribusi cairan sisa pada tahap akhir pembekuan ketika aliran logam cair sangat sulit terjadi. Distribusi cairan ini akan sangat menentukan konektivitas antar celah pengisi, sehingga menentukan morfologi akhir porositas pada produk coran.

Penelitian ini mempelajari pengaruh penambahan Sr sebesar 0,01 % berat pada paduan AC4B melalui proses Low Pressure Die Casting (LPDC), serta pengaruh proses laku panas terhadap karakteristik paduan. Pengerasan selama proses ageing diamati dengan pengujian kekerasan, sementara evolusi mikrostruktur diamati menggunakan mikroskop optik dan *Scanning Electron Microscope / Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM/EDXS).

METODE PENELITIAN

Paduan dasar AC4B dicor menggunakan dapur skala industri dengan penghilangan gas terperangkap dilakukan dengan menginjeksikan gas Argon, melalui proses *Gas Bubble Floatation* (GBF). Penambahan Sr sebanyak 0,01 % berat dilakukan pada temperatur $710 \pm 5^\circ \text{C}$ dengan menambahkan batangan paduan Al-10Sr (% berat). Paduan diinjeksikan dari mesin LPDC ke dalam cetakan logam dengan inti pasir resin.

Untuk pengujian kekerasan dan proses perlakuan panas, sampel diambil berukuran $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ pada daerah tebal dari komponen *cylinder head*. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers berdasarkan standard ASTM E10 dengan indenter piramid intan dengan sudut antara permukaannya (α) sebesar 136° dan beban 200 gf selama 5 detik. Lima kali penjejukan dilakukan untuk setiap pengukuran. Proses perlakuan panas diawali dengan proses *solution treatment* pada temperatur 525°C selama 1 jam, diikuti dengan pencelupan ke dalam air (*quench*). Proses *ageing* dilakukan di dalam dapur *muffle* pada temperatur 150, 175 dan 200°C , selain itu, sebagian sampel di *ageing* pada temperatur kamar. Struktur mikro diamati menggunakan mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) LEO 420, yang dilengkapi dengan

EDXS (*Electron Dispersive X-ray Spectroscopy*) untuk analisis komposisi mikro. Sampel pengamatan mikrostruktur dipreparasi sesuai standar menggunakan etsa 0.5 % Hidrogen Fluoride (HF).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Penambahan 0,01 % berat Sr terhadap Karakteristik Paduan AC4B pada Kondisi Tuang

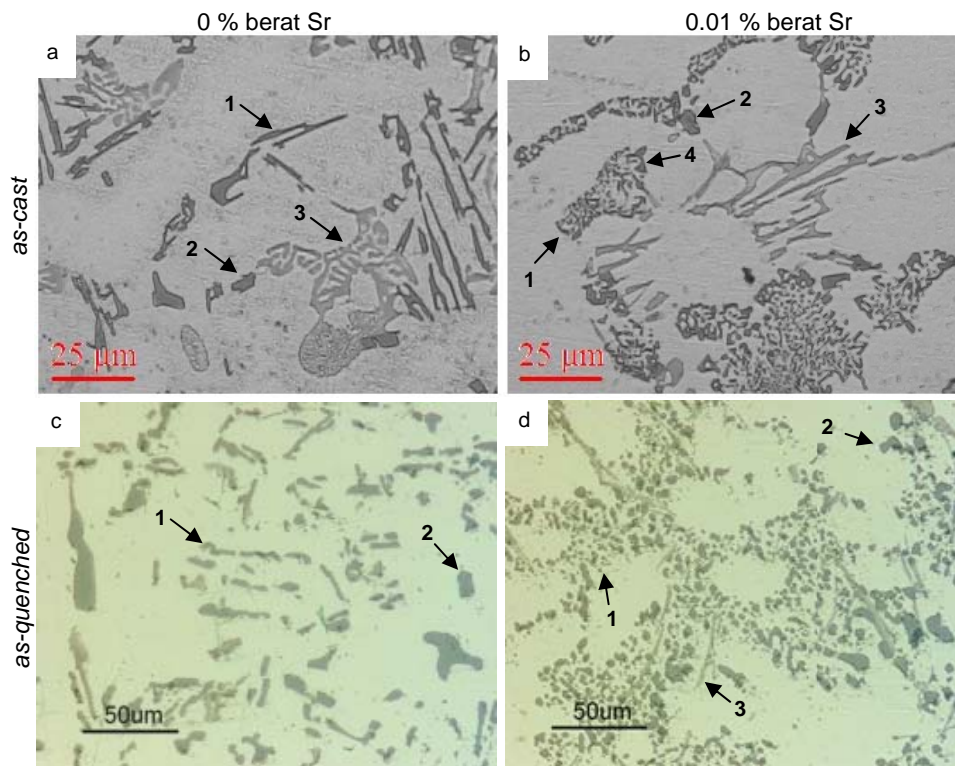
Perbedaan kekerasan paduan AC4B pada kondisi tuang tidak signifikan dengan penambahan 0.01 % berat Sr, yaitu 95 VHN dan 94 VHN untuk paduan AC4B tanpa dan dengan penambahan Sr. Penurunan nilai kekerasan yang terjadi diakibatkan oleh adanya porositas yang hadir dalam skala mikro (*microporosity*) sehingga tidak dapat terlihat pada saat pengujian. Selain itu, literatur juga menyebutkan bahwa dengan penambahan Sr akan meningkatkan porositas dan juga membuat porositas tersebut lebih tersebar [5].

Pengaruh penambahan 0.01 % berat Sr terhadap mikrostruktur paduan AC4B pada kondisi tuang dapat dilihat pada Gambar 1. Terlihat bahwa keberadaan Sr menyebabkan modifikasi mikrostruktur, khususnya fasa kedua, seperti ditunjukkan oleh panah 1, 2, dan 3 pada Gambar 1. Karakterisasi masing-masing fasa kedua dilakukan menggunakan EDXS, yang secara rinci dibahas di bagian terakhir sub hasil dan pembahasan ini. Panah 1 menunjukkan struktur silikon, dimana tanpa kehadiran Sr, fasa silikon hadir dengan morfologi *accicular* yang panjang dan tajam. Sedangkan penambahan 0.01 % berat Sr mengubah morfologi silikon menjadi halus dan berserat. Penambahan Sr juga menyebabkan perubahan morfologi fasa CuAl_2 dari tulang ikan menjadi bentuk *irregular* (Gambar 1, panah 2). Sementara pada fasa AlFeSi (Gambar 1, panah 3) mengalami perubahan morfologi dari *chinese - script* menjadi *accicular*. Panah 4 adalah daerah eutektik silikon yang kaya Cu, dimana pada paduan tanpa Sr, daerah eutektik silikon kaya Cu ini kurang jelas sebab morfologinya hampir tidak memiliki perbedaan. Sedangkan pada paduan dengan penambahan Sr, fasa ini memiliki warna lebih gelap.

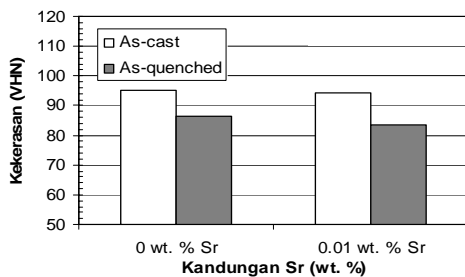
Pengaruh Penambahan 0.01 % berat Sr terhadap Karakteristik Paduan AC4B setelah Proses Ageing

Perbandingan kekerasan paduan AC4B pada kondisi tuang dengan kondisi setelah *quench* dapat dilihat pada Gambar 2. Terlihat jelas bahwa proses *solution treatment* dan *quench* menyebabkan penurunan nilai kekerasan secara signifikan. Hal ini disebabkan karena dilakukannya proses *solution treatment* melarutkan fasa CuAl_2 yang memberikan kontribusi pada nilai kekerasan dan kekuatan. Selain itu, terjadi spheroidisasi dari kristal silikon seperti yang terlihat pada Gambar 1. Struktur spheroid ini akan menurunkan nilai kekerasan sebab kemampuan menghalangi pergerakan dislokasi menurun akibat mengecilnya area permukaan antara batas butir dari silikon dan aluminium [6].

Respons paduan AC4B tanpa dan dengan penambahan 0.01 % berat Sr terhadap proses *ageing* pada temperatur 25, 150, 175 dan 200°C dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat jelas bahwa pada proses *ageing* di temperatur kamar (25°C), nilai kekerasan



Gambar 1. Mikrostruktur paduan AC4B tanpa dan dengan penambahan 0.01 wt % Sr pada kondisi (a-b) *as-cast*, dan (c-d) *as-quenched*, dengan etsa HF 0.3 %. Panah 1 adalah fasa Si, panah 2 adalah $CuAl_2$, panah 3 adalah $AlFeSi$, dan panah 4 adalah fasa Si kaya Cu.



Gambar 2. Pengaruh penambahan 0.01 % berat Sr terhadap kekerasan paduan AC4B pada kondisi tuang dan kondisi *as-quenched*.

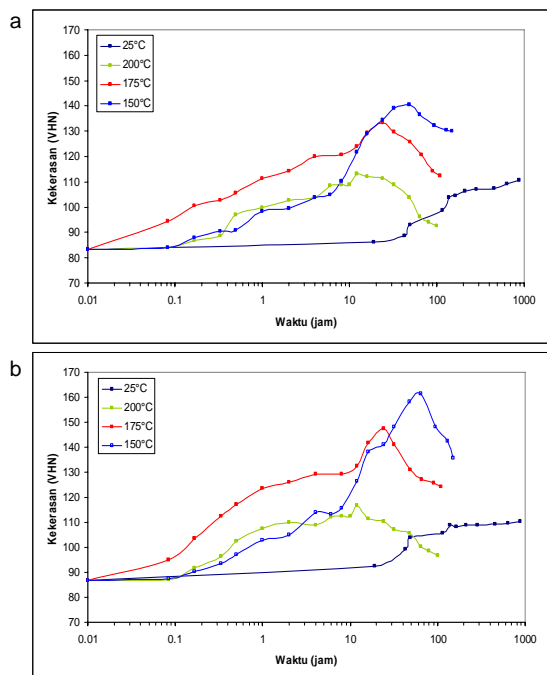
paduan AC4B terus meningkat seiring berjalannya waktu. Hingga 883 jam, kekerasan yang dicapai adalah 110.3 VHN dan 110.8 VHN untuk paduan AC4B tanpa dan dengan penambahan 0.01 % berat Sr. Nilai puncak kekerasan belum dicapai karena lambatnya kinetika reaksi pengendapan. Diperkirakan pada kondisi ini, endapan yang terbentuk masih koheren dengan jumlah sedikit dan berukuran kecil sehingga tidak menghasilkan *lattice strain* yang besar di dalam matriks. Sementara proses *ageing* pada temperatur tinggi, terjadi peningkatan nilai kekerasan hingga waktu tertentu lalu turun kembali. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur tinggi mempercepat proses difusi sehingga pengendapan, pertumbuhan dan transformasi fasa endapan terjadi dengan relatif lebih cepat. Kekerasan puncak pada 150 °C dicapai setelah

64 jam dengan nilai kekerasan 161.4 VHN untuk paduan tanpa Sr, dan dicapai setelah 48 jam dengan nilai kekerasan 140.6 VHN untuk paduan dengan Sr.

Dari Gambar 3 juga terlihat kecenderungan yang sama bahwa dengan semakin tinggi temperatur *ageing* maka semakin cepat pula kekerasan maksimum dapat dicapai, namun nilai kekerasan maksimum yang diperoleh akan semakin rendah. Misal, untuk paduan dengan Sr pada temperatur 200 °C, puncak kekerasan dicapai setelah 12 jam dengan nilai 113.1 VHN, sementara pada temperatur 175 °C puncak kekerasan dicapai setelah 24 jam dengan nilai 133.5 VHN. Pada proses *ageing* dengan temperatur yang lebih tinggi, fenomena yang terjadi adalah laju nukleasi endapan lebih lambat tetapi laju pertumbuhan butirnya menjadi lebih cepat, maka proses nukleasi yang terjadi adalah *heterogenous nucleation* [7]. Hal ini menyebabkan pada proses *ageing* ini ukuran endapan yang dihasilkan menjadi lebih besar yang berakibat pada lebih rendahnya kekerasan maksimum yang dihasilkan. Pada proses *ageing* pada temperatur yang lebih rendah, fenomena yang terjadi adalah laju nukleasi endapan lebih cepat tetapi laju pertumbuhannya lebih lambat.

Satu hal yang patut diperhatikan pada Gambar 3 adalah bahwa perbedaan nilai kekerasan antara paduan AC4B tanpa dan dengan penambahan Sr selama proses *ageing* relatif konstan. Perbedaan nilai kekerasan secara umum tidak melebihi ± 15 VHN. Hal

ini membuktikan bahwa dengan penambahan Sr tidak mengubah respon paduan AC4B terhadap proses perlakuan panas.



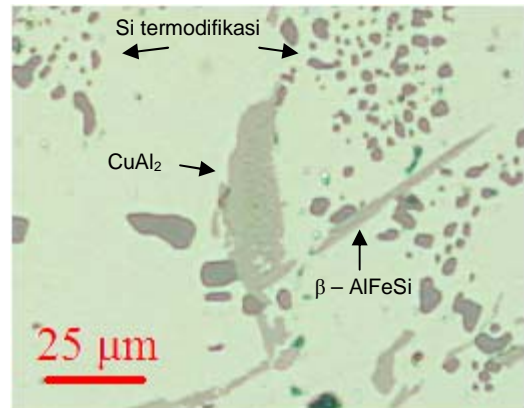
Gambar 3. Respons paduan AC4B dengan penambahan (a) 0 % berat, dan (b) 0.01 % berat Sr terhadap proses *ageing* pada temperatur 25, 150, 175 dan 200 °C.

Proses *solution treatment* dan *quenching* menyebabkan perubahan mikrostruktur seperti tampak pada Gambar 1. Partikel silikon mengalami spheroidisasi sehingga menjadi lebih bulat. Hal ini disebabkan proses difusi yang lebih cepat akibat fasilitasi temperatur tinggi. Penambahan Sr yang menyebabkan morfologi partikel silikon menjadi halus dan berserat pada kondisi *as-cast*. Setelah proses *solution treatment* dan *quenching*, partikel silikon tersebut menjadi menggumpal dan membulat. Akibatnya, fasa β - AlFeSi yang ditunjukkan oleh panah 3 pada Gambar 1 menjadi dominan pada paduan yang termodifikasi Sr. Hal ini disebabkan karena pembekuan logam cair menjadi sedikit lebih lambat bila dibandingkan dengan paduan tanpa modifikasi [8]. Penambahan Sr ini akan menurunkan temperatur solidifikasi eutektik dari paduan Al - Si.

Perlakuan panas *natural ageing*, tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan mikrostruktur jika dibandingkan dengan *as - quenched*. Perubahan sifat mekanik yang terjadi pada proses *natural ageing* tidak melalui perubahan fasa secara mikrostruktural, tetapi melalui perubahan zona yang tidak dapat dilihat melalui mikroskop optik. Transformasi zona berjalan sangat lambat, sehingga peningkatan kekerasan memerlukan waktu yang lama.

Hasil evolusi mikrostruktur paduan AC4B dengan penambahan 0.01 % berat Sr selama proses *ageing* pada temperatur 175 °C dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat bahwa proses *ageing* tidak menyebabkan perubahan morfologi partikel silikon. Pada paduan tanpa penambahan Sr, fasa β - AlFeSi juga tidak mengalami perubahan morfologi, sementara pada paduan dengan penambahan Sr, fasa tersebut menjadi semakin runcing selama proses *ageing*. Fasa CuAl_2

pada mikrostruktur termodifikasi pada umumnya berada dekat dengan fasa AlFeSi karena kecenderungannya untuk bernukleasi disana sangat tinggi [9] yang dapat dilihat pada Gambar 4. Fasa ini pada umumnya berbentuk *flake*.



Gambar 4. Mikrostruktur paduan AC4B dengan penambahan 0.01 % berat Sr setelah mengalami *ageing* pada temperatur 175°C selama 150 jam (*overaged*).

Karakterisasi fasa yang terbentuk setelah proses *ageing* pada temperatur 175 °C selama 110 jam juga dilakukan menggunakan SEM seperti tampak pada Gambar 5. Hasil analisis komposisi mikro dari setiap titik pada Gambar 5 tersebut disajikan pada Tabel 1. Terlihat adanya enam buah fasa yang berbeda. Fasa 1 adalah matriks aluminium yang berwarna abu - abu gelap, sementara fasa 2 adalah kristal silikon. Kedua fasa ini mudah untuk diidentifikasi karena komposisinya menunjukkan lebih dari 90% unsur tersebut. Fasa 3 mengandung Fe, Mn, dan Si dalam jumlah cukup signifikan, serta sedikit kromium. Keberadaan kromium dimungkinkan akibat penggunaan kowi *stainless steel* sebagai wadah untuk melebur Al - 10 % berat Sr *master alloy*. Morfologi fasa ini adalah *chinese - script*, yang merupakan karakteristik dari fasa β - Al(Fe, Mn)Si. Fasa 4 memiliki cukup banyak unsur, tetapi jika dilihat dari komposisinya yang memiliki jumlah Al sebesar dua kali jumlah Cu, maka kemungkinan besar fasa ini adalah CuAl_2 . Fasa 5 hadir dalam bentuk jarum dan memiliki komposisi unsur yang mirip dengan fasa 3, sehingga dapat disimpulkan bahwa fasa ini adalah β - Al(Fe, Mn)Si. Fasa 6 memiliki kadar Pb yang cukup tinggi dan berdiri sendiri di dalam matriks. Literatur tidak menyebutkan tentang adanya Pb, tetapi keberadaannya dimungkinkan karena penggunaan scrap pada proses peleburan yang menyebabkan masuknya senyawa intermetalik Pb.

Terdapat dua perbedaan utama antara mikrostruktur termodifikasi dan tidak termodifikasi. Yang pertama adalah morfologi kristal silikon yang berubah menjadi lebih halus dan berserat. Yang kedua adalah banyaknya fasa β - Al(Fe, Mn)Si pada paduan yang dimodifikasi oleh Sr dan berubahnya morfologi *chinese - script* menjadi lebih menggumpal. Semua ini merupakan akibat dari pengaruh stronsium yang menurunkan temperatur solidifikasi. Tetapi secara umum evolusi mikrostruktur akibat proses *ageing* tidak terlihat dengan signifikan.

