



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
PERLAKUAN PELARUTAN TERHADAP Pengerasan Penuaan
PADUAN ALUMINIUM AC4B DENGAN KANDUNGAN UNSUR 0.078 wt.
% Ti DAN 0.02 wt. % Sr**

SKRIPSI

**MOCHAMAD FANI INDARTO
0606075100**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALUGI & MATERIAL
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
PERLAKUAN PELARUTAN TERHADAP Pengerasan Penuaan
PADUAN ALUMINIUM AC4B DENGAN KANDUNGAN UNSUR 0.078 wt.
% Ti DAN 0.02 wt. % Sr**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MOCHAMAD FANI INDARTO
0606075100**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALUGI & MATERIAL
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Moch. Fani Indarto

NPM : 0606075100

Tanda Tangan :

Tanggal : 1 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Moch. Fani Indarto
NPM : 0606075100
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan
Perlakuan Pelarutan Terhadap Pengerasan Penuaan
Paduan Aluminium AC4B dengan Kandungan
Unsur 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan Diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si (.....)
Penguji 1 : Dr. Ir. A. Herman Yuwono, M.Phil.Eng (.....)
Penguji 2 : Dr. Ir. Myrna Ariati, M.Si (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas karunia dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul **“Studi Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Perlakuan Pelarutan Terhadap Pengerasan Penuaan Paduan Aluminium AC4B dengan Kandungan Unsur 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr”** ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Universitas Indonesia. Saya Menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si selaku dosen pembimbing serta pembimbingan akademik yang telah memberikan motivasi, bimbingan, pengetahuan, dan mengarahkan dalam saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Pihak CMPFA (Endi, Zakiyudin, Uthy, Edit, Syukron, Dodi) yang telah membantu saya untuk memperoleh data-data yang diperlukan.
3. Dr. Ir. Myrna Ariati, M.si, selaku Kepala Laboratorium Metalografi dan HST, terima kasih untuk fasilitas penggunaan laboratorium.
4. Mama dan Almarhum Ayah, yang selalu memberikan nasihat serta doanya yang takkan pernah putus kepada saya.
5. Keluarga saya, mba Eli, mas Wawan, abang Heri, ka Firman, dan Iyan yang telah memberikan doa, semangat, bantuan, dan dukungannya baik moral maupun materi dan keponakan saya Iza, Fafa, dan Haula yang menceriakan hari-hari saya.
6. Radhita Yuka Heragoen S.Hum yang membantu saya untuk menyusun skripsi, serta terima kasih atas segala emosi, tawa, canda ,inspirasi, semangat, dukungan, dan doanya kepada saya.
7. Tim TA AC4B Mashudi, Mba Sari, Latif, Azi, Nike, Ichi, dan Edo yang saling membantu dalam mendapatkan data.

8. Para Penghuni Elkotib Residence seperjuangan (Bintang, Afiat, Aulia Sani, Hadi, Heru, Imam, Miftah) yang telah memberikan semangat, tawa, canda, inspirasi, dan warna hidup berbeda bagi saya.
9. Aspire 1640, B 6104 UEI, HP mini, dan D1160 yang telah menemani saya selama studi dan penyusunan skripsi.
10. Rekan-rekan metalurgi angkatan 2006 dan segala pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi.



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Moch. Fani Indarto
NPM : 0606075100
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Dengan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Studi Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Perlakuan Pelarutan Terhadap
Pengerasan Penuaan Paduan Aluminium AC4B dengan Kandungan Unsur 0.078
wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat : Depok
Pada tanggal : 1 Juli 2010

Yang menyatakan

(Moch. Fani Indarto)

ABSTRAK

Nama : Moch. Fani Indarto
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Studi Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan
Perlakuan Pelarutan Terhadap Pengerasan Penuaan Paduan
Aluminium AC4B dengan Kandungan Unsur 0.078 wt. %
Ti Dan 0.02 wt. % Sr

Paduan aluminium AC4B umum digunakan untuk komponen *cylinder head* dengan metode *Low Pressure Die Casting* (LPDC). Penambahan unsur stronsium dan titanium dimaksudkan untuk mengurangi kegagalan yang terjadi pada proses pengecoran akibat cacat, diantaranya penyusutan, porositas, dan *misrun*. Selain itu, untuk meningkatkan kekerasan dari paduan perlu dilakukan pengerasan penuaan. Faktor yang mempengaruhi pada pengerasan penuaan adalah proses perlakuan pelarutan yang berperan untuk memerangkap *vacancy* dan melarutkan semua unsur didalam matriks. Kombinasi penambahan Ti dan Sr serta perlakuan pelarutan diamati pada penelitian ini.

Penelitian ini mempelajari pengaruh perlakuan pelarutan pada temperatur 480, 500, dan 520 °C dengan waktu tahan 30 dan 120 menit pada paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr. Dilakukan pengamatan peningkatan kekerasan setelah proses penuaan pada temperatur 200 °C untuk waktu hingga 96 jam serta mengamati evolusi struktur mikro pada paduan tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan dengan meningkatnya temperatur serta waktu tahan lebih lama lebih melarutkan fasa-fasa kedua kedalam matriks. Sehingga pada waktu tahan yang lebih lama melarutkan fasa silikon dan fasa intermetalik yang berbentuk jarum menjadi lebih halus dan terjadi fragmentasi. Pada AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr setelah proses penuaan memiliki kekerasan yang lebih tinggi pada temperatur pelarutan 520 °C selama 30 menit, yakni 63.32 HRB.

Kata Kunci : AC4B, titanium, stronsium, perlakuan pelarutan, pengerasan penuaan.

ABSTRACT

Nama : Moch. Fani Indarto
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Study on The Effect of Temperature and Holding Time
Solution Treatment to Age Hardening of Aluminium
AC4B Alloy with Addition 0.078wt. % Ti and 0.02 wt.% Sr

AC4B aluminium alloys is commonly used to produce cylinder head with low pressure die casting method. Strontium and titanium added to reduce reject in casting process, such as shrinkage, porosity, and misrun. To increase their hardness, the alloys are usually precipitation hardened. Crucial factor that affect age hardening response is the solution treatment process, in which vacancies are trapped and solute elements are dissolved in the matrix. Combination of Ti and Sr addition on solution treatment process was studied.

This research analyzed the solution treatment of 480, 500, and 520 °C with 30 and 120 minutes of holding time on AC4B alloys added with 0.078wt. % Ti and 0.02 wt.% Sr. Age hardening was followed during ageing at 200 °C for 96 hours and evolution of microstructure was observed.

Research results showed that the higher the temperature and longer the holding time dissolved more second phases into the matrix. Longer holding time dissolved silicon and intermetallic phases, changing their morphology into finer and fragmented phases. AC4B alloys with 0.078wt. % Ti and 0.02 wt.% Sr had the higher hardness of 63.32 HRB after solution treatment at 520 °C for 30 minutes.

Key words: AC4B, titanium, strontium, solution treatment, age hardening.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI | vi |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang Penelitian | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.3 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.4 Ruang Lingkup Penelitian | 3 |
| 1.4.1. Material Penelitian | 3 |
| 1.4.2. Parameter Penelitian | 3 |
| 1.4.3. Tempat Penelitian | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Paduan Aluminium Tuang | 5 |
| 2.2 Paduan Aluminium Silikon Tuang | 6 |
| 2.3 Paduan Aluminium AC4B | 7 |
| 2.4 Pengaruh Unsur dalam Paduan Aluminium Tuang | 8 |
| 2.5 Proses Perlakuan Panas pada Paduan Aluminium | 14 |
| 2.5.1 Jenis Perlakuan Panas | 14 |
| 2.5.2. Proses Pengerasan Penuaan pada Paduan Aluminium | 15 |
| 2.5.2.1. Proses Perlakuan Pelarutan | 15 |
| 2.5.2.2 Proses Pencelupan | 16 |
| 2.5.2.3 Proses Penuaan | 20 |
| 2.6 Studi Pengaruh Titanium dan Stronsium Terhadap perlakuan Panas Paduan Aluminium | 27 |
| 2.6.1 Pengaruh Titanium Terhadap Perlakuan Panas pada Paduan Aluminium | 27 |
| 2.6.2 Pengaruh Stronsium Terhadap Perlakuan Panas pada Paduan Aluminium | 28 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN | 30 |
| 3.1 Diagram Penelitian | 30 |
| 3.2 Bahan dan Peralatan | 31 |
| 3.2.1 Bahan | 31 |
| 3.2.2 Peralatan | 31 |
| 3.3 Persiapan Pengujian | 32 |
| 3.3.1 Proses Perlakuan Panas | 32 |
| 3.3.2 Proses Preparasi Sampel | 33 |
| 3.4 Proses Pengujian | 34 |
| 3.4.1 Pengujian Komposisi Kimia | 35 |

| | |
|--|----|
| 3.4.2 Pengujian Kekerasan | 35 |
| 3.4.3 Pengamatan Struktur Mikro..... | 35 |
| 3.4.4 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) | 36 |
| BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1 Karakterisasi Hasil Pengecoran Paduan Aluminium AC4B. | 37 |
| 4.1.1 Analisis Komposisi Kimia..... | 37 |
| 4.1.2 Pengamatan Struktur Mikro..... | 38 |
| 4.2 Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Perlakuan Pelarutan Terhadap Respon Penuaan Paduan Aluminium AC4B | 40 |
| 4.2.1 Kurva Pengerasan Penuaan | 40 |
| 4.2.2 Pengamatan Evolusi Struktur Mikro Menggunakan Mikroskop Optik | 44 |
| 4.2.3 Observasi Detail Struktur Mikro Menggunakan SEM / EDX..... | 48 |
| 4.3 Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Perlakuan Pelarutan Terhadap Respon Penuaan Paduan Aluminium AC4B Dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr..... | 50 |
| 4.3.1 Kurva Pengerasan Penuaan | 50 |
| 4.3.2 Pengamatan Evolusi Struktur Mikro Menggunakan Mikroskop Optik | 55 |
| 4.3.3 Observasi Detail Struktur Mikro Menggunakan SEM / EDX..... | 58 |
| 4.4 Perbandingan Respon Penuaan Paduan Aluminium AC4B Sebelum dan Sesudah Penambahan dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr. . | 60 |
| 4.4.1 Kurva Pengerasan Penuaan | 60 |
| 4.4.2 Analisis Struktur Mikro..... | 62 |
| 4.4.2.1 Struktur Mikro As-quench Menggunakan Mikroskop Optik..... | 62 |
| 4.4.2.2 Struktur Mikro As-quench Menggunakan SEM / EDX..... | 64 |
| 4.4.2.3 Struktur Mikro Under-aged..... | 69 |
| 4.4.2.4 Struktur Mikro Peak-aged..... | 70 |
| 4.4.2.5 Struktur Mikro Over-aged..... | 71 |
| BAB 5 KESIMPULAN | 72 |
| 5.1 Kesimpulan | 72 |
| 5.2 Saran | 73 |
| DAFTAR PUSTAKA | 74 |
| LAMPIRAN | 77 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Diagram fasa paduan aluminium silikon (Al-Si) | 7 |
| Gambar 2.2 | Kelarutan hidrogen pada aluminium | 11 |
| Gambar 2.3 | Proses pengerasan penuaan digambarkan dengan diagram fasa Al-Cu | 16 |
| Gambar 2.4 | Diagram biner Al-Cu | 18 |
| Gambar 2.5 | Efek perlakuan pelarutan terhadap bentuk morfologi dari partikel Si eutektik, etsa Dix-Keller | 19 |
| Gambar 2.6 | Evolusi fasa Intermetalik Al ₅ FeSi selama perlakuan pelarutan, etsa Dix-Keller | 20 |
| Gambar 2.7 | Presipitasi tumbuh pada <i>vacancy</i> antara atom aluminium..... | 21 |
| Gambar 2.8 | Perubahan sifat koherensi presipitat pada proses penuaan pada paduan aluminium | 22 |
| Gambar 2.9 | Pergerakan dislokasi karena presipitat | 23 |
| Gambar 2.10 | Struktur dan morfologi dari presipitat θ'' , θ' , dan θ pada Al-Cu . | 24 |
| Gambar 2.11 | Diagram fasa Al-Cu dengan batas kelarutan pada tiap jenis presipitat | 25 |
| Gambar 2.12 | Energi bebas pada tahapan pembentukan presipitat pada paduan Aluminium | 26 |
| Gambar 2.13 | Proses penuaan pada kondisi <i>under-aged</i> , <i>peak-aged</i> , dan <i>over-aged</i> pada paduan Al-Cu | 27 |
| Gambar 2.14 | Pengaruh penambahan titanium terhadap nilai elongasi | 28 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian | 32 |
| Gambar 3.2 | Dapur Carbolite dan dapur Naberthem | 32 |
| Gambar 3.3 | Daerah pemotongan Sampel dan Sampel Pengujian..... | 33 |
| Gambar 3.4 | Mesin amplas dan mesin Poles | 34 |
| Gambar 3.5 | Sampel pengujian komposisi dan Optical Emission Spectrometer WAS | 34 |
| Gambar 3.6 | Alat uji kekerasan..... | 35 |
| Gambar 3.7 | Mikroskop optik | 36 |
| Gambar 3.8 | <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)..... | 36 |
| Gambar 4.1 | Struktur mikro paduan aluminium AC4B | 39 |
| Gambar 4.2 | Kurva pengerasan penuaan paduan aluminium AC4B..... | 42 |
| Gambar 4.3 | Kurva pengerasan penuaan terhadap waktu tahan perlakuan pelarutan aluminium AC4B | 43 |
| Gambar 4.4 | Evolusi struktur mikro paduan AC4B dengan waktu perlakuan pelarutan 30 menit | 46 |
| Gambar 4.5 | Evolusi struktur mikro paduan AC4B dengan waktu perlakuan pelarutan 120 menit | 47 |
| Gambar 4.6 | Pengamatan struktur mikro SEM paduan AC4B dengan waktu perlakuan pelarutan 30 menit..... | 48 |
| Gambar 4.7 | Pengamatan struktur mikro SEM paduan AC4B dengan waktu perlakuan pelarutan 120 menit..... | 49 |
| Gambar 4.8 | Kurva pengerasan penuaan AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr | 51 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.9 | Kurva pengerasan penuaan terhadap waktu tahan perlakuan pelarutan aluminium AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr..... | 53 |
| Gambar 4.10 | Evolusi struktur mikro paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr waktu perlakuan pelarutan 30 menit..... | 56 |
| Gambar 4.11 | Evolusi struktur mikro paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr waktu perlakuan pelarutan 120 menit.... | 57 |
| Gambar 4.12 | Hasil pengujian SEM paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr waktu perlakuan pelarutan 30 menit..... | 58 |
| Gambar 4.13 | Hasil pengujian SEM paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr waktu perlakuan pelarutan 120 menit.... | 59 |
| Gambar 4.14 | Kurva perbandingan pengerasan penuaan paduan AC4B dan dengan komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr..... | 61 |
| Gambar 4.15 | Struktur mikro <i>as-quench</i> waktu tahan perlakuan pelarutan 30 menit..... | 63 |
| Gambar 4.16 | Struktur mikro <i>as-quench</i> waktu tahan perlakuan pelarutan 120 menit..... | 63 |
| Gambar 4.17 | Pengamatan struktur mikro SEM pada paduan AC4B perlakuan pelarutan 500 °C selama 30 menit pada kondisi <i>as-quench</i> | 64 |
| Gambar 4.18 | Pengamatan struktur mikro SEM pada paduan AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % perlakuan pelarutan 500 °C selama 30 menit pada kondisi <i>as-quench</i> | 66 |
| Gambar 4.19 | Pengamatan struktur mikro SEM pada paduan AC4B perlakuan pelarutan 500 °C selama 120 menit pada kondisi <i>as-quench</i> | 67 |
| Gambar 4.20 | Pengamatan struktur mikro SEM pada paduan AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % perlakuan pelarutan 500 °C selama 120 menit pada kondisi <i>as-quench</i> | 68 |
| Gambar 4.21 | Struktur mikro kondisi <i>under-aged</i> | 69 |
| Gambar 4.22 | Struktur mikro kondisi <i>peak-aged</i> | 70 |
| Gambar 4.23 | Struktur mikro kondisi <i>over-aged</i> | 71 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1 | Penamaan aluminium tuang..... | 6 |
| Tabel 2.2 | Komposisi paduan aluminium AC4B..... | 8 |
| Tabel 2.3 | Sifat-sifat stronsium | 13 |
| Tabel 2.4 | Sifat-sifat titanium..... | 14 |
| Tabel 2.5 | Penamaan standar perlakuan panas pada aluminium | 15 |
| Tabel 4.1 | Hasil pengujian komposisi kimia AC4B hasil <i>gravity casting</i> | 37 |
| Tabel 4.2 | Hasil pengujian komposisi kimia AC4B hasil LPDC | 38 |
| Tabel 4.3 | Hasil analisis SEM / EDX aluminium AC4B perlakuan pelarutan temperatur 500 °C selama 30 menit kondisi <i>peak-aged</i> | 48 |
| Tabel 4.4 | Hasil analisis SEM / EDX aluminium AC4B perlakuan pelarutan temperatur 500 °C selama 120 menit kondisi <i>peak-aged</i> | 50 |
| Tabel 4.5 | Hasil analisis SEM / EDX aluminium AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan temperatur 500 °C selama 30 menit kondisi <i>peak-aged</i> | 58 |
| Tabel 4.6 | Hasil analisis SEM / EDX aluminium AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan temperatur 500 °C selama 120 menit kondisi <i>peak-aged</i> | 59 |
| Tabel 4.7 | Hasil analisis SEM / EDX aluminium AC4B perlakuan pelarutan temperatur 500 °C selama 30 menit kondisi <i>as-quench</i> | 64 |
| Tabel 4.8 | Hasil analisis SEM / EDX aluminium AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan temperatur 500 °C selama 30 menit kondisi <i>as-quench</i> | 66 |
| Tabel 4.9 | Hasil analisis SEM / EDX aluminium AC4B perlakuan pelarutan temperatur 500 °C selama 120 menit kondisi <i>as-quench</i> | 77 |
| Tabel 4.10 | Hasil analisis SEM / EDX aluminium AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan temperatur 500 °C selama 30 menit kondisi <i>as-quench</i> | 68 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|------------|---------------------------------|----|
| Lampiran 1 | Hasil pengujian komposisi..... | 77 |
| Lampiran 2 | Hasil pengujian kekerasan | 79 |
| Lampiran 3 | Hasil pengujian Sem / EDX..... | 85 |



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Paduan aluminium tuang merupakan salah satu material yang sering digunakan dalam industri otomotif. Penggunaan material ini dikarenakan paduan aluminium memiliki berat jenis yang ringan (2.7 g/cm^3) dan dapat membentuk bagian yang rumit. Paduan aluminium tuang yang sering digunakan untuk pengecoran pada industri otomotif adalah Al-Si-Cu. Hal itu karena paduan tersebut memiliki kekuatan dan mampu alir yang baik. Selain itu paduan ini memiliki kemampuan untuk ditingkatkan kekerasannya melalui proses perlakuan panas.

Paduan Al-Si-Cu salah satu aplikasinya adalah untuk pembuatan komponen kendaraan bermotor yaitu *cylinder head*. Paduan Al-Si-Cu yang digunakan untuk pembuatan komponen tersebut merupakan aluminium AC4B menurut standar JIS (*Japan Industrial Standard*) atau setara dengan AA 333.0 *as-cast* sesuai *Aluminium Association* (AA). Pembuatan komponen *cylinder head* dilakukan dengan metode *Low Pressure Die Casting* (LPDC). Beberapa kegagalan yang sering terjadi pada proses pengecoran *cylinder head* dengan menggunakan metode ini adalah terdapatnya porositas, penyusutan (*shrinkage*), dan *misrun*^[1]. Kegagalan yang terjadi tersebut dapat mengurangi sifat mekanis dan dapat menimbulkan kerugian pada proses produksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan unsur penghalus butir dan unsur modifikasi agar dapat menurunkan tingkat kegagalan komponen produk pengecoran dengan cara meminimalisir cacat-cacat yang terbentuk^[2].

Penambahan unsur penghalus butir seperti titanium (Ti) pada paduan aluminium adalah sebagai pembentuk inti yang dapat menyebabkan pendinginan menjadi lebih terkontrol dan butir-butir yang dihasilkan menjadi lebih halus (kecil). Dengan adanya penghalus butir sifat mekanis paduan aluminium akan menjadi lebih baik. Sedangkan penambahan unsur modifikasi seperti stronsium (Sr) pada paduan aluminium dapat memodifikasi struktur silikon eutektik pada

fasa Al-Si dari bentuk *acicular* menjadi *fibrous* sehingga akan menyebabkan peningkatan terhadap fluiditas, keuletan, ketahanan impak, dan kekuatan tarik^[3].

Untuk mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik pada *cylinder head as-cast* ini, maka perlu dilakukan perlakuan panas. Perlakuan panas yang cocok untuk paduan aluminium ini adalah *temper* T6^[4]. Proses perlakuan panas ini terdiri dari beberapa proses yaitu, perlakuan pelarutan, pencelupan, dan *artificial ageing* (proses penuaan pada temperatur tertentu). Perlakuan pelarutan adalah proses memanaskan paduan aluminium temperatur tertentu untuk melarutkan semua fasa yang terbentuk dan menghasilkan satu fasa (α). Perlakuan pelarutan ini berguna untuk menentukan kesempurnaan pelarutan dan perlu dilakukan pada temperatur dan waktu tahan yang tepat. Setelah perlakuan pelarutan maka perlu dilakukan pencelupan secara cepat agar terbentuknya larutan padat lewat jenuh dan terperangkapnya *vacancy*. Paduan tersebut dilakukan proses penuaan untuk menghasilkan presipitat yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan^[5]. Penambahan unsur stronsium pada paduan Al-Si-Cu yang mengalami perlakuan panas adalah untuk mempersingkat waktu tahan perlakuan pelarutan untuk mencapai keseragaman dan meningkatkan sifat mekanik^[6]. Sedangkan dengan penambahan unsur titanium akan meningkatkan kekerasan setelah dilakukan perlakuan panas^[3].

Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan terhadap pengaruh perlakuan pelarutan terhadap proses pengerasaan penuaan paduan AC4B yang telah ditambahkan dengan unsur stronsium dan titanium. Sehingga kombinasi pengaruh perlakuan panas dan penambahan unsur modifikasi dan penghalus butir akan dapat diketahui pada paduan AC4B. Penelitian merupakan bagian dari penelitian payung mengenai pengembangan paduan aluminium tuang sebagai bahan baku industri otomotif dengan penambahan unsur penghalus butir dan modifikasi. Proses perlakuan pelarutan yang akan dilakukan dengan pengamatan parameter temperatur 480 °C, 500 °C, dan 520 °C dengan waktu tahan pelarutan selama 30 menit dan 120 menit. Sedangkan proses penuaan akan dilakukan pada temperatur 200 °C dengan waktu tahan sampai 96 jam, dimana akan dilakukan pengamatan respon proses penuaan terhadap kekerasan dan struktur mikro.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- 1) Mempelajari pengaruh temperatur dan waktu tahan perlakuan pelarutan terhadap kekerasan dan struktur mikro paduan aluminium AC4B dengan penambahan unsur 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr.
- 2) Mempelajari peran Sr dan Ti pada proses perlakuan pelarutan paduan aluminium AC4B.
- 3) Mempelajari mekanisme pengerasan penuaan dari paduan aluminium AC4B dengan penambahan unsur 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan untuk mengetahui peran proses perlakuan pelarutan pada aluminium AC4B dalam respon terhadap penuaan serta mengetahui peran stronsium dan titanium dalam proses tersebut.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

1.4.1. Material Penelitian

- 1) Paduan aluminium AC4B.
- 2) Paduan aluminium AC4B dengan penambahan unsur 0.02 wt. % Sr dan 0.078 wt. % Ti.

1.4.2. Parameter Penelitian

- 1) Variabel temperatur perlakuan pelarutan : 480 °C, 500 °C, dan 520 °C
- 2) Variabel waktu tahan perlakuan pelarutan : 30 dan 120 menit.

1.4.3. Tempat Penelitian

- 1) Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Metalografi dan HST Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- 2) Pengujian kekerasan di Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- 3) Pengujian komposisi di *Center of Material Processing and Failure Analysis* (CMPFA) Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.

- 4) Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalografi dan HST Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- 5) Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) di Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Paduan Aluminium Tuang

Paduan aluminium tuang dewasa ini banyak digunakan pada industri otomotif, kecenderungan tersebut dikarenakan banyak aplikasi yang membutuhkan sifat dari aluminium tersebut. Adapun sifat-sifat dari paduan aluminium tuang antara lain ^[4] :

- 1) Massa jenis aluminium sekitar 1/3 dari massa jenis baja (ρ Al paduan = 2.6-2.9 g/cm^3 , sedangkan ρ baja karbon = 7.85 g/cm^3).
- 2) Memiliki temperatur lebur yang relatif rendah. Hal tersebut akan menghemat penggunaan energi dalam proses peleburannya.
- 3) Memiliki stabilitas kimia yang cukup baik.
- 4) Fluiditasnya baik sehingga aluminium mampu mengisi rongga – rongga dari cetakan yang tipis.
- 5) Cukup banyak jenis paduan aluminium tuang yang relatif bebas dari kecenderungan *hot shortness* (retak pada temperatur tinggi).
- 6) Memiliki permukaan *as-cast* yang baik dan agak mengkilat.
- 7) Memiliki siklus penuangan yang cukup cepat karena perpindahan panas dari aluminium ke cetakan relatif cepat.
- 8) Tahan korosi.

Dengan sifat yang sangat baik tersebut, aluminium tuang juga memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Kekurangan aluminium diantaranya, berat jenis yang rendah menyebabkan paduan aluminium mudah tercampur dengan kotoran oksida yang berat jenisnya hampir sama. Selain itu aluminium pada saat kondisi cair mudah untuk mengikat gas (hidrogen) sehingga perlu dilakukan *degassing* atau pemberian *flux* untuk mencegahnya dan juga penyusutan pada saat membeku cukup tinggi.

Aluminium tuang pada saat ini cukup banyak jenisnya, untuk itu perlu adanya klasifikasi. Klasifikasi yang digunakan untuk paduan aluminium adalah sesuai dengan AA (*Aluminium Association*) yang dipakai untuk menjadi standar.

Standar ini sudah mencakup klasifikasi berdasarkan cara pembuatan serta unsur paduan utamanya. Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi dari paduan aluminium tuang menurut AA, baik paduan tempa maupun paduan tuang diklasifikasikan dengan empat digit, pada paduan tuang digit keempat dipisahkan dengan tanda titik dari ketiga digit sebelumnya. Digit pertama menunjukkan kelompok paduan, digit kedua dan ketiga menunjukkan kemurnian minimum untuk aluminium tanpa paduan dan sebagai nomor identifikasi untuk paduan tersebut, digit keempat menandakan bentuk produk (.0 = spesifikasi coran, .1 = spesifikasi ingot, .2 = spesifikasi ingot yang lebih spesifik).

Tabel 2.1 Penamaan aluminium tuang menurut AA^[3]

| No. Seri | Paduan |
|-----------------|--|
| 1xx.x | Aluminium murni ($\geq 99\%$) |
| 2xx.x | Paduan aluminium - tembaga |
| 3xx.x | Paduan aluminium - silikon + tembaga / magnesium |
| 4xx.x | Paduan aluminium - silikon |
| 5xx.x | Paduan aluminium - magnesium |
| 6xx.x | Tidak dipakai |
| 7xx.x | Paduan aluminium - seng |
| 8xx.x | Paduan aluminium - timah (Sn) |
| 9xx.x | Al + unsur lain |

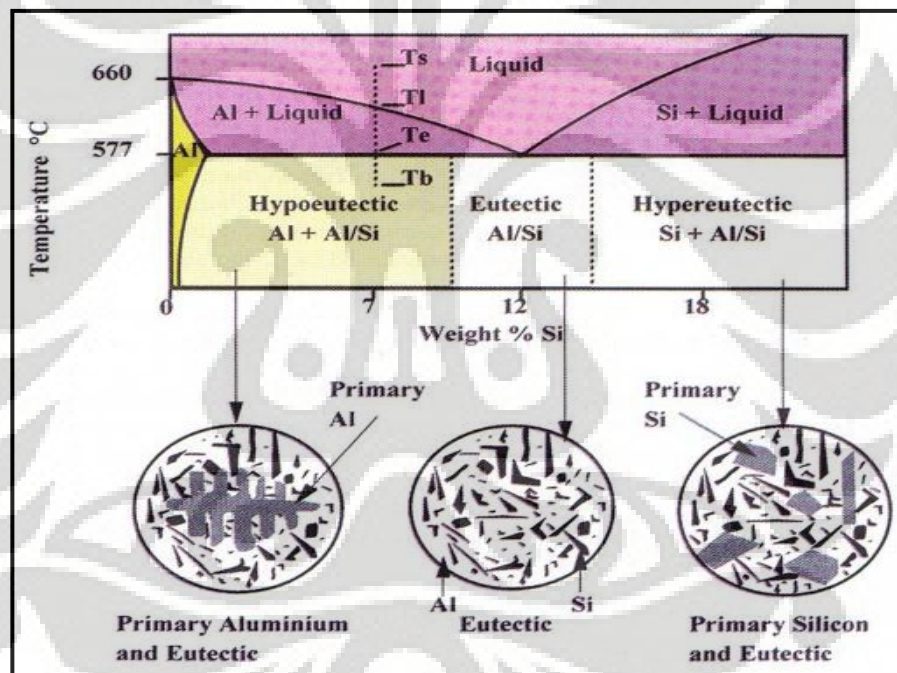
2.2 Paduan Aluminium Silikon Tuang

Aluminium silikon merupakan salah satu paduan aluminium yang sering pada proses pengecoran. Hal tersebut dikarenakan dengan penambahan silikon pada aluminium tuang memberikan efek yang baik untuk produk yang dihasilkan. Paduan aluminium silikon pada sistem penamaan AA termasuk aluminium paduan berseri 3XX.X. Kombinasi aluminium dengan silikon memiliki keuntungan kemampuan alir yang baik pada saat cair, sifat mampu bentuk dan ketahanan korosi yang baik^[7]. Berdasarkan kandungan silikon yang ada pada

paduannya maka paduan aluminium silikon dibagi 3 berdasarkan kandungan silikonnya^[7] yaitu:

- 1) Paduan hipoeutektik (< 11.7 % Si)
- 2) Paduan eutektik (11.7 - 12 % Si)
- 3) Paduan hipereutektik (> 12.2 % Si)

Gambar 2.1 menunjukkan daerah dari paduan aluminium silikon. Dari ketiga jenis aluminium silikon ini memiliki struktur utama berupa fasa α -Al yang sangat kaya akan aluminium dan partikel-partikel kristal silikon yang tidak terlarut dalam fasa α -Al. Ketiga aluminium silikon tersebut dapat digunakan sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan.



Gambar 2.1 Diagram fasa paduan aluminium silikon (Al-Si)^[9]

2.3 Paduan Aluminium AC4B

Paduan aluminium AC4B merupakan aluminium dengan paduan utama silikon dan tembaga. Penamaan aluminium AC4B merupakan penamaan yang digunakan oleh *Japan Industrial Standard (JIS)*. Berdasarkan standar JIS H5202 paduan aluminium AC4B setara dengan paduan 333.0 menurut standar AA (*Aluminium Association*). Komposisi kedua paduan tersebut tidak jauh berbeda

dan dapat dilihat pada Tabel 2.2 yang menunjukkan kesetaraan dari kedua paduan aluminium tersebut

Tabel 2.2. Komposisi kimia paduan AC4B berdasarkan JIS dan aluminium tuang sesuai standar AA ^{[10][11]}

| Paduan | Komposisi Kimia % | | | | | | | | |
|---------|-------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|------|
| | Cu | Si | Mg | Zn | Fe | Mn | Ni | Ti | Al |
| AC4B | 2.0-4.0 | 7.0-10.0 | 0.5 max | 1.0 max | 1.0 max | 0.5 max | 0.3 max | 0.2 max | Sisa |
| AA. 333 | 3.0-4.0 | 8.0-10.0 | 0.05-0.5 | 1.0 max | 1.0 max | 0.5 max | 0.5 max | 0.25 max | Sisa |

2. 4 Pengaruh Unsur dalam Paduan Aluminium Tuang

Pada paduan aluminium tuang adanya penambahan unsur adalah untuk meningkatkan sifat dari paduan tersebut. Unsur yang ditambahkan sesuai dengan sifat yang diinginkan pada paduan tersebut. Unsur yang terdapat pada paduan aluminium sengaja ditambahkan dan juga sudah terdapat pada aluminium tuang tersebut. Adapun unsur-unsur yang berpengaruh pada paduan aluminium tuang sebagai berikut :

1) Silikon (Si)

Silikon adalah unsur yang paling sering ditemui pada paduan aluminium karena dapat memperbaiki karakteristik hasil coran. Silikon pada paduan Al-Si (terutama pada kadar 5-13% Si) meningkatkan fluiditas dan ketahanan terhadap retak panas, meningkatkan kekuatan dan kekerasan serta menurunkan berat jenis. Apabila kadar Si >12 % maka akan terbentuk kristal silikon primer yang bersifat keras, memiliki ekspansi termal yang rendah dan ketahanan ausnya baik. Akan tetapi sifat mampu pemesinannya kurang baik. Berdasarkan standar JIS paduan aluminium AC4B sekitar 7-10 %^[10].

2) Tembaga (Cu)

Kandungan tembaga pada paduan aluminium AC4B berkisar 2-4 %^[10]. Unsur tembaga sebagai paduan akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan logam saat *as-cast* dan saat dilakukan perlakuan panas juga akan meningkatkan kekerasan dengan membentuk presipitat yaitu fasa kedua Al₂Cu. Namun unsur ini

dapat mengurangi ketahanan terhadap *hot tear* (retak panas), fluiditas dan ketahanan korosi^[12].

3) Besi (Fe)

Unsur besi merupakan pengotor yang sering ditemukan di aluminium^[13]. Besi merupakan elemen paduan pada aluminium yang tidak dapat dihilangkan. Keberadaan besi pada paduan aluminium cair lewat jenuh memiliki kecenderungan untuk melarutkan cetakan pada *die-casting* sehingga terjadi penempelan^[14]. Kelarutan besi dalam aluminium pada fasa padat sangat rendah (~0.04%), dan kebanyakan keberadaan besi dalam aluminium yang melebihi jumlah tersebut berupa fasa intermetalik kedua yang berkombinasi dengan aluminium dan unsur lainnya. Besi bereaksi membentuk fasa-fasa tidak terlarut (*insoluble*) dalam leburan paduan aluminium, yang umumnya berupa FeAl_3 , FeMnAl_6 , dan Al_5FeSi ^[14]. Adanya kadar besi pada paduan yang berlebihan akan membentuk kristal Al_5FeSi akan menurunkan sifat keuletan dan ketahanan korosi paduan Al-Si dan mengakibatkan struktur butir yang kasar.

4) Seng (Zn)

Seng merupakan unsur pengotor pada aluminium dan termasuk logam berat sehingga dapat meningkatkan massa jenis pada paduannya^[14]. Penambahan seng (Zn) tidak memiliki pengaruh yang signifikan bila hanya ditambahkan ke dalam paduan Al-Si. Akan tetapi bila dipadukan bersama dengan tembaga (Cu) dan/atau magnesium maka akan menghasilkan komposisi *heat-treatable* yang berpengaruh meningkatkan kekerasan dan kekuatan karena membentuk presipitat MgZn_2 , CuAl_2 ^[3].

5) Mangan (Mn)

Mangan biasanya dianggap sebagai pengotor dalam komposisi aluminium tuang, sehingga harus dikendalikan agar tetap rendah dalam proses *gravity casting*. Tanpa melakukan *work hardening*, mangan tidak memberikan efek yang signifikan pada paduan aluminium tuang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa fraksi volume yang tinggi dari MnAl_6 pada paduan aluminium yang mengandung

lebih dari 0.5 % Mn akan memiliki pengaruh yang menguntungkan pada mutu internal dari aluminium tuang^[15].

6) Kromium (Cr)

Kromium memiliki laju difusi yang rendah dan membuat fasa halus yang terdispersi pada produk tempa. Fasa terdispersi ini mencegah nukleasi dan pertumbuhan butir. Kromium digunakan untuk mengontrol struktur butir, untuk menjaga pertumbuhan butir pada paduan aluminium selama proses *heat treatment*.

7) Nikel (Ni)

Unsur nikel umumnya digunakan bersama dengan tembaga untuk meningkatkan kekuatan pada temperatur tinggi. Nikel juga mengurangi koefisien ekspansi termal.

8) Magnesium (Mg)

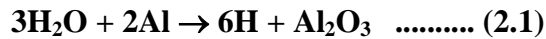
Magnesium merupakan unsur yang memberikan kekuatan dan kekerasan pada paduan aluminium-silikon^[14]. Dengan tujuan yang sama unsur magnesium biasanya juga digunakan dalam paduan aluminium-silikon yang kompleks, yang terdiri dari tembaga, nikel dan unsur-unsur lainnya. Magnesium dan silikon akan mengalami mekanisme penguatan berupa penguatan penuaan (*age hardening*), dengan membentuk fasa Mg_2Si sebagai presipitat^[14]. Perpaduan antara aluminium dan magnesium biasanya digunakan untuk aplikasi yang menghendaki permukaan akhir yang terang, memiliki respon yang baik terhadap bahan kimia, tahan terhadap korosi, dan memiliki kombinasi yang baik antara kekuatan dan keuletan.

9) Boron (B)

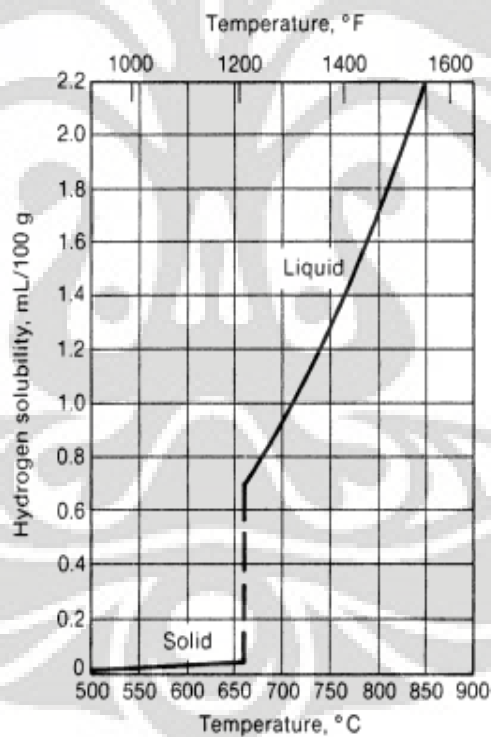
Boron digunakan pada aluminium dan paduannya sebagai *grain refiner* dan untuk meningkatkan konduktivitas dengan pengendapan vanadium, titanium, kromium dan molibdenum. Boron dapat digunakan sendiri (pada level 0,005% - 0,1%) sebagai *grain refiner* selama proses solidifikasi, namun menjadi lebih efektif saat digunakan dengan titanium berlebih^[7]

10) Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur yang mudah diserap oleh aluminium ketika dalam keadaan cair. Kandungan hidrogen pada aluminium berasal dari atmosfer pada saat melakukan pengecoran. Hidrogen akan bereaksi dengan aluminium pada temperatur tinggi sesuai persamaan reaksi:



Pada Gambar 2.2 menunjukkan kelarutan hidrogen akan naik seiring dengan kenaikan dari temperatur. Oleh sebab itu hidrogen mudah untuk berdifusi kedalam aluminium cair. Dengan adanya hidrogen pada aluminium tuang akan menimbulkan sifat yang negatif.



Gambar 2.2 Kelarutan hidrogen pada aluminium^[16]

Pada saat proses pendinginan dan pembekuan, hidrogen yang berlebih akan mengendap dan membentuk molekul yang menyebabkan pembentukan porositas. Kehadiran hidrogen yang berlebih menyebabkan cacat porositas pada aluminium tuang. Adanya porositas pada hasil pengecoran akan berdampak terhadap penurunan sifat mekanik pada aluminium tuang tersebut. Penurunan sifat

mekanik berupa penurunan kekuatan tarik, kekerasan, kekuatan fatik, kekuatan impact, serta elongasi dari aluminium tuang.

Upaya untuk pengendalian unsur hidrogen agar meminimalkan berdifusi kedalam aluminium adalah dengan pemberian *flux* pada aluminium cair pada saat melakukan pengecoran agar permukaan logam cair terlindung dari atmosfer, penggunaan bahan mentah perlunya dilakukan pengeringan agar terhindar dari uap air. Selain itu proses yang sering dilakukan pada industri adalah dengan melakukan *degassing*. Proses *degassing* adalah dengan menghembuskan gas *inert* (nitrogen, argon, klorin atau freon, serta senyawa heksakloroetana) untuk mengikat dan mengangkat gas hidrogen pada aluminium cair.

11) Stronsium (Sr)

Unsur stronsium termasuk golongan II A atau golongan alkali tanah dan merupakan logam dengan warna silver terang atau abu-abu. Dalam keadaan natural unsur ini didapat pada batuan mineral yang seperti *strontianite* dan *celestite*^[17]. Tabel 2.3 menunjukkan sifat dari stronsium, unsur kimia ini memiliki sifat reaktif yang tinggi terhadap oksigen dan air. Karena sifat reaktif yang tinggi, stronsium harus disimpan pada larutan kerosin untuk mencegah oksidasi. Stronsium pada paduan aluminium digunakan sebagai unsur yang memodifikasi kristal silikon eutektik, dimana berperan dalam merubah sruktur silikon primer dari bentuk jarum yang kasar/balok menjadi bentuk halus/bulat. Modifikasi yang efektif akan didapatkan dengan penambahan stronsium pada kadar yang rendah^[12]. Penambahan unsur stronsium dapat meningkatkan sifat mekanis yaitu keuletan, ketahanan impact, dan kekuatan tarik^[3]

Tabel 2.3 Sifat-sifat stronsium^[17]

| Sifat | Penjelasan |
|--------------------------|---|
| Nama | Stronsium |
| Simbol | Sr |
| Nomor atom | 38 |
| Kategori unsur | Alkali Tanah |
| Golongan | II A |
| Periode | 5 |
| Berat atom | 87,62 g/mol |
| Jari-jari atom | 215 pm |
| Jari-jari ikatan kovalen | 195±10 pm |
| Jari-jari van der waals | 249 pm |
| Energi ionisasi | Ke-1 : 549,5 kJ / mol |
| | Ke-2 : 1064.2 kJ / mol |
| | Ke-3 : 4138 kJ / mol |
| Konfigurasi elektron | [Kr] 5s ² |
| Berat jenis | 2,64 g / cm ³ |
| Berat jenis cair | 2,375 g / cm ³ |
| Titik lebur | 777 °C |
| Titik didih | 1382 °C |
| Kalor lebur | 7,43 kJ / mol |
| Kalor penguapan | 136,9 kJ / mol |
| Kapasitas panas | (25 °C) 26.4 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹ |
| Modulus geser | 6,1 Gpa |
| Konduktivitas panas | (300 K) 35.4 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹ |

12) Titanium (Ti)

Titanium merupakan unsur minor pada paduan AC4B. Kelarutan Titanium dalam paduan AC4B dibatasi sampai 0.2 %^[10]. Pada Tabel 2.4 menunjukkan sifat titanium pada umumnya. Titanium memiliki berat jenis yang rendah, kekuatan yang baik, mudah di fabrikasi, keuletan yang baik dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Titanium tahan pada larutan sulfur, larutan asam organik, gas klorin, dan larutan klorin. Selain itu titanium tahan dari beban fatik dan temperatur tinggi dibandingkan dengan aluminium. Pada pemakaian temperatur tinggi (150 °C) paduan aluminium akan kehilangan kekuatannya dan perlu adanya paduan dari titanium agar dapat memperbaiki sifat tersebut. Penggunaan titanium penting sebagai pemuat dalam paduan aluminium, molibdenum, mangan, besi dan logam lainnya. Titanium merupakan unsur minor pada paduan AC4B. Kelarutan titanium dalam paduan AC4B dibatasi sampai 0.2 %^[10]. Titanium digunakan sebagai

penghalus butir (*grain refiner*) pada paduan aluminium. Titanium juga dapat meningkatkan kekerasan paduan aluminium dengan membentuk presipitat Al_3Ti .

Tabel 2.4 Sifat-sifat titanium ^[17]

| Sifat | Penjelasan |
|--------------------------|--|
| Nama | Titanium |
| Simbol | Ti |
| Nomor atom | 22 |
| Kategori unsur | Unsur transisi |
| Golongan | IV B |
| Periode | 4 |
| Berat atom | 47,867 g/mol |
| Jari-jari atom | 140 pm |
| Jari-jari ikatan kovalen | 136 pm |
| Energi ionisasi | ke-1: 658.8 kJ/mol ke-2: 1309.8 kJ/mol ke-3: 2652.5 kJ/mol |
| Konfigurasi elektron | [Ar] $3d^2 4s^2$ |
| Struktur kristal | Hexagonal |
| Berat jenis | 4.509 g/cm ³ |
| Berat jenis cair | 4,11 g/cm ³ |
| Titik lebur | 1668°C |
| Titik didih | 3287°C |
| Kalor lebur | 14,15 kJ/mol |
| Kalor penguapan | 425 kJ/mol |
| Modulus geser | 44 Gpa |
| Konduktivitas panas | (300 K) 21.9 W/(m·K) |
| Ketahanan elektrik | (20 °C) 0.420 $\mu\Omega\cdot\text{m}$ |
| Kekerasan Brinell | 716 Mpa |

2.5 Proses Perlakuan Panas Pada Paduan Aluminium

2.5.1 Jenis Perlakuan Panas

Perlakuan panas pada aluminium memiliki karakteristik masing-masing. Perlakuan yang diberikan pada paduan aluminium akan mempengaruhi sifat dari material tersebut pada saat aplikasinya. Setiap perlakuan yang diberikan akan berbeda pengaruhnya terhadap paduan aluminium. Tidak semua paduan aluminium dapat dilakukan perlakuan panas. Pada tabel 2.5 dijelaskan proses perlakuan panas pada paduan aluminium yang dibagi menjadi 10 jenis perlakuan

panas yang ditandai dengan simbol T1 – T10 (*Temper* 1-10). Adapun jenis dan penamaan perlakuan panas tersebut, yaitu :

Tabel 2.5 Penamaan standar untuk proses perlakuan panas pada aluminium^[15]

| Simbol | Penjelasan |
|---------------|---|
| T1 | <i>Natural ageing</i> setelah pendinginan dari temperatur proses pembentukan |
| T2 | Pengerjaan dingin setelah pendinginan dari temperatur proses pembentukan |
| T3 | Perlakuan pelarutan, pengerjaan dingin, dan <i>natural ageing</i> |
| T4 | Perlakuan pelarutan dan <i>natural ageing</i> |
| T5 | <i>Artificial ageing</i> setelah pendinginan dari temperatur proses pembentukan |
| T6 | Perlakuan pelarutan dan <i>artificial ageing</i> |
| T7 | Perlakuan pelarutan dan stabilisasi (<i>overageing</i>) |
| T8 | Perlakuan pelarutan, pengerjaan dingin, dan <i>artificial ageing</i> |
| T9 | Perlakuan pelarutan, <i>artificial ageing</i> , dan pengerjaan dingin |
| T10 | Pengerjaan dingin setelah pendinginan dari temperatur proses pembentukan |

2.5.2. Proses Pengerasan Penuaan Pada Paduan Aluminium

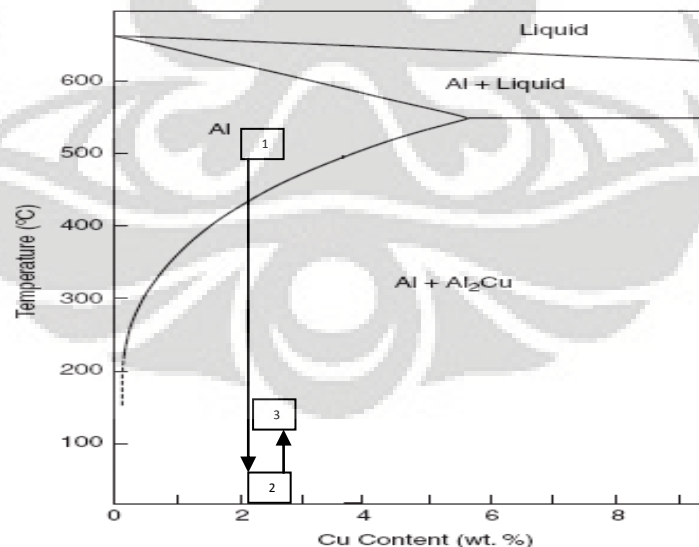
Proses pengerasan penuaan (*age hardening*) merupakan salah satu proses pengerasan logam dengan menggunakan proses perlakuan panas. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan dari paduan aluminium. Mekanisme pengerasan ini adalah dengan menghasilkan presipitat, dimana akan memperkuat paduan dengan cara menghambat pergerakan dislokasi pada paduan tersebut. Pada pengerasan ini akan terjadi 2 fasa dimana fasa yang satu adalah matriks dari aluminium dan yang satunya lagi adalah presipitat yang terdispersi dalam matriks aluminium tersebut.

Pengerasan yang dihasilkan dari presipitat dipengaruhi oleh jenis partikel yang berpresipitasi, besar regangan, dan temperatur penuaan^[5]. Jenis partikel yang

berpresipitasi menentukan bentuk presipitat yang dihasilkan pada proses penuaan, sedangkan besar regangan yang terjadi adalah untuk menghalangi pergerakan dislokasi yang terjadi pada paduan aluminium tersebut. Temperatur penuaan juga perlu diperhatikan dalam menghasilkan presipitat dan agar tidak terjadi penuaan berlebih.

Presipitat akan tumbuh pada *vacancy* (ruang kosong) dalam matriks dan hal tersebut yang menghalangi pergerakan bebas dari dislokasi. Apabila dislokasi bergerak, maka harus memotong dan melewati presipitat. Dislokasi yang memotong atau melewati presipitat memiliki energi yang besar. Sedangkan dislokasi yang memiliki energi yang rendah akan terhalang oleh presipitat dan akan menumpuk. Menumpuknya dislokasi maka akan terjadi tegangan pada daerah yang terkonsentrasi tersebut, hal itu akan meningkatkan kekerasan pada paduan aluminium.

Adapun proses pengerasan penuaan untuk menghasilkan presipitat pada paduan aluminium adalah dengan melakukan perlakuan pelarutan (*solution treatment*), pencelupan (*quenching*), dan penuaan (*ageing*). Pada Gambar 2.3 menunjukkan tahapan proses pengerasan penuaan yang terjadi pada paduan aluminium - tembaga.

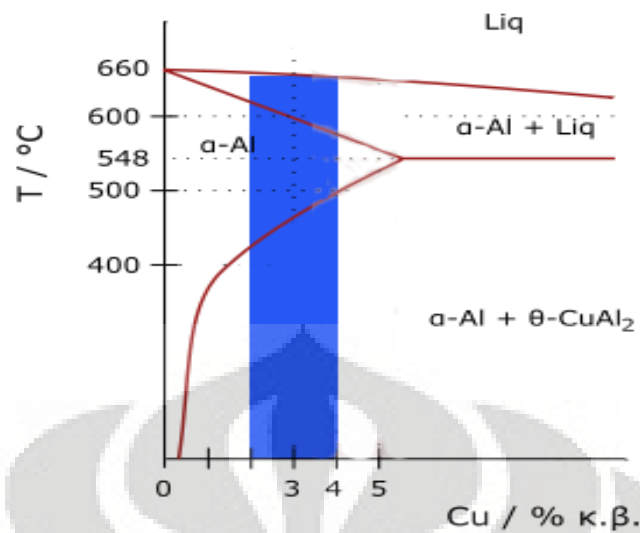


Gambar 2.3 Proses pengerasan penuaan digambarkan dengan diagram fasa Al-Cu. (1) perlakuan pelarutan ditahan hingga struktur menjadi homogen (satu fasa); (2) Pencelupan untuk mendapatkan struktur tidak stabil pada temperatur ruang; (3) Penuaan untuk mendapatkan presipitat dan fasa kedua ^[19]

2.5.2.1. Proses Perlakuan Pelarutan

Proses ini merupakan tahapan awal dari seluruh proses pengerasan penuaan pada paduan aluminium. Tujuan dari proses ini adalah untuk memisahkan presipitat dan memecahkan adanya *cluster* yang mungkin ada pada paduan aluminium, sehingga menghasilkan paduan yang homogen (*homogenous solution*). Selain itu, perlakuan pelarutan juga untuk memerangkap vacancy yang sudah terdapat pada aluminium. Perlakuan pelarutan adalah pemanasan yang dilakukan pada temperatur dimana seluruh atom akan terlarut menjadi fasa tunggal pada larutan padat. Perlakuan tersebut dipanaskan pada temperatur fasa α dimana pemanasan ditahan dan menunggu hingga fasa β terlarut sempurna menjadi fasa α ^[14]. Pemanasan tersebut untuk membiarkan atom paduan seperti Cu untuk berdistribusi merata pada fasa tunggal. Proses ini membuat kelarutan yang maksimum pada larutan padat dari unsur-unsur yang diperkuat pada sistem paduan tersebut.

Membuat larutan padat menjadi homogen adalah dampak untuk mengambil manfaat dari proses presipitasi^[21]. Presipitat akan terbentuk dari larutnya unsur-unsur paduan dalam fasa tunggal yang akan tumbuh setelah dilakukan pencelupan dan didiamkan pada waktu tertentu. Temperatur harus terjadi pada derajat pelarutan paduan agar fasa-fas pada aluminium dapat terlarut. Pada proses ini penting untuk mengetahui temperatur yang tepat agar terjadi proses pelarutan yang tepat dan efektif. Hal ini dikarenakan temperatur pelarutan tergantung dari komposisi dari paduan aluminium. Gambar 2.4 merupakan diagram biner aluminium-tembaga, dimana untuk mengetahui daerah perbandingan komposisi paduan tersebut yang terjadi fasa tunggal dan dua fasa. Dengan mengetahui daerah tersebut, perlakuan pelarutan dapat menentukan temperatur yang cocok untuk mendapatkan fasa tunggal yang maksimal.

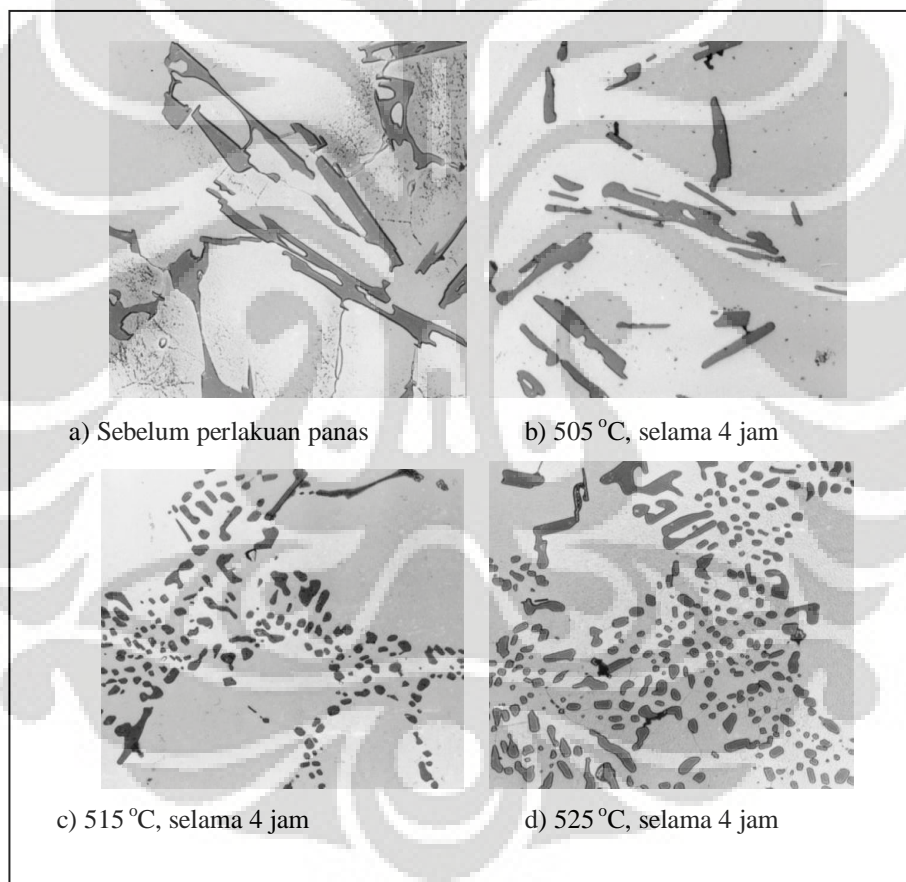


Gambar 2.4 Diagram biner Al-Cu^[22]

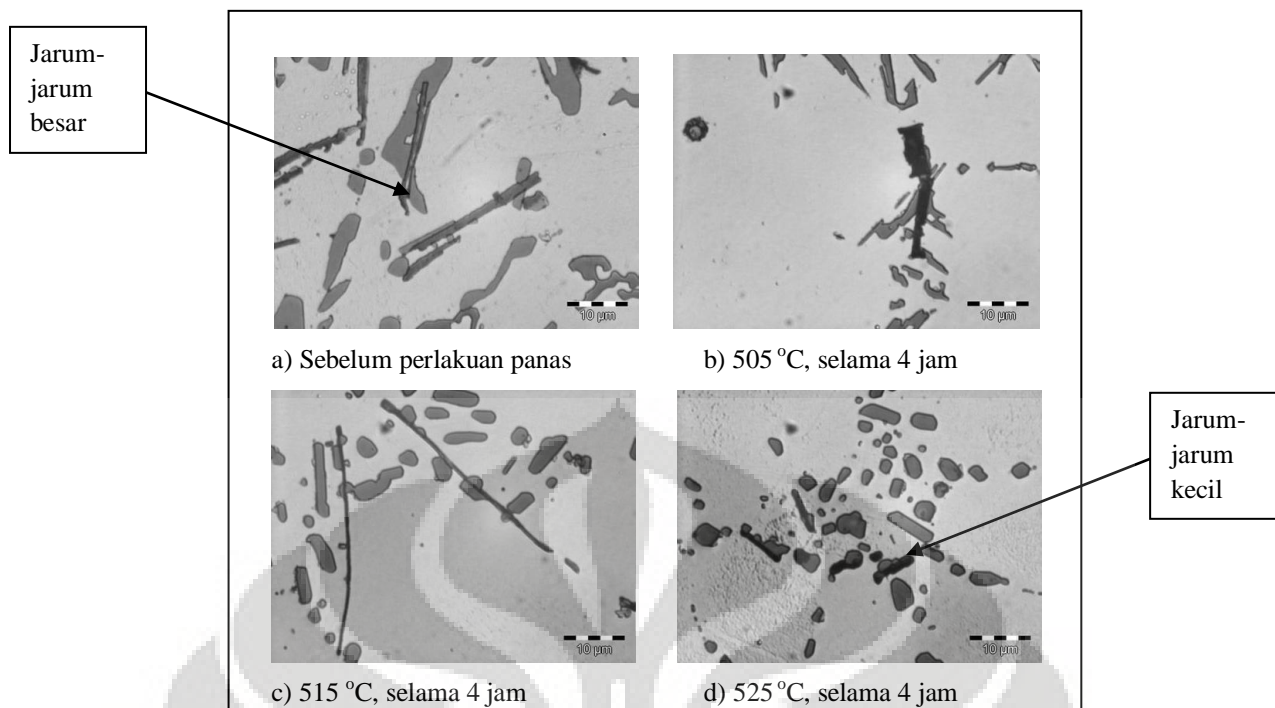
Pada proses perlakuan pelarutan pemanasan harus mempertimbangkan temperatur dan waktu tahan pelarutan atom-atom paduan pada aluminium agar terjadi dengan baik. Penentuan perlakuan pelarutan dapat diprediksi dengan melihat atau menggunakan diagram fasa Al-Cu. Temperatur haruslah dijaga agar tidak terjadi peleburan dan temperatur harus ditempatkan pada temperatur terbentuknya larutan padat. Jika temperatur terlalu tinggi akan mengakibatkan terjadinya peleburan dan bila temperaturnya terlalu rendah tidak akan terjadi homogenitas larutan padat yang maksimal. Proses pemanasan harus dikontrol dengan baik antara waktu dengan temperatur, hal ini dimaksudkan untuk tidak terjadinya *over heating* dan pelunakan pada paduan tersebut. Apabila terjadi hal demikian maka material tersebut akan buruk ketika dilakukan proses permesinan. Waktu tahan yang diperlukan untuk proses perlakuan pelarutan dipilih hingga tercapainya homogenitas yang sempurna pada larutan padat.

Menurut Zhang Dingfei^[23] pada penelitiannya, proses perlakuan pelarutan pada paduan aluminium Al-7%Si-3,5%Cu dapat melarutkan senyawa intermetalik yang kasar yang terbentuk pada saat pendinginan. Selain itu, proses perlakuan pelarutan berguna untuk mendistribusikan tembaga pada matriks α -Al agar dapat merata pada fasa tersebut. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Tillova^[24], perlakuan pelarutan paduan AlSi₉Cu₃ yang dilakukan pada temperatur 505 °C, 515 °C, 525 °C selama 4 jam dan pencelupan dengan media air 40 – 60 °C

menunjukkan bahwa ukuran dan bentuk partikel Si eutektik dan intermetalik berubah. Dengan kenaikan temperatur tersebut, partikel Si eutektik akan mengalami fragmentasi dan sphereodisasi menjadi ukuran yang lebih kecil dan tersebar pada matrik aluminium, struktur mikro yang dihasilkan proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5. Ketika waktu tahan perlakuan pelarutan dilanjutkan hingga 16 jam, partikel Si yang mengalami pembulatan akan tumbuh menjadi kasar. Gambar 2.6 menunjukkan perubahan struktur partikel intermetalik Al_5FeSi . Pada fasa intermetalik Al_5FeSi setelah dilakukan perlakuan pelarutan struktur mikro berubah yang semula jarum-jarum tebal cenderung menjadi jarum-jarum yang tipis dan pada temperatur $515^\circ C$ struktur jarum yang tipis.



Gambar 2.5 Efek perlakuan pelarutan terhadap bentuk morfologi dari partikel Si eutektik, etsa Dix-Keller^[24]



Gambar 2.6. Evolusi fasa Intermetalik Al_5FeSi selama perlakuan pelarutan, etsa Dix-Keller^[24]

2.5.2.2 Proses Pencelupan

Pencelupan merupakan bagian yang perlu diperhatikan untuk membentuk paduan yang sesuai dengan proses perlakuan pelarutan pada larutan padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution*), dimana pada saat pencelupan paduan harus pada fasa α . Untuk menghasilkan hal yang demikian proses pencelupan dilakukan dengan cepat sampai dengan temperatur ruang. Hal ini diharapkan agar tidak terjadi difusi pada larutan padat. Untuk menghasilkan hal demikian umumnya dilakukan pencelupan dengan air.

Waktu jeda antara pembukaan dapur dengan pencelupan harus diperhatikan, jika terjadi dalam waktu yang cukup lama maka larutan padat lewat jenuh yang diinginkan tidak akan terbentuk. Hal tersebut juga berguna untuk menjaga ruang-ruang kosong pada larutan padat agar sebagai tempat berdifusinya presipitat pada temperatur rendah.

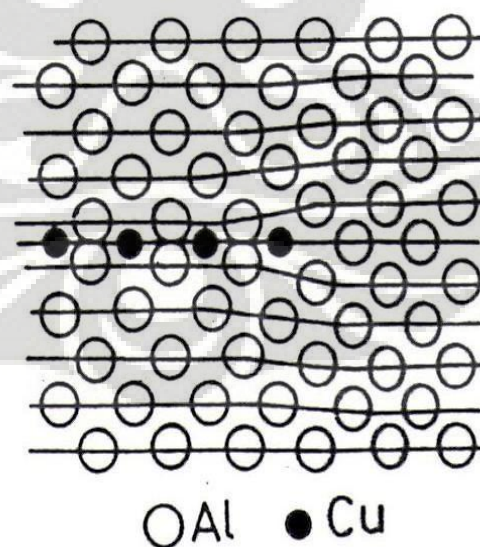
Pada proses pencelupan perlu diperhatikan juga terjadinya distorsi dan tegangan sisa pada material. Hal tersebut akan menyebabkan terjadinya *stress corrosion cracking*. Hal ini disebabkan karena perbedaan ekspansi panas selama proses pencelupan. Untuk mengantisipasi hal tersebut media pencelupan perlu

ditingkatkan temperturnya sedikit diatas temperatur kamar, sebagai contoh menggunakan air hangat^[4].

2.5.2.3 Proses Penuaan

Setelah melakukan proses perlakuan pelarutan dan kemudian dilakukan pencelupan pada temperatur kamar, maka akan terbentuk larutan padat lewat jenuh. Proses penuaan adalah menahan larutan padat super jenuh pada waktu tertentu dapat dilakukan dalam temperatur ruang (*natural ageing*) atau pada temperatur tertentu (*artificial ageing*). Tujuan dari proses ini adalah untuk menghasilkan presipitat yang tersebar merata dan merupakan tujuan dari proses pengerasan penuaan.

Pada proses ini larutan padat lewat jenuh dipanaskan dibawah temperatur kelarutan untuk membuat atom-atom yang terlarut akan berdifusi pada matriksnya. Pada saat proses difusi, *vacancy* yang terdapat pada paduan sangat berperan. Gambar 2.7 memperlihatkan terdapatnya presipitat pada *vacancy* pada paduan aluminium. *Vacancy* akan menjadi tempat untuk terbentuk dan tumbuhnya presipitat. Semakin banyak *vacancy* yang terperangkap pada paduan aluminium maka akan mudah terbentuknya presipitat pada saat proses penuaan.

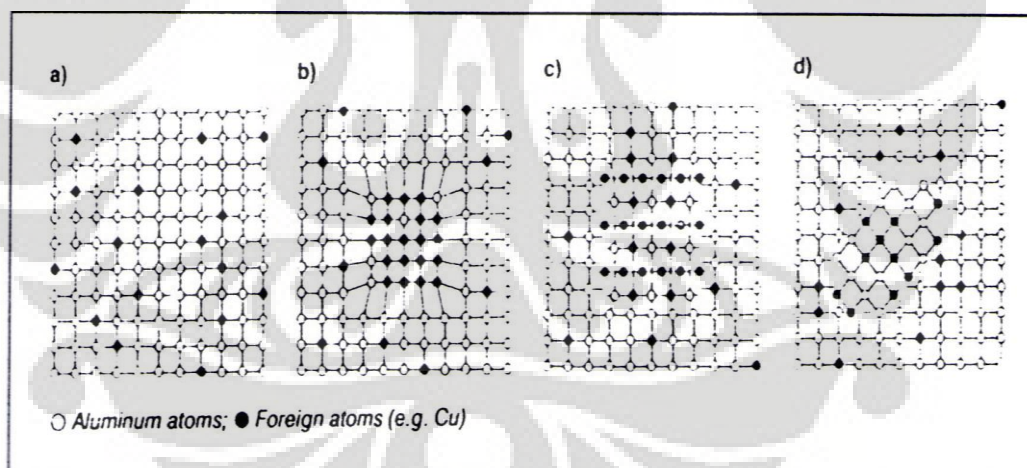


Gambar 2.7 Presipitasi tumbuh pada *vacancy* antara atom aluminium^[25].

Pada proses penuaan akan terjadi pertumbuhan presipitat pada fasa keseimbangan yang baru. Pada paduan Al-Cu presipitasi pada tahap awal akan

membentuk *cluster* atau himpunan atom yang larut dalam kisi atom pelarut yang membentuk zona yang koheren dengan matriks^[5]. Presipitat pertama yang koheren tersebut merupakan daerah yang kaya akan Cu didalam paduan Al-Cu disebut dengan *GP zone (Guinier-Preston zone)*. *GP zone* terbentuk pertama pengendapan pada temperatur rendah pada saat penuaan, dimana pembentukan *GP zone* diikuti dengan perpindahan fasa^[25].

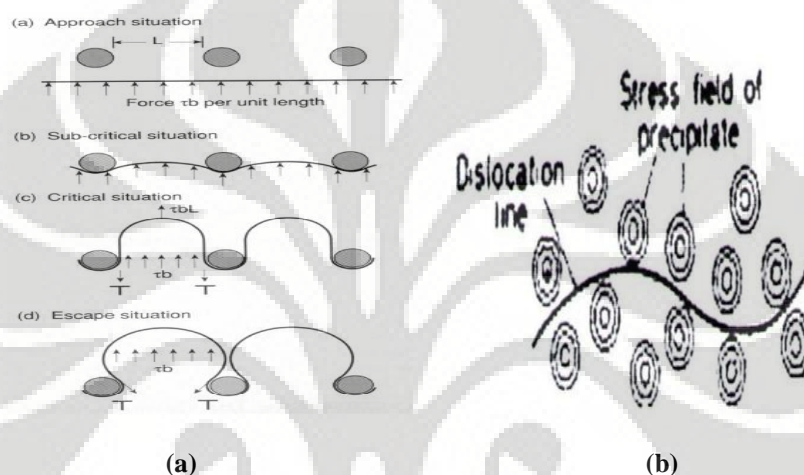
Sifat koherensi dari presipitat sangat berpengaruh untuk kekuatan dan kekerasan yang dihasilkan pada proses penuaan. Perubahan sifat dari presipitat dari koheren menjadi inkoheren tergantung dari lama waktu dan temperatur dari proses penuaan. Selain itu, fasa presipitat juga memiliki tingkat kelarutan yang meningkat seiring dengan kenaikan temperatur pada proses penuaan. Hal tersebut akan mempengaruhi presipitat yang terbentuk. Pada Gambar 2.8 menunjukkan koherensitas dari presipitat yang terdistribusi pada matrik aluminium. Sifat koheren tersebut terdapat menjadi tiga, yaitu presipitat koheren, semi-koheren, dan inkoheren.



Gambar 2.8 Perubahan sifat koherensi presipitat pada proses penuaan pada paduan aluminium (a) Atom terlarut terdistribusi merata pada larutan jenuh (b) Presipitat koheren (c) Presipitat semi-koheren (d) Presipitat inkoheren^[5]

Sifat koherensi dari presipitat sangat mempengaruhi kekuatan dari paduan aluminium tersebut. Presipitat yang semi-koheren akan membuat pergerakan dari dislokasi akan terhalang, karena kisi-kisi ditempati oleh presipitat sehingga kekerasan akan meningkat. Sedangkan pada presipitat koheren terjadi renggangan terhadap struktur kristal karena terciptanya *cluster*. Pada Gambar 2.9

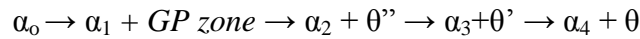
menunjukkan dislokasi akan bergerak mengitari presipitat atau dengan cara memotong presipitat. Pada presipitat yang memiliki sifat koherensi yang tinggi, dislokasi harus mengitari presipitat pada *vacancy* yang tersedia. Sedangkan pada presipitat yang bersifat inkoheren umumnya dapat melemahkan kekuatan dari paduan aluminium. Karena pada presipitat inkoheren jarak antar presipitat yang jauh memungkinkan dislokasi dapat bergerak mudah dengan cara memotong presipitat (*orowan looping*).



Gambar 2.9 (a) Pergerakan dislokasi pada presipitat yang inkoheren (*orowan looping*) ; (b) Pergerakan dislokasi presipitasi koheren.

Seiring dengan meningkatnya temperatur dan waktu tahan pada proses penuaan maka konsentrasi Cu akan meningkat pada larutan padat tersebut. *GP zones* akan transformasi membentuk θ'' dimana akan terbentuk atom yang koheren^[5]. Selanjutnya akan terbentuk fasa θ' yang mana memiliki bidang yang koheren dan tidak koheren. Pertumbuhan presipitat akan mencapai fasa stabil pada terbentuknya θ (Al_2Cu). Terbentuknya θ merupakan presipitat yang stabil yang berfungsi untuk meningkatkan kekerasan dari paduan aluminium-tembaga.

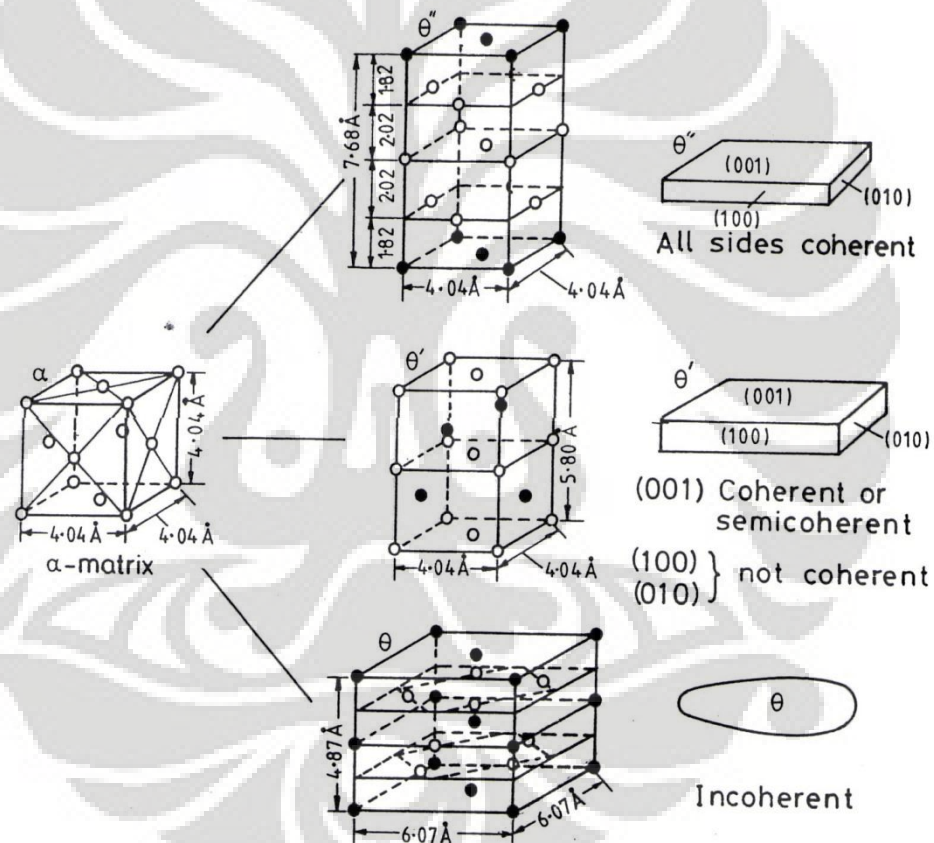
Pada saat transformasi dari presipitat θ'' ke θ' tidak terlalu stabil dibandingkan dengan transformasi θ' ke θ . Hal ini dikarenakan energi bebas yang dibutuhkan untuk transformasi θ'' ke θ' besar sedangkan proses pembentukan yang stabil adalah hanya memerlukan energi bebas yang sedikit^[24]. Jika diurutkan tahapan transisi pembentukan presipitat pada paduan Al-Cu akan terbentuk *GP zone*, θ'' , θ' , dan θ . Perpindahan fasa yang terbentuk dapat dituliskan sebagai berikut:



dimana :

- α_0 : Larutan padat lewat jenuh
- α_1 : Matriks dalam keseimbangan dengan *GP zone*
- α_2 : Matriks dengan komposisi θ''
- α_3 : Matriks dalam komposisi θ'
- α_4 : Matriks dalam komposisi θ

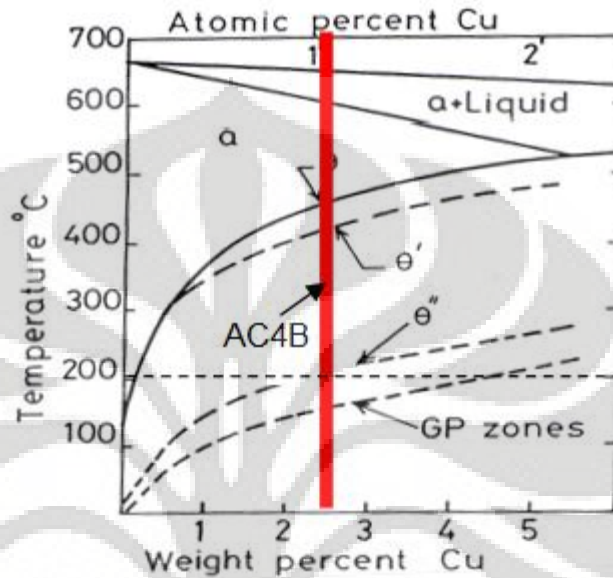
pada Gambar 2.10 memperlihatkan perubahan struktur dan morfologi pada paduan aluminium-tembaga saat proses penuaan dengan presipitat yang terbentuk.



Gambar 2.10 Struktur dan morfologi dari presipitat θ'' , θ' , dan θ pada Al – Cu (o Al, ● Cu)^[25].

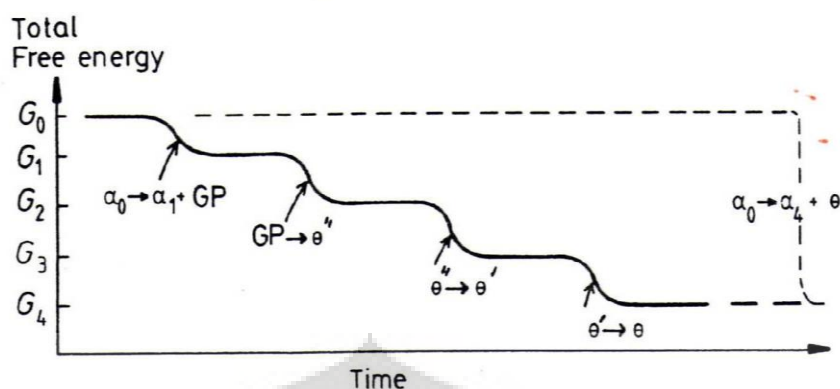
Pada proses penuaan dengan pembentukan presipitat terjadi pada dua tahap, yaitu dengan tahap transisi dan tanpa transisi. Pada temperatur yang lebih tinggi di proses penuaan tidak akan terjadi tahapan transisi, yaitu satu atau beberapa tahapan transisi akan dihilangkan (tidak terbentuk). Sedangkan pada

tahapan transisi temperatur dijaga agar terbentuk tiap tahapan presipitat. Hilangnya tahapan transisi dikarenakan derajat kelarutan dari masing-masing presipitat yang berbeda. Pada Gambar 2.11 menunjukkan diagram fasa Al-Cu dengan batas kelarutan pada tiap jenis presipitat.



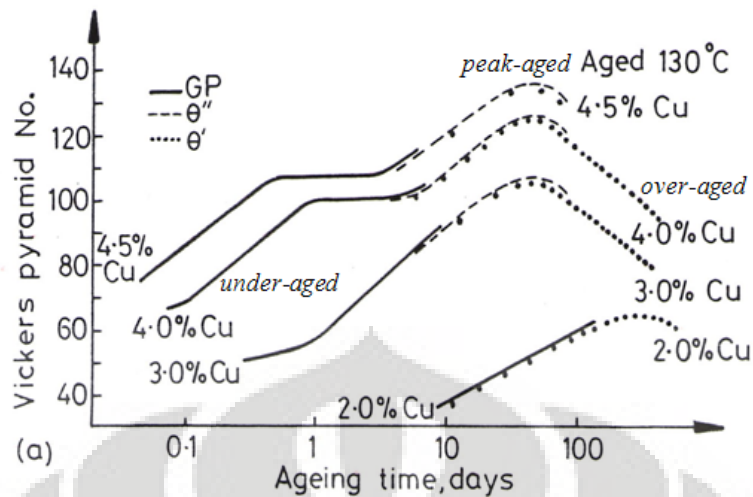
Gambar 2.11 Diagram fasa Al-Cu dengan batas kelarutan pada tiap jenis presipitat^[25].

Menurut Mangonon^[26], tidak terbentuk tahapan transisi terjadi karena perbedaan dari proses pembekuannya. Proses pembekuan ditentukan oleh dua hal yaitu pembentukan nukleus dan pertumbuhan butir. Ketika temperatur proses penuaan pada temperatur tinggi, energi bebas akan menjadi rendah, oleh karena itu energi aktivasi menjadi tinggi. Hal ini akan membuat pertumbuhan nukleus presipitat menjadi rendah dan hanya sedikit yang tumbuh pada batas butir. Sedangkan pada tahapan transisi energi bebas yang dibutuhkan untuk membentuk tiap fasanya akan semakin menurun, karena pembentukan tahapan tidak memerlukan energi yang tinggi karena presipitat pada matriks sudah pada tingkat koherensi yang baik. Pada Gambar 2.12 menunjukkan energi bebas pada tahapan pembentukan presipitat.



Gambar 2.12 Energi bebas pada tahapan pembentukan presipitat pada paduan aluminium vs waktu^[25].

Pada proses penuaan, ada tiga kondisi yang mempengaruhi kekuatan dari paduan yang mengalami proses penuaan. Selama proses penuaan, paduan mengalami kondisi *under-aged* dan *over-aged*. Kondisi *under-aged* terjadi apabila paduan aluminium dilakukan proses penuaan dalam waktu yang singkat, sehingga kekuatan dan kekerasan yang diinginkan tidak tercapai. Hal tersebut karena pada kondisi ini tidak terbentuknya *GP zones* secara sempurna. Sedangkan pada paduan yang mengalami kondisi *over-aged* kekuatan dan kekerasan dari paduan tersebut akan turun, karena akan mengalami pelunakan. Kondisi *over-aged* ini menyebabkan θ (Al_2Cu) tumbuh menjadi presipitat inkoheren, yang mempunyai jarak yang jauh pada masing-masing presipitat tersebar tidak beraturan pada paduan aluminium, sehingga tidak berfungsi dengan baik untuk menghalangi dislokasi. Selain itu, penurunan ini disebabkan oleh perbesaran butir dan partikel yang halus terdispersi dalam jumlah banyak dan digantikan oleh partikel yang kasar dengan jumlah yang lebih sedikit yang akan mengakibatkan jarak antar partikel yang lebih besar^[5]. Gambar 2.13 menunjukkan grafik kekerasan berbanding dengan waktu tahan pada kondisi *under-aged*, *peak-aged*, dan *over-aged*. Dengan demikian waktu tahan sangat perlu diperhatikan untuk proses penuaan agar menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang diinginkan.



Gambar 2.13 Proses penuaan pada kondisi *under-aged*, *peak-aged*, dan *over-aged* pada paduan Al – Cu^[25].

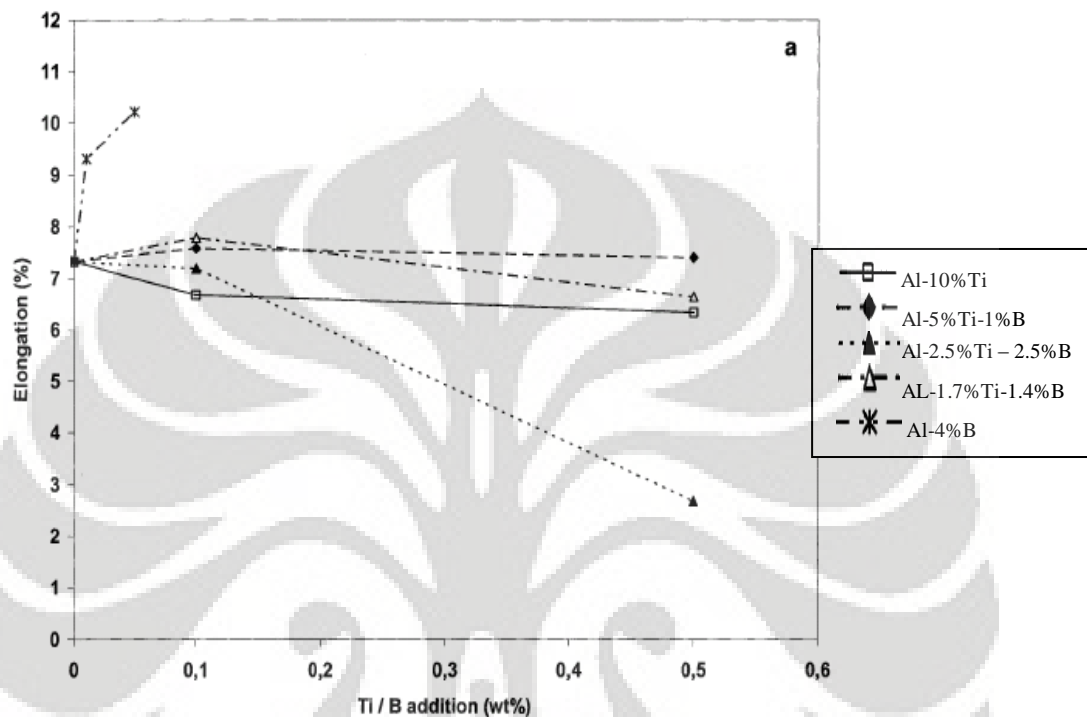
2.6 Studi Pengaruh Titanium dan Stronsium Terhadap perlakuan Panas Paduan Aluminium

2.6.1 Pengaruh Titanium Terhadap Perlakuan Panas pada Paduan Aluminium

Penambahan unsur *grain refiner* seperti AlTiB pada aluminium secara tidak langsung akan mempengaruhi perlakuan panas yang akan dilakukan pada paduan tersebut. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Benham Golbahar^[3], terhadap paduan aluminium A.356.2 dengan penambahan Al-2.5%Ti-2.5%B dan stronsium 30 ppm. waktu proses pelarutan akan terjadi lebih lama. Hal ini dikarenakan terjadi perubahan partikel Si dan perpanjangan antara interaksi antara boron dan stronsium. Selain itu pada penambahan 0.1% Ti pada proses pelarutan membutuhkan waktu yang lebih lama lagi dibandingkan penambahan sebelumnya, dikarenakan untuk melarutkan partikel Mg₂Si.

Setelah perlakuan panas pada A.356.2 dengan penambahan *grain refiner*^[3] Al-10%Ti dan Al-2,5%Ti-2,5%B menunjukkan penurunan elongasi setelah setelah perlakuan panas T6. Dengan demikian penambahan titanium tersebut akan menyebabkan meningkatnya kekerasan yang akan berbanding terbalik dengan nilai elongasi pada paduan aluminium dengan penambahan titanium tersebut.

Gambar 2.14 menunjukkan penurunan nilai elongasi pada penambahan titanium. Penambahan unsur titanium pada paduan aluminium setelah dilakukan perlakuan panas T6 sebagai salah satu presipitat (Al_3Ti) sehingga dapat menghalangi pergerakan dari dislokasi dan meningkatkan kekerasan pada paduan aluminium.



Gambar 2.14 Pengaruh penambahan titanium terhadap nilai elongasi^[3]

2.6.2 Pengaruh Stronsium Terhadap Perlakuan Panas Pada Paduan Aluminium

Stronsium merupakan unsur modifikasi pada paduan aluminium. Penambahan unsur ini pada proses pengecoran dimaksudkan untuk merubah struktur mikro eutektik Si dari bentuk *acicular* menjadi bentuk *fibrous*^[2]. Pada umumnya penambahan unsur modifikasi ini adalah untuk dapat memperbaiki dari sifat paduannya. Sifat yang dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur ini adalah kekuatan impak, ketangguhan, kekuatan fatik, keuletan dan kekuatan tarik yang baik. Sehingga paduan aluminium yang dihasilkan dapat digunakan dengan baik sesuai dengan aplikasinya.

Penambahan unsur stronsium juga mempengaruhi paduan aluminium setelah dilakukan perlakuan panas dan pada saat proses perlakuan panas. Menurut

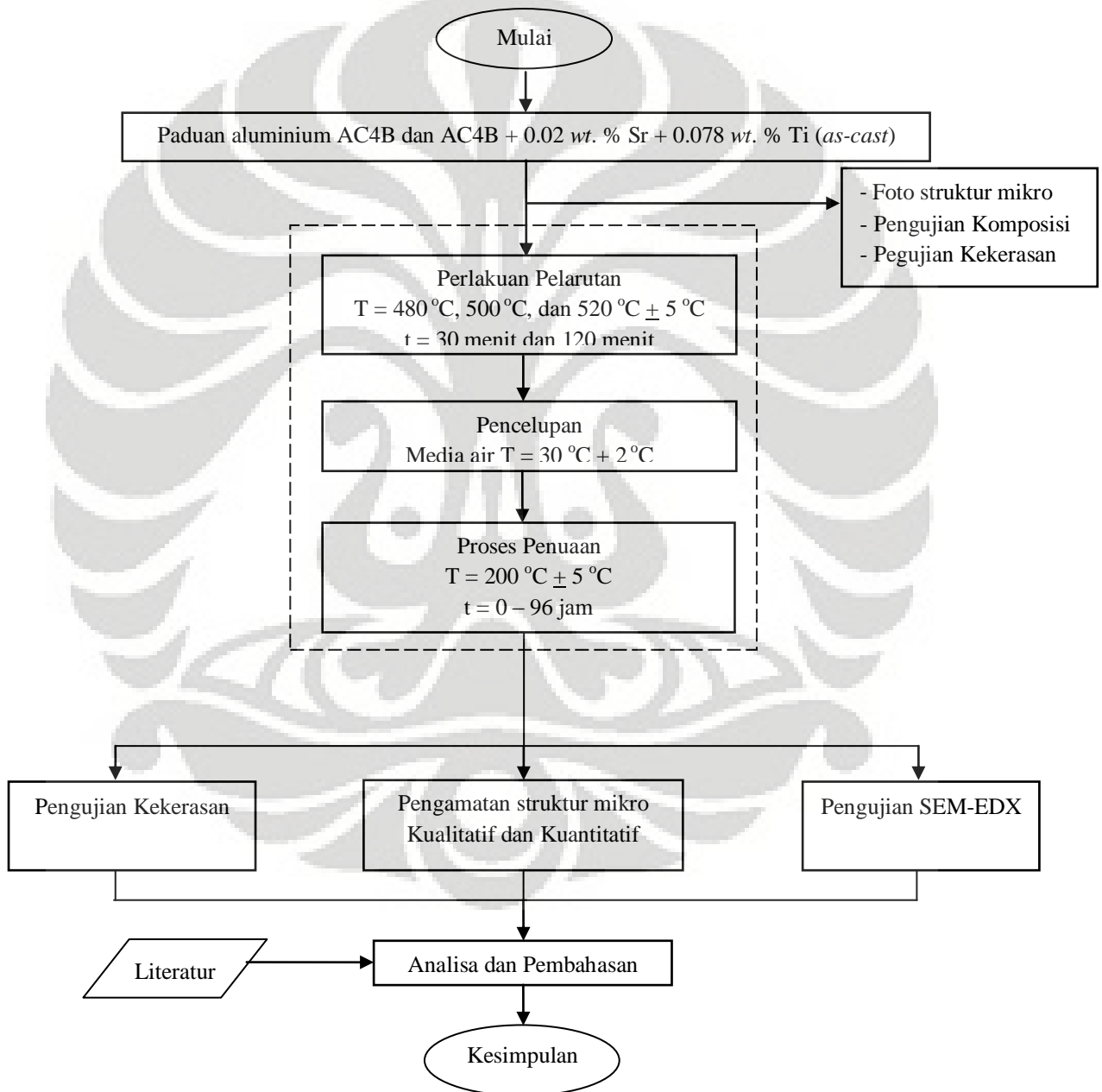
Samuel dkk.^[27], penambahan unsur stronsium dapat meningkatkan volume fraksi α -Al sehingga pada proses perlakuan pelarutan akan mudah mencapai daerah homogenitas dan proses perlakuan pelarutan akan menjadi lebih mudah. Selain itu dengan adanya stronsium dapat mempersingkat waktu tahan pada proses perlakuan pelarutan. Selain itu, dengan penambahan 0,005–0,3 wt. % stronsium akan meningkatkan ketangguhan dari paduan aluminium tersebut setelah melalui perlakuan panas^[6].



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian perlakuan panas paduan AC4B, dimana akan dilakukan pengujian untuk mengamati proses perlakuan pelarutan terhadap respon pengerasan penuaan.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Bahan dan Peralatan

3.2.1 Bahan

Pada penelitian ini menggunakan bahan-bahan :

1. Paduan aluminium AC4B.
2. Paduan Aluminium AC4B dengan komposisi 0.078 % wt. Ti dan 0.02 wt. % Sr.
3. Air untuk media pencelupan.
4. Resin dan hardener.
5. Kertas amplas *grid* 240 – 1500.
6. Kain poles dan beludru.
7. Zat poles Alumina.
8. Zat etsa Tucker.

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk proses perlakuan panas pada sampel paduan aluminium AC4B dengan penambahan unsur 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr, yaitu:

1. Dapur pemanas tipe *Carbolite* dan *Naberthem*.
2. *Tray*
3. Tang penjepit
4. Ember (untuk tempat pencelupan).
5. Kawat
6. Mesin potong (gerinda)
7. Mesin amplas *Ecomet*
8. Mesin poles *Ecomet*
9. Alat uji kekerasan (Rockwel B)
10. Alat uji *spectometer*
11. Mikroskop optik *Olympus*
12. *Scanning Electron Microscope* (SEM)
13. Termometer
17. Lain-lain : spidol, label, sarung tangan, masker.

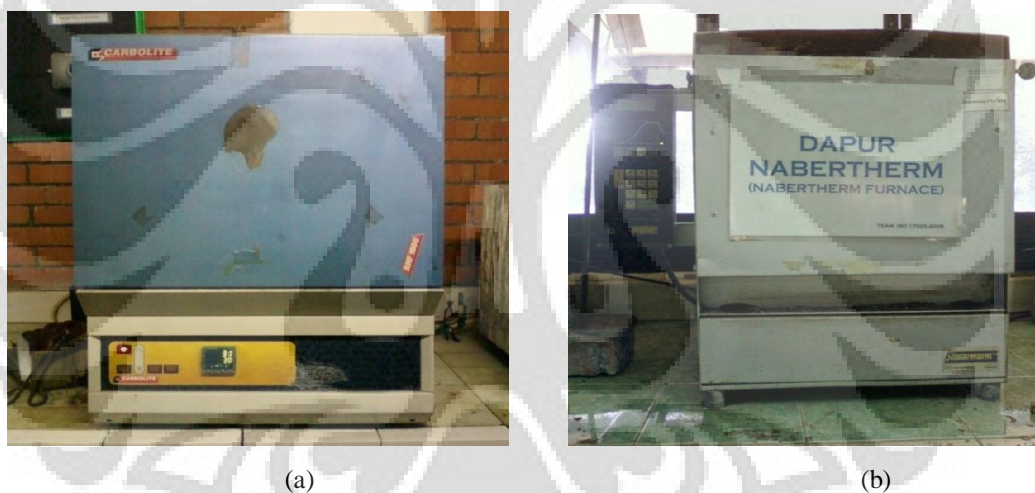
3.3 Persiapan Pengujian

3.3.1 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas yang dilakukan adalah sesuai dengan proses perlakuan panas T6 (*Temper 6*). Perlakuan pada T6 yang dilakukan adalah perlakuan pelarutan, pencelupan, dan *artificial ageing*. Jadi perlakuan yang akan dilakukan pada penelitian ini diantaranya :

1. Perlakuan pelarutan
2. Pencelupan
3. Penuaan

Perlakuan pelarutan dilakukan dengan menggunakan dapur merk *Carbolite* yang ditunjukkan Gambar 3.3 pada 3 variabel temperatur dan dua variabel waktu tahan. Perlakuan panas dilakukan pada temperatur 480 °C, 500 °C, dan 520 °C masing-masing selama 30 menit dan 120 menit.



Gambar 3.2 (a) Dapur *Carbolite* (b) Dapur *Naberthem*

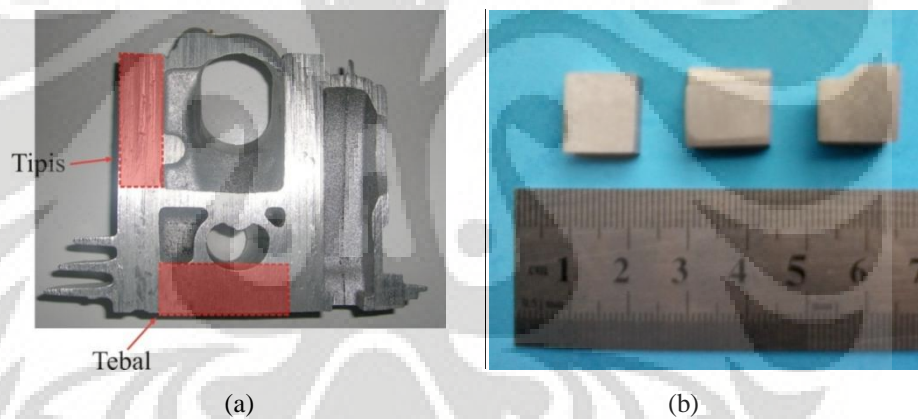
Setelah proses perlakuan pelarutan maka sampel dilakukan pencelupan ke dalam media air dalam wadah gelas. Proses pencelupan dilakukan pada media air dengan temperatur air sekitar 30 °C. Proses pencelupan dilakukan dengan cepat agar terbentuk larutan padat lewat jenuh dan terciptanya *vacancy*.

Setelah proses pencelupan maka dilakukan proses penuaan pada dapur *Naberthem* dengan temperatur 200 °C dengan waktu tahan hingga 96 jam dan akan diamati kondisi kekerasan *under-aged*, *peak-aged*, dan *over-aged* dengan melakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui kondisi tersebut pada beberapa waktu tahan selama pengujian dengan mengambil sampel pada waktu tertentu

untuk mengetahui respon sampel terhadap proses penuaan. Waktu tahan yang dilakukan pada proses penuaan sampai dengan 96 jam ini dilakukan pengambilan data pengujian kekerasan pada waktu 5 menit, 10 menit, 30 menit, 1, 2, 4, 6, 8, 24, 48, 72, dan 96 jam.

3.3.2 Proses Preparasi Sampel

Proses preparasi sampel yang dilakukan meliputi dua tahap, yaitu preparasi sampel sebelum perlakuan panas (*as-cast*) dan sesudah perlakuan panas. Preparasi sebelum perlakuan panas yaitu dengan melakukan pemotongan pada bagian *cylinder head*. Lokasi pengambilan sampel tersebut dilakukan pada bagian tipis *cylinder head*. Pengambilan bagian tipis tersebut untuk pengujian komposisi, kekerasan, SEM dan foto mikro sebelum proses perlakuan panas dan juga untuk perlakuan panas.



Gambar 3.3 (a) Daerah pemotongan sampel (b) sampel tipis perlakuan panas

Pada preparasi sampel tahap kedua, yaitu setelah perlakuan panas. Preparasi ini untuk melakukan pengamatan *struktur mikro*, sampel di *mounting* dengan menggunakan *resin* dan *hardener* untuk memudahkan penanganan pada saat proses pengamplasan dan pemolesan. Selanjutnya proses pengamplasan dilakukan dengan menggunakan mesin amplas *ecomet* yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 dengan kertas amplas dengan nomor *grid* terkecil (600 *mesh*) sampai nomor *grid* terbesar (1500 *mesh*). Setelah proses pengamplasan dilakukan proses pemolesan dengan kain beludru laken dan menggunakan zat poles alumina

(Al_2O_3) hingga permukaan sampel mengkilap. Sampel kemudian di etsa dengan menggunakan zat etsa berupa Tucker selama ± 3 detik.

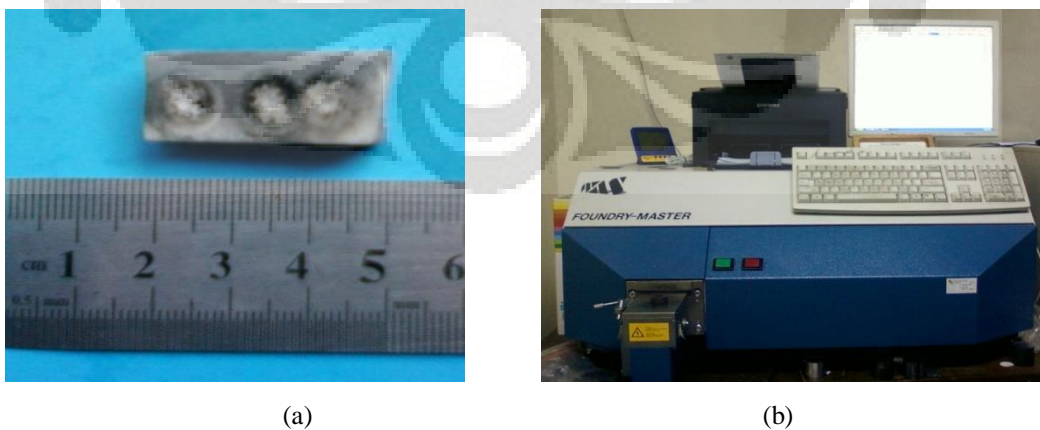


Gambar 3.4 (a) mesin amplas, (b) mesin poles

3.4 Proses Pengujian

3.4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi dilakukan kembali pada penelitian ini dikarenakan akan berubahnya komposisi setelah dilakukan penelitian sebelumnya. Hal ini dilakukan agar mendapatkan data yang sesuai dan tidak terlalu bergantung pada data sebelumnya. Pengujian komposisi dilakukan dengan alat spektrometer. Titik penembakan pada alat spektrometer dilakukan sebanyak tiga kali dan diambil nilai rata-ratanya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi paduan aluminium AC4B dengan komposisi dari titanium dan stronsium yang ditambahkan. Alat uji komposisi menggunakan *optical emission spectrometer* merek WAS yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5 (a) Sampel pengujian komposisi (b) *Optical emission spectrometer* merek WAS

3.4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada saat sebelum proses perlakuan panas dan sesudah proses perlakuan panas. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin uji Rockwell B sesuai dengan Gambar 3.7. Pada pengujian ini menggunakan indentor bola baja berdiameter 1/16 inchi dengan beban 100 kgf dan waktu indentasi selama 5 detik. Pengujian dilakukan pada 5 titik yang berbeda dan diambil nilai rata-rata pada setiap sampel.



Gambar 3.6 Alat uji kekerasan

3.4.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan pengamatan struktur mikro sebelum proses perlakuan panas dan setelah perlakuan panas agar didapatkan perbandingan struktur mikro. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan merek Olympus sesuai dengan Gambar 3.8. Pengamatan mikro struktur ini untuk mengetahui pengaruh unsur stronsium dan titanium setelah dilakukan proses perlakuan panas. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran yang paling kecil, yaitu 50 x. Setelah mendapatkandaerah yang bagus, bersih dari goresan, dan mudah diamati perbesaran dilanjutkan ke tingkat perbesaran 100 x, 200 x, dan seterusnya hingga didapat *struktur mikro* yang dapat dibandingkan.



Gambar 3.7 Mikroskop optik merek *Olympus*

3.4.4 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan sebelum perlakuan panas dan setelah perlakuan panas untuk membandingkan kedua proses tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan *collector bias* sebesar 400 kV, kontras 40 %, *brightness* 30 %, dan EHT (M) sebesar 12 kV. Tujuan dari dilakukannya SEM adalah untuk mengamati perubahan struktur mikro selama proses perlakuan panas. Selain itu penggunaan SEM untuk menemukan fasa-fasa dan presipitat yang terdapat pada paduan aluminum tersebut seperti Al_3Ti , Al_2Cu , Al_5FeSi dan lain-lain.



Gambar 3.8 *Scanning Electron Microscope* (SEM)^[1]

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Hasil Pengecoran Paduan Aluminium AC4B.

4.1.1 Analisis Komposisi Kimia

Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian komposisi paduan aluminium AC4B dengan komposisi 0.083 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr dibandingkan dengan data komposisi QA AHM (berdasarkan JIS) dan *Aluminium Association* (AA) pada penelitian sebelumnya^[1]. Pengujian komposisi dilakukan pada benda hasil pengecoran dengan metode *Low Pressure Die Casting* (LPDC).

Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi paduan aluminium AC4B dengan komposisi 0.083 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr dibandingkan dengan standar QA AHM dan *Aluminium Association* (AA)^[1]

| Unsur paduan | Komposisi AC4B (wt. %) | | |
|--------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| | 0.083 Ti 0.02 Sr | Standar QA AHM | Standar AA 333 |
| Si | 8.883 | 7.00 - 10.00 | 8.0 - 10.0 |
| Cu | 2.462 | 2.00 - 4.00 | 3.0 - 4.0 |
| Mg | 0.276 | 0.50 maks | 0.05 - 0.50 |
| Fe | 0.851 | 1.00 maks | 1.0 maks |
| Mn | 0.257 | 0.50 maks | 0.5 maks |
| Ni | 0.072 | 0.35 maks | 0.5 maks |
| Ti | 0.083 | 0.20 maks | 0.25 maks |
| Pb | 0.076 | 0.20 maks | - |
| Sn | 0.045 | 0.10 maks | - |
| Cr | 0.036 | 0.20 maks | 0.20 maks |
| Sr | 0.021 | - | - |
| Al | Sisa | Sisa | Sisa |

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian komposisi paduan aluminium AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr. Dibandingkan Tabel 4.1 dengan Tabel 4.2, terlihat perbedaan komposisi titanium berkurang dari 0.083 menjadi 0.078 wt. % Ti. Berkurangnya kandungan titanium sekitar 0.005 tidak mempengaruhi perubahan sifat mekanis yang signifikan pada paduan ini. Peran titanium pada paduan aluminium dapat meningkatkan sifat mekanik seperti, kekerasan dan ketahanan aus. Tetapi dengan meningkatnya kandungan titanium akan menurunkan elongasi pada paduan aluminium^[3].

Tabel 4.2 Hasil pengujian komposisi paduan aluminium AC4B dengan komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr dibandingkan dengan standar QA AHM dan *Aluminium Association* (AA)

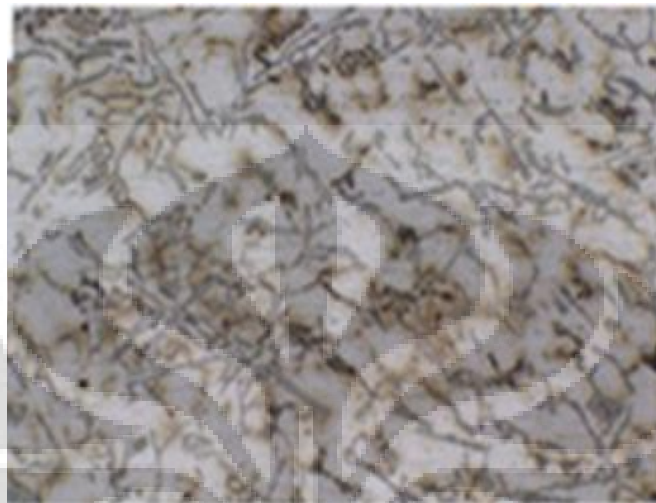
| Unsur paduan | Komposisi AC4B (wt. %) | | | |
|--------------|------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | Normal | 0.078 Ti 0.02 Sr | Standar QA AHM | Standar AA 333 |
| Si | 9.580 | 9.280 | 7.00 - 10.00 | 8.0 - 10.0 |
| Cu | 2.780 | 2.610 | 2.00 - 4.00 | 3.0 - 4.0 |
| Mg | 0.261 | 0.223 | 0.50 maks | 0.05 - 0.50 |
| Fe | 0.746 | 0.668 | 1.00 maks | 1.0 maks |
| Mn | 0.307 | 0.258 | 0.50 maks | 0.5 maks |
| Ni | 0.068 | 0.065 | 0.35 maks | 0.5 maks |
| Ti | 0.028 | 0.078 | 0.20 maks | 0.25 maks |
| Pb | 0.050 | 0.057 | 0.20 maks | - |
| Sn | 0.023 | 0.030 | 0.10 maks | - |
| Cr | 0.018 | 0.019 | 0.20 maks | 0.20 maks |
| Sr | <0.0001 | 0.019 | - | - |
| Al | Sisa | Sisa | Sisa | Sisa |

Hasil pengujian komposisi pada kedua tabel tersebut dibandingkan dengan standar QA AHM (JIS) dan *Aluminium Association* (AA). Pada Tabel 4.2 dibandingkan dengan Tabel 4.1 menunjukkan peningkatan kadar silikon sebesar 0.397. Komposisi Cu naik sebesar 0.148, peningkatan kadar Cu tidak terlalu signifikan dan masih sesuai dengan standar QA AHM. Dengan adanya Cu dalam paduan dapat membantu peningkatan kekerasan pada melakukan proses perlakuan panas dengan membentuk presipitat pada paduan aluminium^[5]. Selain terjadi peningkatan, paduan tersebut mengalami penurunan unsur diantaranya Ni, Pb, Sn, Cr, Fe. Penurunan unsur tersebut tidak jauh berpengaruh penelitian ini dan masih termasuk sesuai dengan standar. Untuk selanjutnya padapenulisan ini, paduan aluminium AC4B normal dan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr akan disebut masing-masing sebagai sampel A dan sampel B.

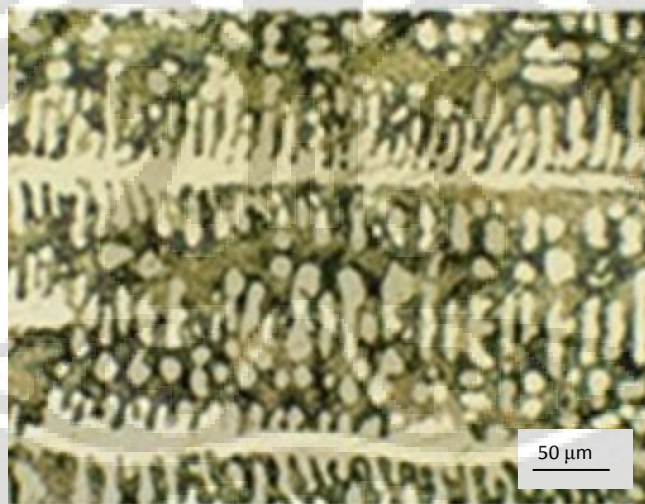
4.1.2 Pengamatan Struktur Mikro

Gambar 4.1 memperlihatkan struktur mikro sampel A dan B dengan menggunakan etsa Tucker dan perbesaran 200 x. Kedua paduan tersebut memiliki struktur dendritik. Gambar 4.1 (a) merupakan struktur mikro sampel A memiliki DAS (*Dendrit Arm Spacing*) yang lebih besar, yaitu 31.16 μm dibandingkan

dengan (b) sampel B sebesar 12 μm . Pengurangan nilai DAS tersebut karena bentuk dendrit pada sampel B mempunyai ukuran yang lebih kecil. Hal ini karena efek dari penambahan penghalus butir pada paduan tersebut yang mampu menjadi nuklei pada saat proses pembekuan.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Struktur mikro paduan AC4B (a) dan (b) dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr etsa Tucker

Selain itu dengan ukuran yang dendrit dan nilai DAS yang kecil akan mempengaruhi sifat mekanik pada paduan tersebut^[1]. Sifat mekanik yang berubah salah satunya adalah nilai kekerasan. Kekerasan dari Sampel A 41.86 HRB, sedangkan sampel B sebesar 48.32 HRB. Selain itu dengan penambahan *modifier* pada paduan akan memodifikasi struktur silikon yang kasar dan tajam menjadi

fibrous dan halus sehingga konsentrasi tegangan berkurang dan sifat mekanik meningkat^[1].

4.2 Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Perlakuan Pelarutan Terhadap Respon Penuaan Paduan Aluminium AC4B

4.2.1 Kurva Pengerasan Penuaan

Gambar 4.2 menunjukkan pengaruh perlakuan pelarutan dengan temperatur 480, 500, dan 520 °C dengan waktu tahan 30 dan 120 menit terhadap pengerasan penuaan pada paduan aluminium AC4B. Dari Gambar 4.2 terlihat kenaikan nilai kekerasan pada setiap perlakuan selama dilakukan pengerasan penuaan dengan temperatur 200 °C selama 96 jam. Nilai kekerasan tiap temperatur dan waktu tahan meningkat sampai titik tertentu (*peak-aged*) dan akan turun setelah menyentuh kekerasan puncak. Peningkatan kekerasan selama pengerasan penuaan terjadi berbeda-beda pada setiap temperatur perlakuan pelarutan.

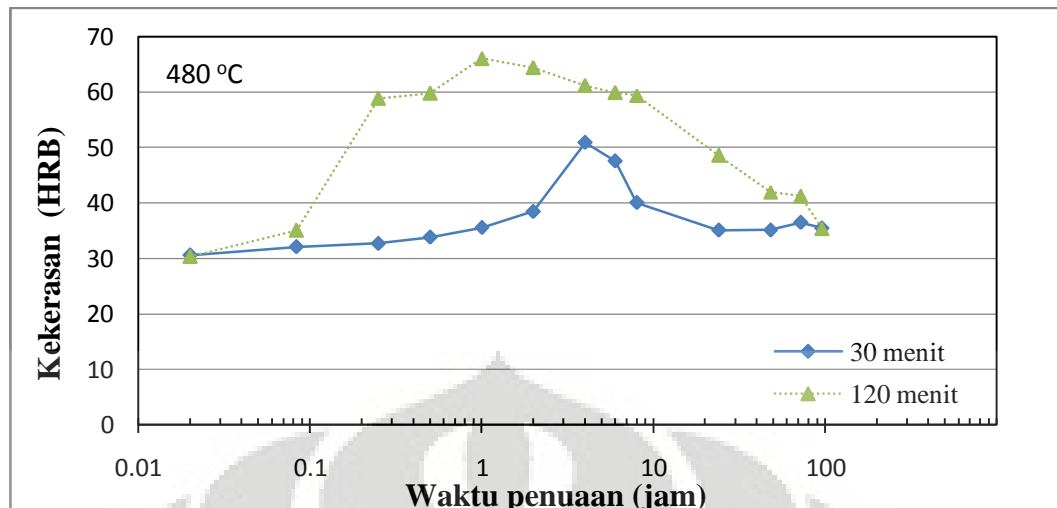
Gambar 4.2.(a) selama 30 menit mengalami kenaikan kekerasan dari 30.56 sampai 50.90 HRB. Titik kekerasan tertinggi terjadi pada pengerasan penuaan selama 4 jam. Setelah mencapai titik kekerasan tertinggi kekerasan perlahan turun kembali hingga waktu penuaan 96 jam dengan kekerasan 35.50 HRB. Sedangkan pada pengerasan penuaan dengan waktu perlakuan pelarutan 120 menit memiliki kekererasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sebelumnya. Kekerasan meningkat dari nilai 30.38 sampai 66.1 HRB selama 1 jam waktu penuaan dan akan mengalami penurunan hingga penuaan selama 96 jam yakni 35.40 HRB. Dilihat dari kurva pengerasan penuaan pada perlakuan pelarutan temperatur 480 °C, waktu tahan 120 menit mempercepat untuk mencapai puncak kekerasan dari proses pengerasan penuaan.

Pada Gambar 4.2.(b) dengan waktu tahan 30 menit mengalami kenaikan kekerasan dari 30.16 sampai 59.2 HRB selama waktu penuaan 8 jam. Kemudian mengalami penurunan kekerasan hingga waktu penuaan 96 jam sebesar 44.18 HRB. Pada pengerasan penuaan dengan waktu pelarutan 120 menit kekerasan meningkat dari 29.66 sampai 58.58 HRB selama waktu penuaan 4 jam dan terjadi penurunan kekerasan sebesar 38.12 selama 96 jam.

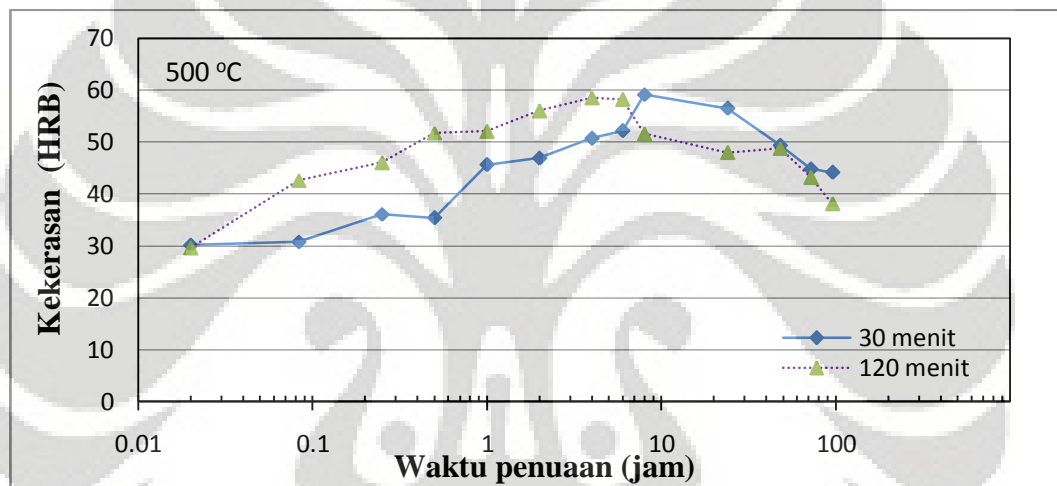
Gambar 4.2.(c) waktu tahan 30 menit mengalami kenaikan kekerasan dari 32.16 sampai 59.58 HRB selama waktu 30 menit. Kemudian mengalami penurunan kekerasan sebesar 38.12 HRB. Pada waktu tahan pelarutan 120 menit kenaikan kekerasan dari 28.18 sampai 59.48 HRB selama 2 jam dan mengalami penurunan setelah melalui penuaan selama 96 jam sebesar 37.17 HRB. Pada waktu tahan pelarutan 120 kekerasan sudah menyentuh titik cukup tinggi pada penuaan 30 menit yaitu sebesar 59.44 HRB, tetapi pada waktu 2 jam menyentuh nilai puncaknya.

Dari ketiga kurva pada Gambar 4.2 dapat dilihat waktu tahan perlakuan pelarutan dilihat secara umum dengan meningkatnya temperatur perlakuan penuaan akan mempercepat mendapatkan kekerasan puncak dari proses pengerasan penuaan. Puncak kekerasan penuaan yang cepat didapatkan terjadi pada perlakuan pelarutan dengan temperatur 520 °C. Karena pada temperatur yang lebih tinggi dapat melarutkan fasa kaya akan Cu (*copper rich*) dalam matriks aluminium^[28]. Sehingga fasa yang terlarut tersebut tumbuh menjadi presipitat pada dilakukan proses penuaan. Selain itu, kekerasan dipengaruhi oleh koherensi dari presipitat yang terbentuk. Merujuk dari Gambar 2.8 menunjukkan bahwa tingkat kekerasan tertinggi terjadi jika presipitat semi-koheren, dimana presipitat terdapat dalam satu kisi dengan matriksnya sehingga menghalangi pergerakan dari dislokasi. Hal itu mengakibatkan kekerasan akan meningkat dan merupakan tujuan dari pengerasan penuaan.

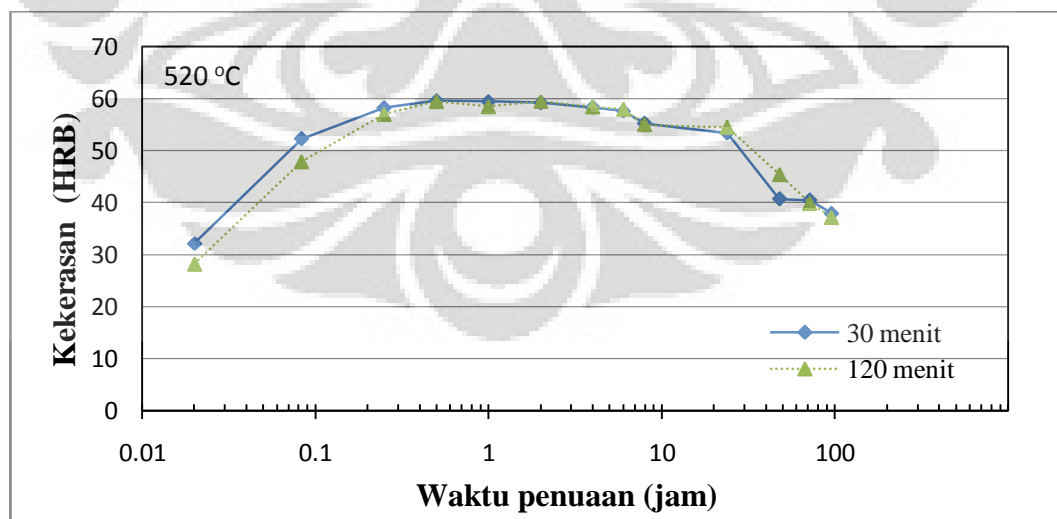
Dari Gambar 4.2 terlihat dengan singkatnya waktu tahan dari perlakuan pelarutan menunjukkan kekerasan yang lebih tinggi pada proses pengerasan penuaan. tetapi hal tersebut tidak ditunjukkan pada Gambar 4.2.(a), hal ini kemungkinan waktu tahan yang singkat pada temperatur yang lebih rendah kurang unruk melarutkan fasa-fasa pada matriks aluminium, sehingga pembentukan presipitat tidak terjadi secara efektif. Menurut Murizam^[28], pada perlakuan pelarutan temperatur 495 °C pada paduan aluminium 319 dihindarkan. Hal tersebut karena pada temperatur yang lebih tinggi lagi akan baru dimulainya melarutkan fasa yang kaya akan Cu, sehingga hanya sedikit untuk memerangkap fasa-fasa dalam matriks Al. Dengan temperatur yang rendah juga akan sedikit untuk memerangkap *vacancy* yang terdapat pada paduan aluminium.



(a)

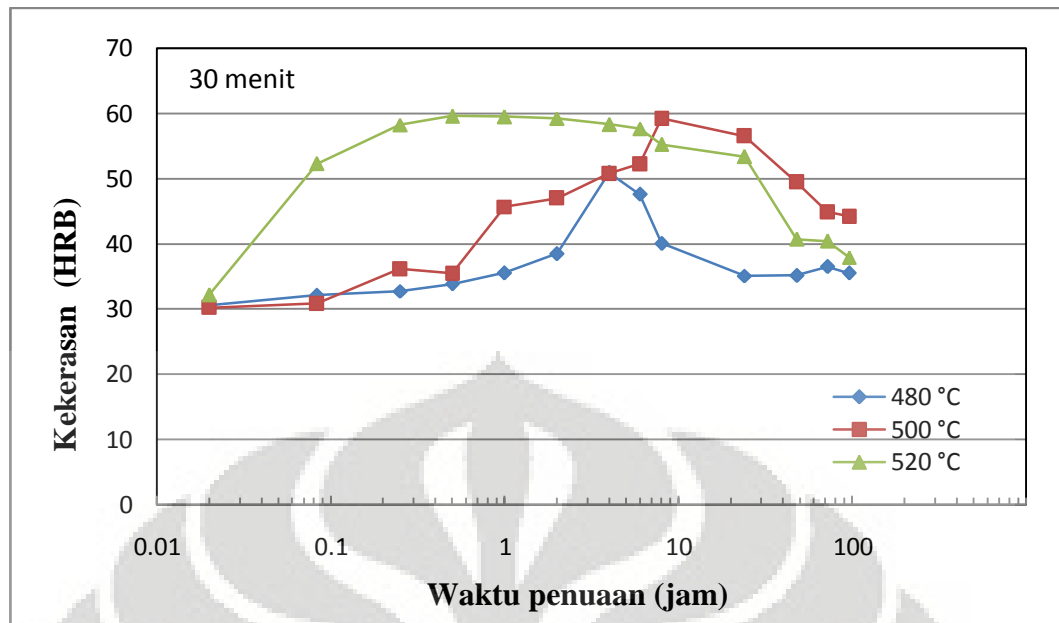


(b)

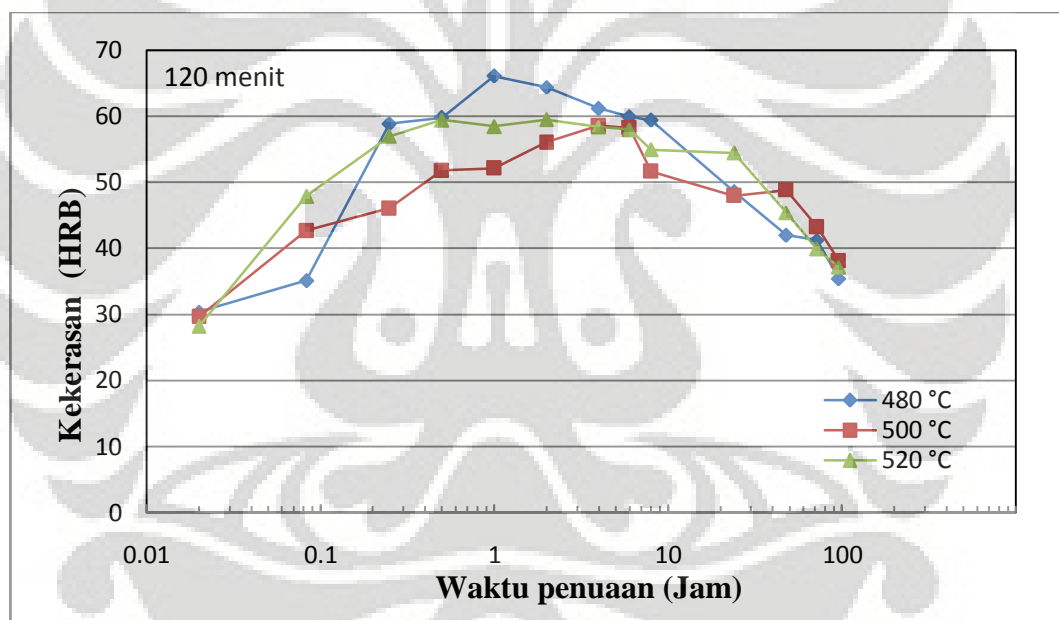


(c)

Gambar 4.2 Pengaruh waktu tahan terhadap respon pengerasan penuaan paduan AC4B dengan temperatur perlakuan pelarutan (a) 480 °C, (b) 500 °C, dan (c) 520 °C



(a)



(b)

Gambar 4.3 Pengaruh temperatur perlakuan pelarutan pada respon pengerasan penuaan pada paduan AC4B dengan waktu tahan (a) 30 menit dan (b) 120 menit

Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan waktu tahan perlakuan pelarutan 30 menit dan 120 menit. Terlihat dengan singkatnya waktu perlakuan pelarutan akan memiliki kekerasan yang lebih tinggi setelah dilakukan proses penuaan. Pada Gambar 4.3.(a) kecenderungan kenaikan temperatur meningkatkan kekerasan. Hal ini karena makin tinggi temperatur akan mudah terperangkapnya *vacancy* pada pembentukan larutan padat lewat jenuh, sehingga dapat

meningkatkan jumlah presipitat yang tumbuh. Gambar 4.3(b) menunjukkan kenaikan temperatur meningkatkan kekerasan penuaan pada temperatur hanya pada temperatur 520 °C dibandingkan dengan temperatur 500 °C. Pada temperatur 480 °C dimungkinkan karena waktu tahan 120 menit dapat memerangkap *vacancy* lebih banyak, sehingga tumbuhnya presipitat lebih banyak.

4.2.2 Pengamatan Evolusi Struktur Mikro Menggunakan Mikroskop Optik

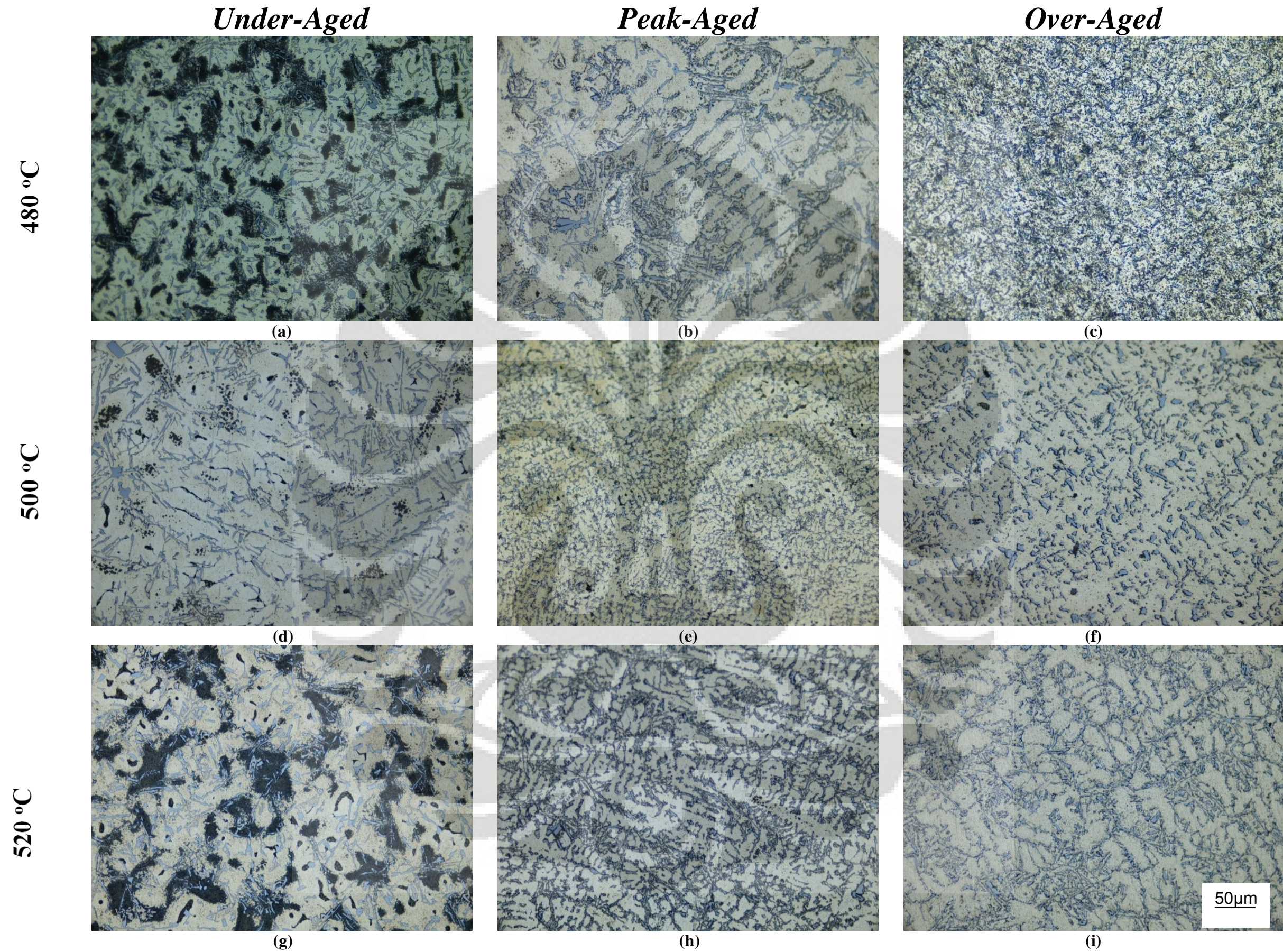
Pada Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan evolusi struktur mikro paduan AC4B selama proses penuaan dengan perlakuan pelarutan 480, 500, dan 520 °C. pada gambar tersebut didapatkan struktur mikro dari kondisi *under-aged*, *peak-aged*, dan *over-aged*. Pada kondisi tersebut mengalami perubahan struktur dendrit dan fasa-fasa lain yang terdapat pada paduan aluminium AC4B.

Gambar 4.4 menunjukkan evolusi struktur mikro selama penuaan dengan perlakuan pelarutan 480, 500, dan 520 °C serta waktu tahan 30 menit. Pada temperatur 480 °C struktur mikro *under-aged* didapatkan pada waktu penuaan 1menit, *peak-aged* pada waktu 6 jam, dan *over-aged* pada 72 jam. Pada temperatur 500 °C struktur mikro *under-aged* didapatkan pada waktu penuaan 30 menit, *peak-aged* pada waktu 8 jam, dan *over-aged* pada 72 jam. Sedangkan temperatur 520 °C struktur mikro *under-aged* didapatkan pada waktu penuaan 15 menit, *peak-aged* pada waktu 1 jam, dan *over-aged* pada 24 jam. Pada awal proses penuaan struktur dendritik terlihat besar dan fasa-fasa lain (fasa interdendritik) banyak terdapat didalam matriks Al. Fasa-fasa tersebut kemungkinan diantaranya, struktur kristal silikon eutektik, Al-(Fe, Mn)-Si, Al-Fe-Si, Al₂Cu. Pada kondisi *peak-aged* fasa-fasa yang terdapat pada matrik Al berdistribusi pada bagian antar dendrit, fasa-fasa tersebut mengisi rongga-rongga yang terdapat pada antar dendrit Al. Rongga-rongga tersebut kaya akan presipitat. Sedangkan struktur mikro pada kondisi *over-aged* dendrit Al mengalami pemutusan.

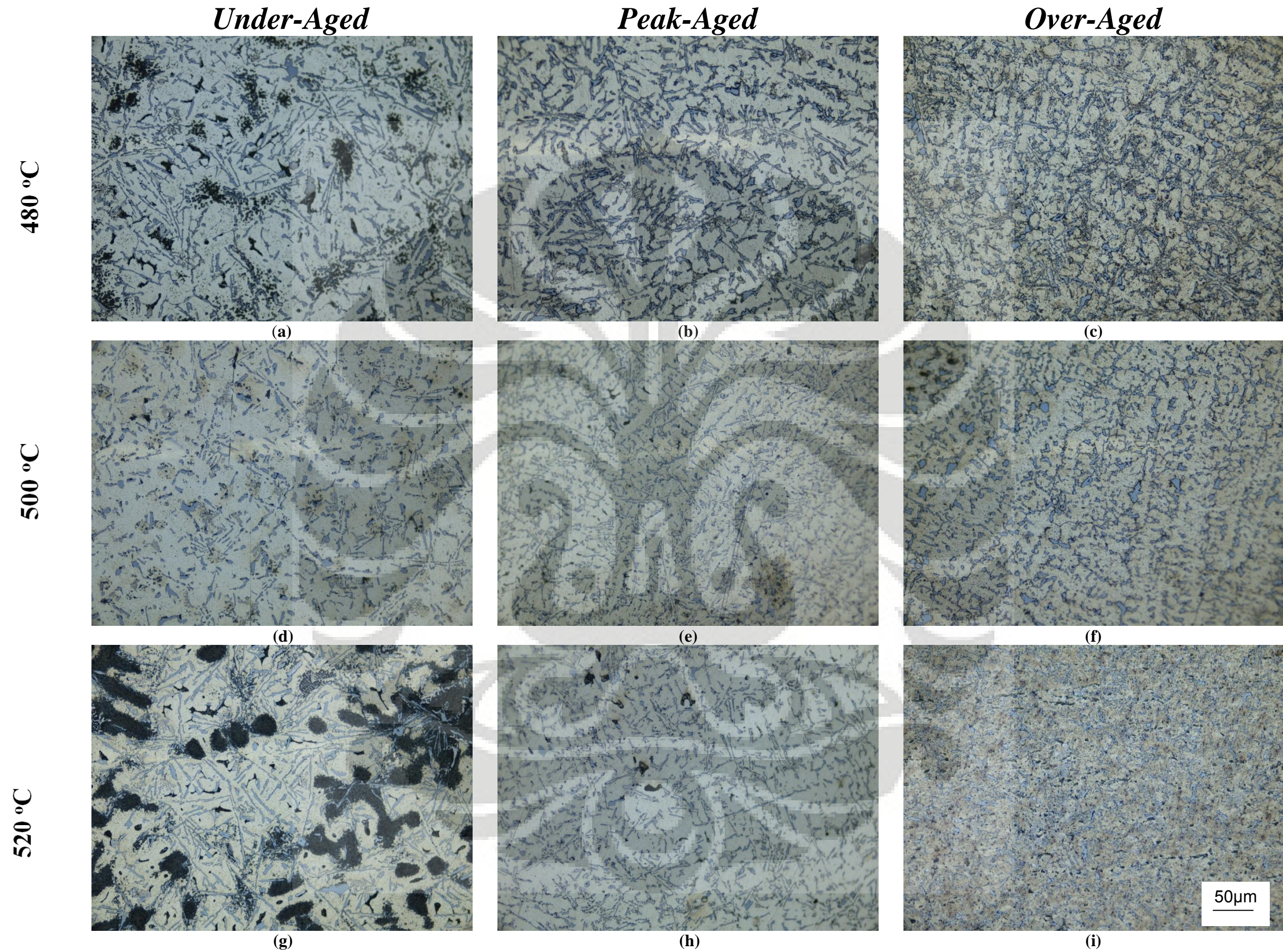
Pada Gambar 4.5 evolusi struktur mikro dengan perlakuan pelarutan dengan waktu tahan 120 menit. Pada temperatur 480 °C struktur mikro *under-aged* didapatkan pada waktu penuaan 15 menit, *peak-aged* pada waktu 1 jam, dan *over-aged* pada 72 jam. Temperatur 500 °C struktur mikro *under-aged* didapatkan

pada waktu penuaan 30 menit, *peak-aged* pada waktu 6 jam, dan *over-aged* pada 72 jam. Sedangkan temperatur 520 °C struktur mikro *under-aged* didapatkan pada waktu penuaan 15 menit, *peak-aged* pada waktu 1 jam, dan *over-aged* pada 24 jam. Pada struktur mikro dengan waktu tahan 120 menit struktur dendrit yang terbentuk tidak jauh berbeda dengan perlakuan pelarutan 30 menit, tetapi selama penuaan struktur silikon eutektik terlihat lebih kecil dibandingkan dengan waktu tahan yang singkat. Selain itu, ditunjukkan pada gambar tersebut semakin tinggi temperatur penuaan struktur silikon eutektik akan semakin kecil dan sedikit berbentuk bulat. Gambar 4.4 dan 4.5 terlihat juga lama waktu penuaan membuat fasa interdendritik semakin menipis, hal ini mungkin disebabkan oleh berdifusinya paduan pembentuk fasa interdendritik ke matrik Al. Pada penelitiannya Adhi Baskoro^[30], mengamati evolusi struktur mikro pada proses penuaan dan terjadi penipisan fasa interdendritik ketika waktu penuaan bertambah dan fasa yang tipis akan larut kedalam matriks yang tampak menjadi pengkasaran butir.

Dari evolusi struktur mikro selama proses penuaan hanya dapat dilakukan perbandingan dari bentuk dendrit pada kondisi *under-aged*, *peak-aged*, dan *over-aged*. Dengan paduan yang memiliki jarak lengan dendrit (*dendrit arm spacing*) yang kecil maka, kekekerasan lebih tinggi^[1]. Gambar 4.4 dan 4.5 dengan pengambilan menggunakan mikroskop optik tidak dapat menunjukkan adanya presipitat yang dapat membandingkan sifat mekanis dari ketiga kondisi tersebut. Untuk mengetahui presipitat yang terbentuk dan sifat koherensi dari presipita dapat dilakukan dengan pengamatan menggunakan *Transmission Electron Microscope (TEM)*. Dimana akan mengetahui presipitat koheren, semi-koheren, dan inkoheren yang berkaitan dengan sifat mekanis dari paduan.



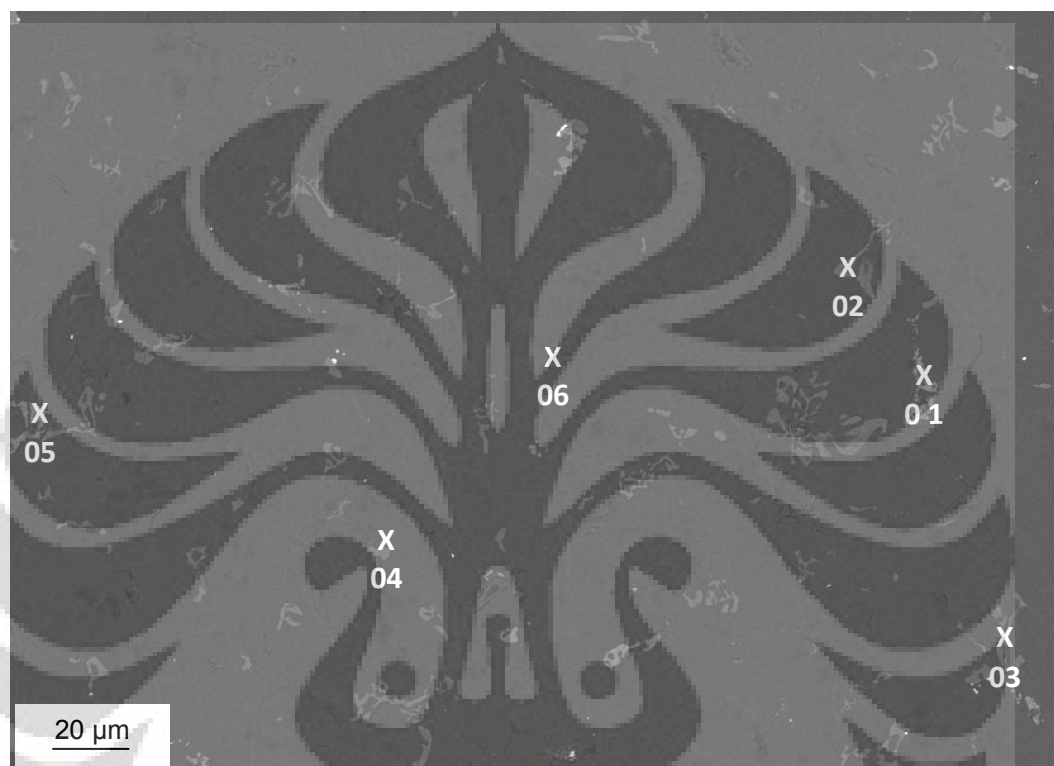
Gambar 4.4 Evolusi struktur mikro paduan aluminium AC4B dengan temperatur perlakuan pelarutan: (a-c)480 °C, (d-f) 500 °C, dan (g-i) 520 °C selama 30 menit



Gambar 4.5 Evolusi Evolusi struktur mikro paduan aluminium AC4B dengan temperatur perlakuan pelarutan: (a-c) 480 °C, (d-f) 500 °C, dan (g-i) 520 °C selama 120 menit

4.2.3 Observasi Detail Struktur Mikro Menggunakan SEM / EDX

Gambar 4.6 menjelaskan hasil pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM / EDX paduan AC4B dengan perlakuan pelarutan 500 °C dan waktu tahan 30 menit pada kondisi *peak-aged*. Pengamatan menggunakan SEM dapat dibedakan dari bentuk, warna, dan komposisi kimia fasa-fasa yang ada.

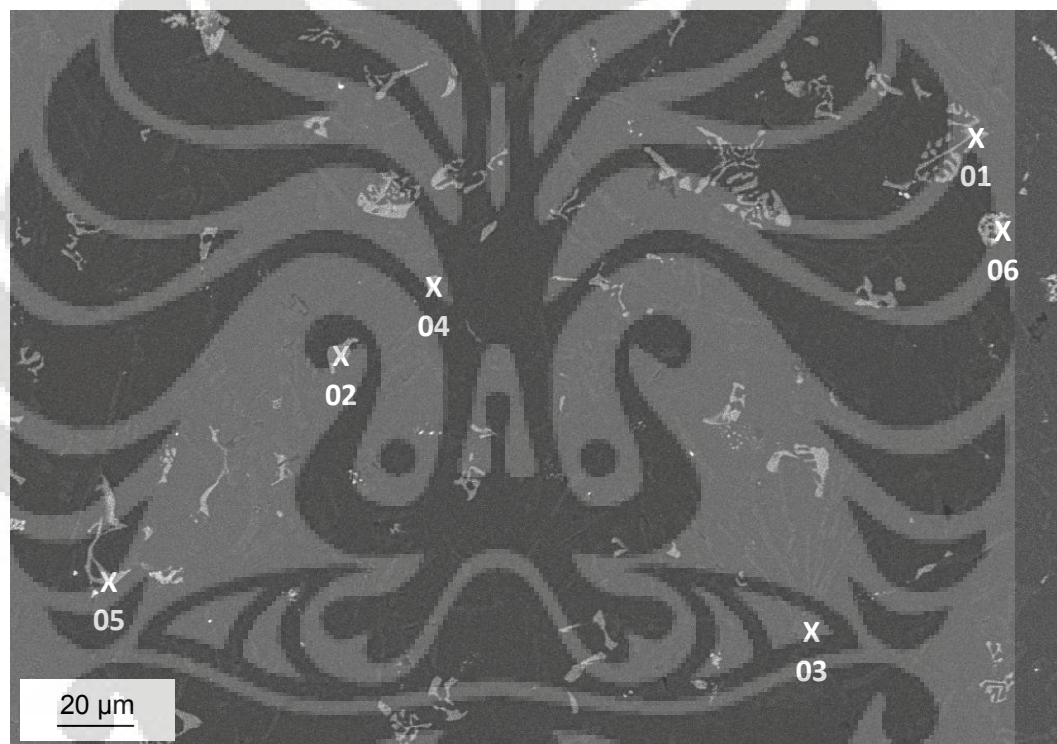


Gambar 4.6 Pengamatan struktur mikro dengan SEM pada paduan AC4B dengan perlakuan pelarutan 500°C selama 30 menit pada kondisi *peak-aged*, nomor menunjukkan titik pengujian EDX

Tabel 4.3 Komposisi hasil analisis titik SEM / EDAX pada Gambar 4.6

| No | Komposisi | | | | | | | | Warna | Fasa yang Mungkin Terbentuk |
|----|-----------|-------|------|------|-------|------|------|------|------------------------------|--|
| | Al | Si | Cu | Ti | Fe | Mn | C | O | | |
| 1 | 25.80 | 73.20 | - | - | - | - | - | 0.96 | abu-abu | Al-Si |
| 2 | 58.50 | 5.38 | 9.20 | - | 19.10 | 6.45 | - | 1.42 | abu-abu muda | Al(Fe,Mn)Si |
| 3 | 56.10 | 5.68 | 8.23 | - | 20.90 | 7.44 | 0.94 | 0.65 | abu-abu muda berbentuk jarum | Al(Fe,Mn)Si, FeMnAl ₆ |
| 4 | 88.50 | 1.56 | 5.37 | 1.38 | - | 0.91 | 1.43 | 0.87 | abu-abu muda | Al ₂ Cu, Al ₃ Ti |
| 5 | 85.40 | 1.48 | 7.06 | - | - | - | 1.68 | 4.34 | abu-abu muda | Al ₂ Cu |
| 6 | 13.10 | 75.70 | 9.48 | - | - | - | - | 1.26 | abu-abu tua | silikon eutektik |

Fasa nomor 2 diindikasikan sebagai fasa intermetalik Al(Fe,Mn)Si, dilihat dari bentuknya yang panjang. Fasa nomor 3 diindikasikan sebagai fasa Al(Fe,Mn)Si, hal ini dapat dilihat dengan bentuk seperti jarum dengan kandungan Fe yang cukup besar yakni, 20.92 wt % Fe. Diambil kesimpulan bahwa fasa tersebut adalah Al(Fe,Mn)Si. Pada fasa nomor 4 diindikasikan adalah fasa Al₂Cu berdasarkan berat massa yang terkandung dalam fasa tersebut dan bentuk dari ciri-ciri Al₂Cu yang berbentuk agak bulat. Fasa nomor 6 diindikasikan sebagai fasa silikon eutektik dilihat dari komposisi dan dengan bentuk panjang dengan warna abu-abu gelap.



Gambar 4.7 Pengamatan struktur mikro dengan SEM pada paduan AC4B dengan perlakuan pelarutan 500°C selama 120 menit pada kondisi *peak-aged*, nomor menunjukkan titik pengujian EDX

Fasa yang terbentuk tidak jauh berbeda pada temperatur perlakuan 30 menit, tetapi pada Gambar 4.7 diindikasikan lebih banyak terdapat fasa Al₂Cu. Pada fasa nomor 1 satu diindikasikan sebagai fasa Al(Fe,Mn)Si, seperti bentuk intermetalik *chinese script*. Dengan bentuk yang demikian diambil kesimpulan bahwa fasa tersebut merupakan β-Al(Fe,Mn)Si. Fasa dengan nomor 5 diindikasikan sebagai fasa Al(Fe,Mn)Si, walaupun pada titik tersebut terdapat

komposisi Cu yang cukup tinggi, tetapi dengan bentuk yang panjang dan mempunyai cabang-cabang fasa tersebut merupakan fasa Al(Fe,Mn)Si. Kemungkinan kadar Cu yang tinggi dikarenakan Cu yang berasa pada matrik Al terserap oleh fasa intermetalik tersebut. fasa nomor 6 diindikasikan sebagai Al₂Cu.

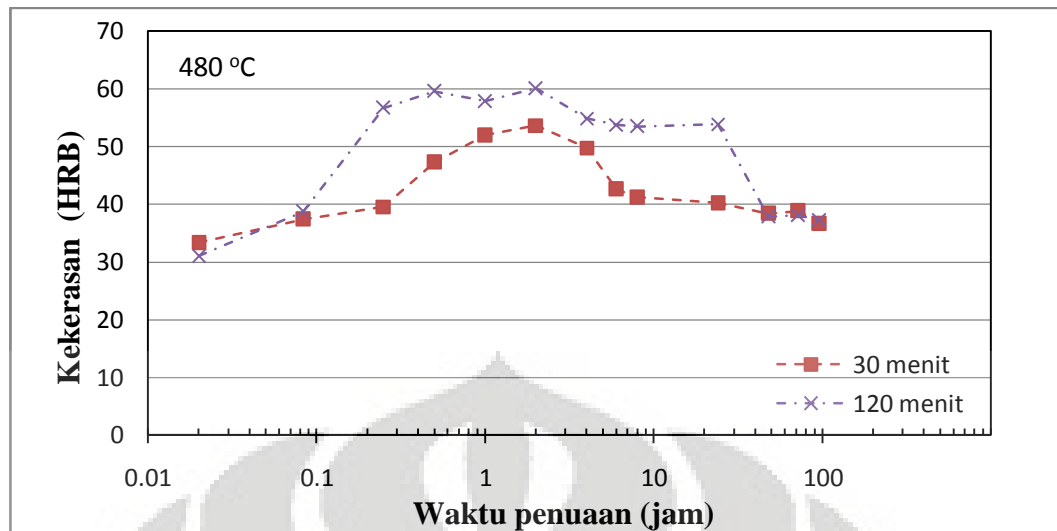
Tabel 4.4 Komposisi hasil analisis titik SEM / EDAX pada Gambar 4.7

| No | Komposisi | | | | | | | | | Warna | Fasa yang Mungkin Terbentuk |
|----|-----------|-------|-------|----|-------|------|------|------|------|---------------|---------------------------------|
| | Al | Si | Cu | Ti | Fe | Mn | Cr | C | O | | |
| 1 | 51.60 | 36.20 | 5.510 | - | 3.56 | 1.18 | - | 1.20 | 0.75 | abu-abu muda | Al(Fe,Mn)Si |
| 2 | 63.10 | 4.04 | 15.10 | - | 13.90 | 2.59 | - | - | 1.31 | abu-abu muda | Al ₂ Cu |
| 3 | 95.00 | 1.93 | 2.29 | - | - | - | - | - | 0.75 | abu-abu tua | Matriks Al |
| 4 | 89.90 | 1.51 | 7.67 | - | - | - | - | - | 0.88 | abu-abu muda | Al ₂ Cu |
| 5 | 51.20 | 5.84 | 16.60 | - | 20.00 | 5.34 | 0.50 | - | 0.48 | putih abu-abu | Al ₂ Cu, Al(Fe,Mn)Si |
| 6 | 89.60 | 1.81 | 6.90 | - | - | - | - | - | 1.65 | putih abu-abu | Al ₂ Cu |

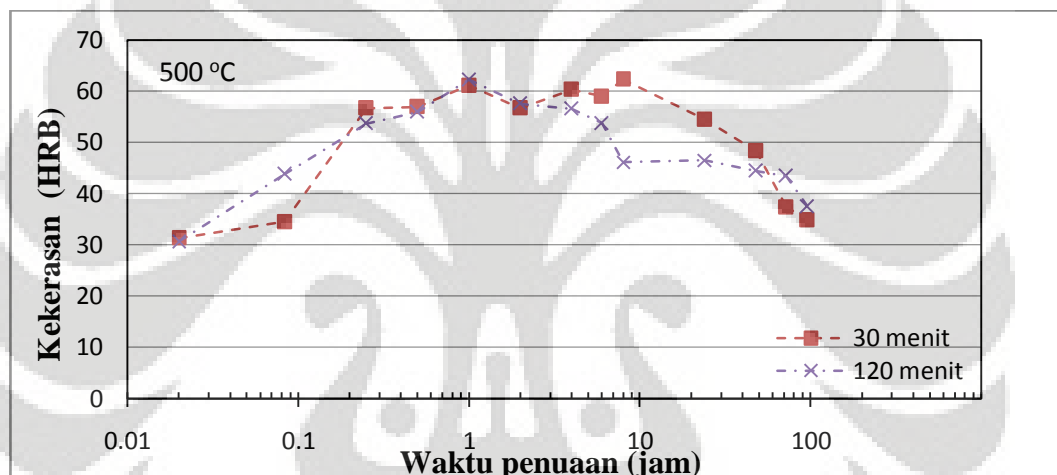
4.3 Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Perlakuan Pelarutan Terhadap Respon Penuaan Paduan Aluminium AC4B Dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr.

4.3.1 Kurva Pengerasan Penuaan

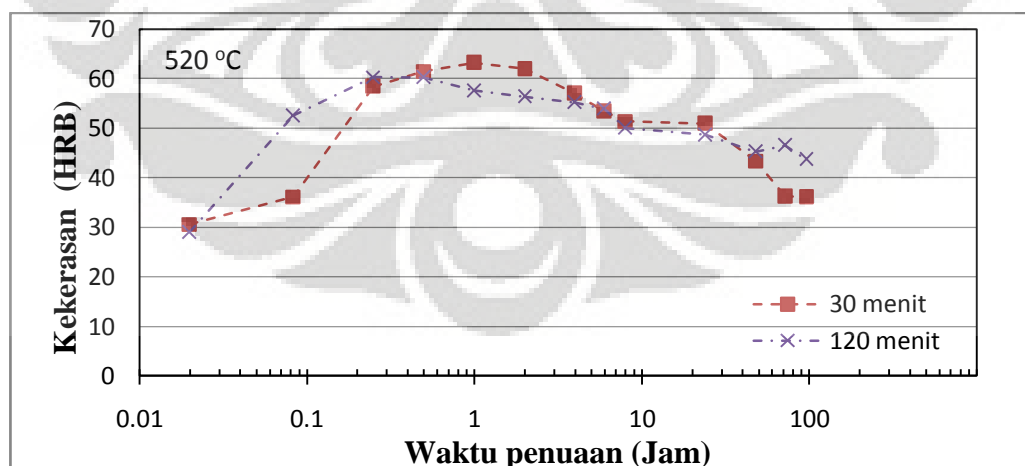
Gambar 4.8 menunjukkan pengaruh perlakuan pelarutan dengan temperatur 480, 500, dan 520 °C dengan waktu tahan 30 dan 120 menit terhadap pengerasan penuaan pada paduan aluminium AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr. Dari Gambar 4.8 terlihat kenaikan nilai kekerasan pada setiap perlakuan selama dilakukan pengerasan penuaan dengan temperatur 200 °C selama 96 jam. Nilai kekerasan tiap temperatur dan waktu tahan meningkat sampai titik tertentu (*peak-aged*) dan akan turun setelah menyentuh kekerasan puncak. Peningkatan kekerasan selama pengerasan penuaan terjadi berbeda-beda pada setiap temperatur perlakuan pelarutan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Pengaruh waktu tahan terhadap respon pengerasan penuaan paduan AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr pada temperatur perlakuan pelarutan (a) 480 °C, (b) 500 °C, dan (c) 520 °C

Pada Gambar 4.2 (a) menunjukkan pada waktu tahan perlakuan pelarutan 30 menit kekerasan selama penuaan naik dari 33.38 sampai dengan 53.66 HRB pada waktu penuaan 2 jam, kemudian kekerasan secara perlahan mengalami penurunan. Sedangkan pada waktu tahan 120 menit kekerasan mengalami kenaikan dari 31 sampai 60.08 HRB selama waktu penuaan 30 menit. Kekerasan pada waktu tahan 120 lebih tinggi kemungkinan dikarenakan *vacancy* yang terperangkap lebih banyak sehingga presipitat dapat tumbuh dengan cepat dan terdistribusi dengan baik.

Gambar 4.8 (b) pada waktu tahan perlakuan pelarutan 30 menit menunjukkan kenaikan kekerasan dari 31.32 sampai 62.28 HRB selama 8 jam. Pada Gambar 4.8 (b) terlihat bahwa pada kekerasan mendekati puncak telah didapatkan pada waktu penuaan 1 jam sebesar 61.12 HRB, tetapi mengalami penurunan di waktu penuaan 2 jam kemudian naik kembali hingga kekerasan puncak pada 8 jam, hal ini kemungkinan dikarenakan pada saat penuaan distribusi presipitat kurang merata sehingga kekerasan mengalami naik turun. Oleh karena itu, dengan waktu penuaan 30 menit sudah mendapatkan kekerasan pada daerah puncak. Pada waktu tahan 120 menit kekerasan naik dari 30.6 sampai 62.22 HRB selama waktu 30 menit.

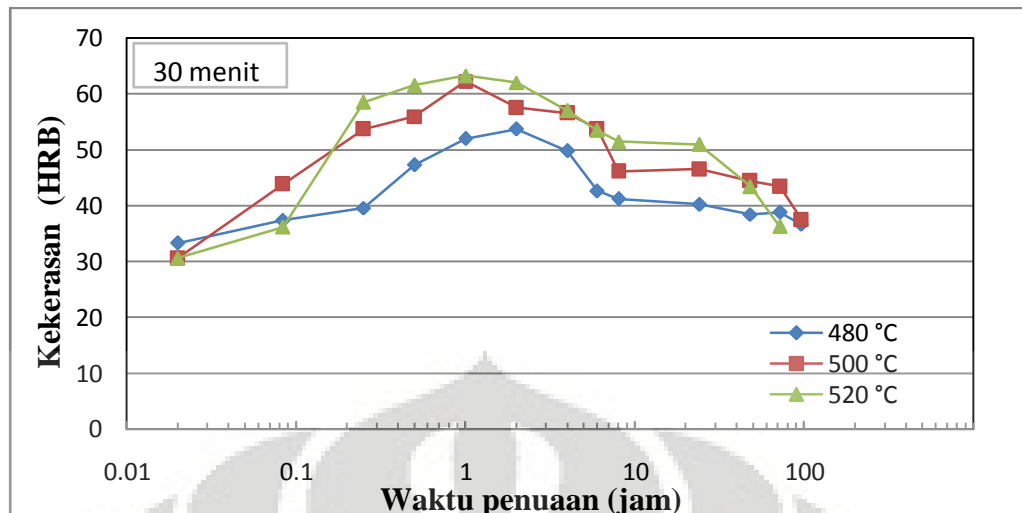
Gambar 4.8 (c) dengan waktu tahan pelarutan 30 menit menunjukkan kenaikan kekerasan dari 30.62 sampai 63.22 HRB selama penuaan 1 jam dan mengalami penurunan yang perlahan sampai 96 jam. Pada waktu tahan 120 menit mengalami kenaikan kekerasan dari 29.02 sampai 60.34 HRB selama penuaan 15 menit. Kemudian mengalami penurunan kekerasan sampai penuaan 96 jam.

Gambar 4.8 menjelaskan dengan makin meningkatnya temperatur maka akan mempercepat mendapatkan kekerasan puncak dari proses pengerasan penuaan. Pengaruh penambahan stronsium juga berperan untuk mempersingkat waktu dari proses perlakuan pelarutan^[29]. Sehingga kekerasan puncak akan lebih cepat didapatkan.

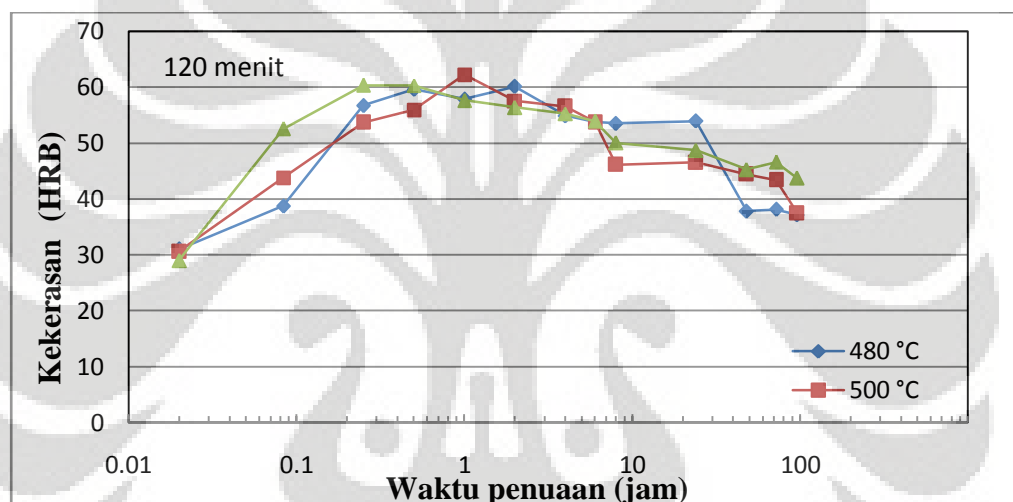
Kekerasan yang didapatkan pada proses penuaan tergantung dari tumbuhnya dan sifat koherensi presipitat pada paduan aluminium. Tumbuhnya presipitat selama penuaan salah satunya dipengaruhi oleh terperangkapnya *vacancy* pada saat proses pelarutan. Proses pelarutan yang bertujuan untuk

memerangkap *vacancy* yang terdapat dalam paduan tergantung dari komposisi paduan dan jari-jari atom dari paduannya. Pada paduan AC4B dengan penambahan Ti dan Sr (sampel B) memiliki pengaruh dalam proses perlakuan pelarutan. Dengan jari-jari atom Sr 215 pm^[17], Ti 140 pm^[18], Al 143 pm, Fe 126 pm, dan Cu 128pm^[31] mempengaruhi dalam memerangkap *vacancy* dalam proses pelarutan. Perbedaan jari-jari atom pada masing-masing unsur akan lebih banyak memerangkap *vacancy*, hal ini karena unsur yang memiliki jari-jari atom kecil berikatan dengan unsur yang memiliki jari-jari atom besar akan menciptakan rongga diantara atom tersebut. Apabila banyak terjadi iatan antar unsur yang memiliki jari-jari atom yang berbeda cukup jauh, maka akan terciptanya *vacancy* yang banyak. Sehingga pada proses penuaan akan makin banyaknya presipitat yang terbentuk yang mengakibatkan akan dapat meningkatkan kekerasan dari paduan tersebut.

Pada gambar 4.9 menunjukkan perbedaan waktu tahan perlakuan pelarutan 30 menit 4.9.(a) dan 120 menit 4.9.(b). Gambar 4.9 (a) menunjukkan makin tinggi temperatur maka makin tinggi pula kekerasan yang didapatkan selama proses penuaan. sedangkan pada Gambar 4.9 (b) kekerasan puncak terdapat pada temperatur 500 °C yakni 62.22 HRB. Tetapi kekerasan puncak pada temperatur tersebut tidak jauh berbeda dengan kekerasan puncak pada temperatur 520 °C, yakni 60.34 HRB. Hal ini kemungkinan karena pada perlakuan pelarutan temperatur 500 °C menciptakan larutan homogen yang baik, sehingga dapat memerangkap *vacancy* lebih banyak. Gambar 4.9 juga memperlihatkan kekerasan yang lebih tinggi selama penuaan ditunjukkan oleh perlakuan pelarutan yang singkat yaitu, 30 menit. Hal ini merupakan salah satu pengaruh dari penambahan stronsium yang dapat mempersingkat waktu pelarutan, sehingga homogenitas menjadi lebih cepat.



(a)



(b)

Gambar 4.9 Kurva pengerasan penuaan terhadap perlakuan pelarutan pada AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % dengan waktu tahan (a) 30 menit (b) 120 menit

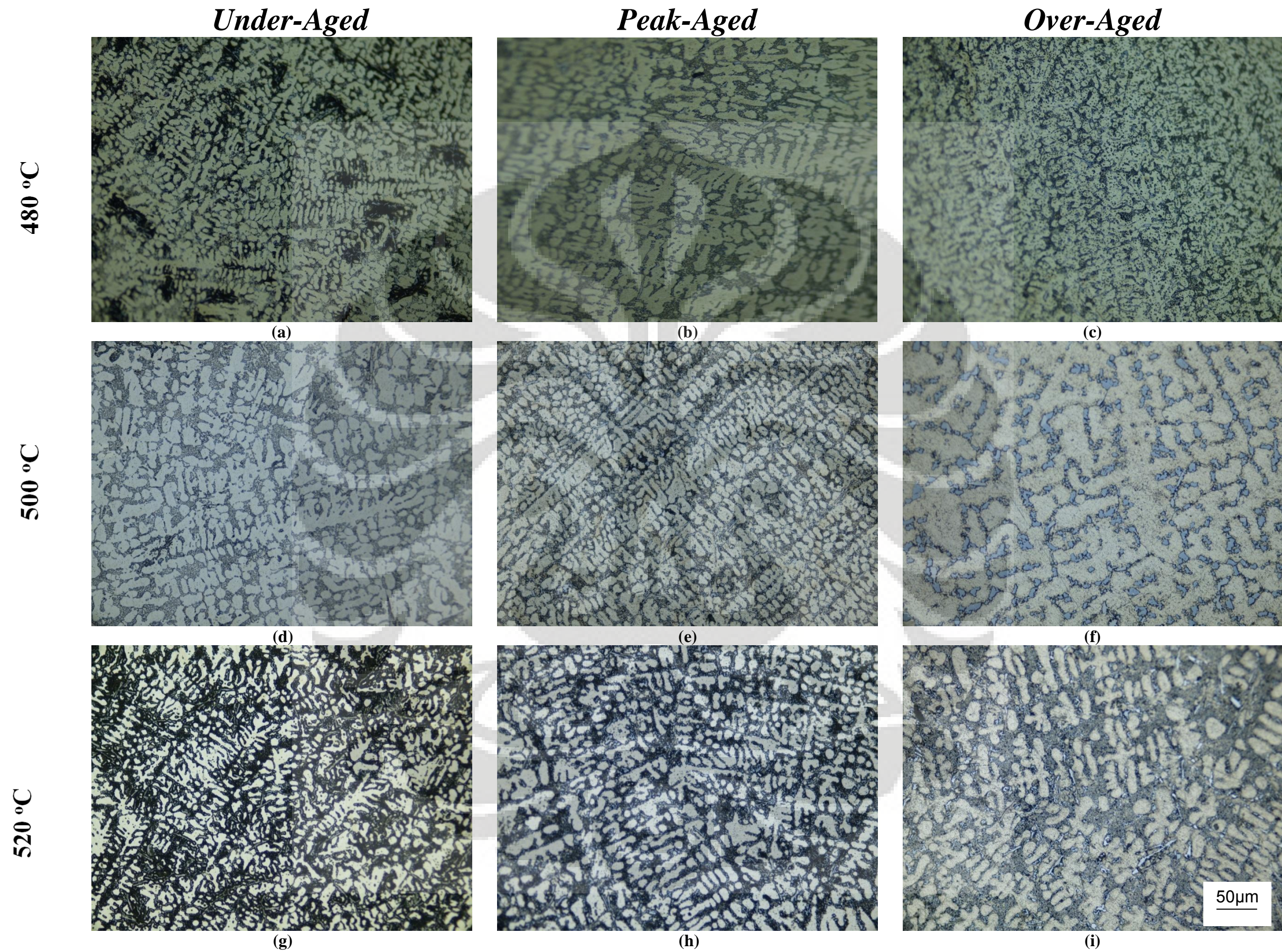
Dengan efek pengaruh penambahan stronsium terlihat pada waktu tahan yang lebih lama akan menyebabkan partikel yang berbentuk panjang (jarum) akan mengalami fragmentasi kedalam bentuk yang lebih halus^[29]. Hal tersebut akan memberikan sifat keuletan yang baik dan berbanding tebalik dengan kekerasan. Penelitian Witthaya^[29], pada paduan AC8A dengan penambahan Sr setelah proses penuaan didapatkan kekerasan lebih tinggi pada paduan yang waktu tahan lebih singkat.

4.3.2 Pengamatan Evolusi Struktur Mikro Menggunakan Mikroskop Optik

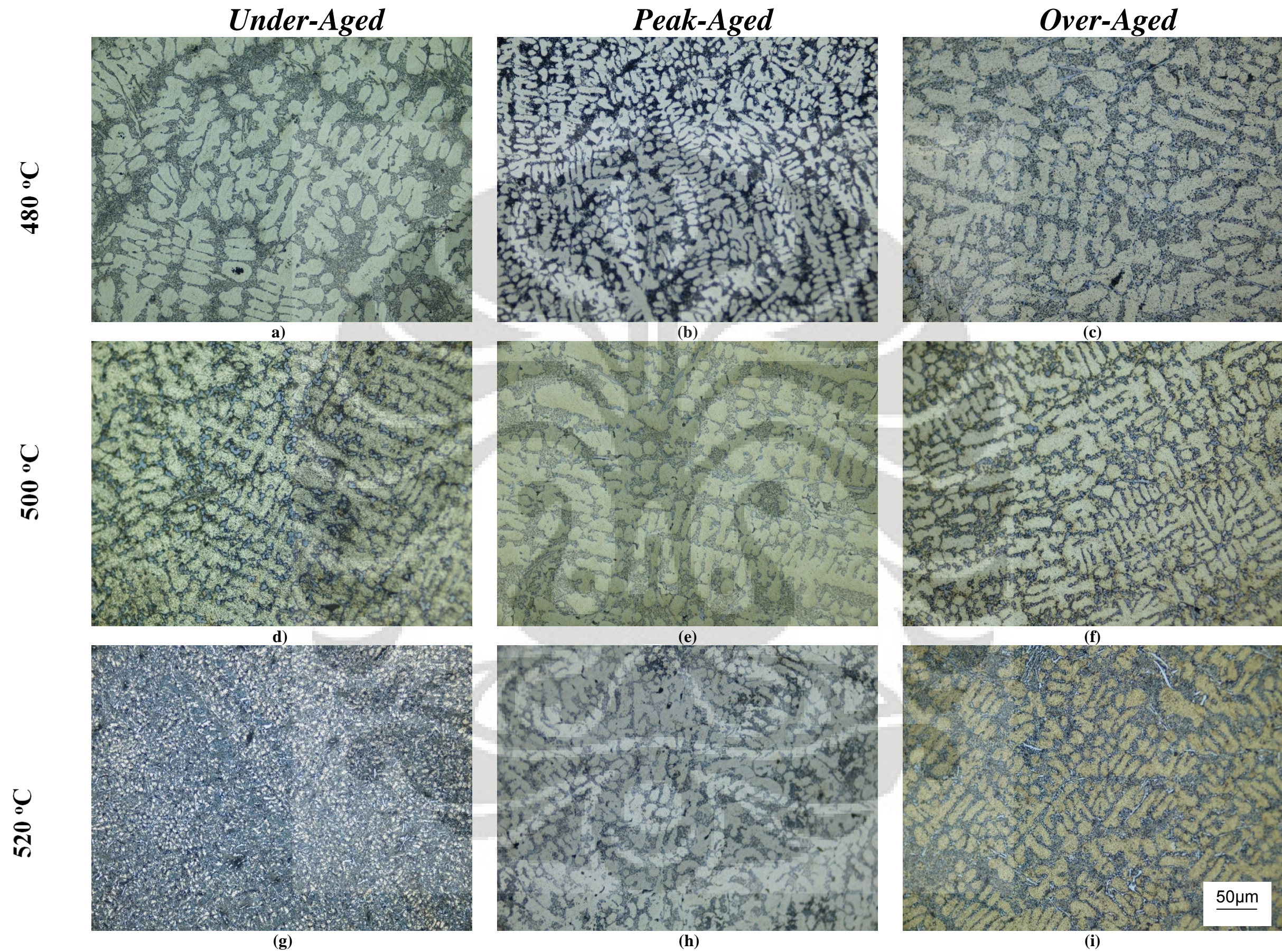
Gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan evolusi struktur mikro selama proses penuaan dengan perlakuan pelarutan pada 480, 500, dan 520 °C selama 30 menit dan 120 menit. Pada Gambar 4.10 dan 4.11 memiliki struktur dendrit yang panjang dan kecil-kecil ini dikarenakan ditambahkan penghalus butir, yakni Ti dan memiliki struktur silikon eutektik yang kecil kecil hasil modifikasi bentuk dengan adanya unsur Sr.

Gambar 4.10 pada temperatur 480 °C kondisi *under-aged* diambil pada waktu penuaan 5 menit, *peak-aged* pada 1 jam, dan *over-aged* pada 48 jam. Temperatur 500 °C kondisi *under-aged* pada waktu penuaan 5 menit *peak-aged* pada 1 jam, dan *over-aged* pada 72 jam. Temperatur 520 °C kondisi *under-aged* pada waktu penuaan 5 menit *peak-aged* pada 1 jam, dan *over-aged* pada 24 jam. Gambar 4.10 menunjukkan kondisi *under-aged* memiliki struktur dendrit yang kecil-kecil dengan sedikitnya fasa-fasa yang terdapat diantara dendrit. Pada kondisi *peak-aged* fasa yang terdapat pada jarak antar dendrit cukup banyak dan berkumpul, fasa tersebut kemungkinan adalah presipitat yang terjadi selama proses penuaan. Fasa-fasa antar dendrit tersebut yang kemungkinan terbentuk adalah Al_2Cu , AlFeSi , Al_3Ti , $\text{Al}(\text{Fe},\text{Mn})\text{Si}$, dan silikon eutektik. Pada kondisi *over-aged* telah terjadi penebalan dan pemutusan pada matriks Al.

Gambar 4.11 pada temperatur 480 °C kondisi *under-aged* diambil pada waktu penuaan 5 menit, *peak-aged* pada 2 jam, dan *over-aged* pada 72 jam. Temperatur 500 °C kondisi *under-aged* pada waktu penuaan 5 menit *peak-aged* pada 1 jam, dan *over-aged* pada 72 jam. Temperatur 520 °C kondisi *under-aged* pada waktu penuaan 5 menit *peak-aged* pada 30 menit, dan *over-aged* pada 24 jam. Gambar 4.11 kondisi *under-aged*, *peak-aged*, dan *over-aged* tidak jauh berbeda dengan Gambar 4.10. pada kedua gambar tersebut terlihat dengan kenaikan temperatur perlakuan pelarutan mengakibatkan ukuran dendrit yang lebih kecil. Dengan semakin lama waktu penuaan struktur interdendritik akan semakin menipis, hal ini dikarenakan berdifusinya paduan pembentuk fasa interdendritik kedalam matriks Al^[30].

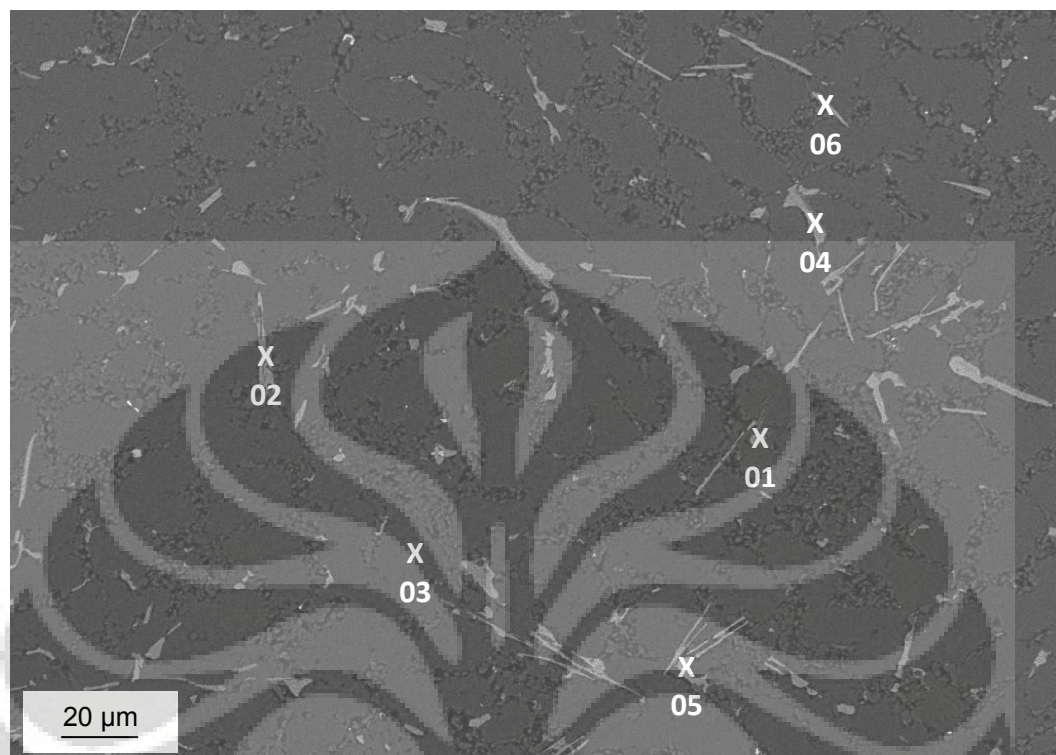


Gambar 4.10 Evolusi struktur mikro paduan aluminium AC4B dengan kandungan 0.078 wt % Ti dan 0.02 wt % Sr temperatur perlakuan pelarutan: (a-c)480 °C, (d-f) 500 °C, dan (g-i) 520 °C selama 30 menit



Gambar 4.11 Evolusi struktur mikro paduan aluminium AC4B dengan kandungan 0.078 wt % Ti dan 0.02 wt % Sr temperatur perlakuan pelarutan: (a-c)480 °C, (d-f) 500 °C, dan (g-i) 520 °C selama 120 menit

4.3.3 Observasi Detail Struktur Mikro Menggunakan SEM / EDX



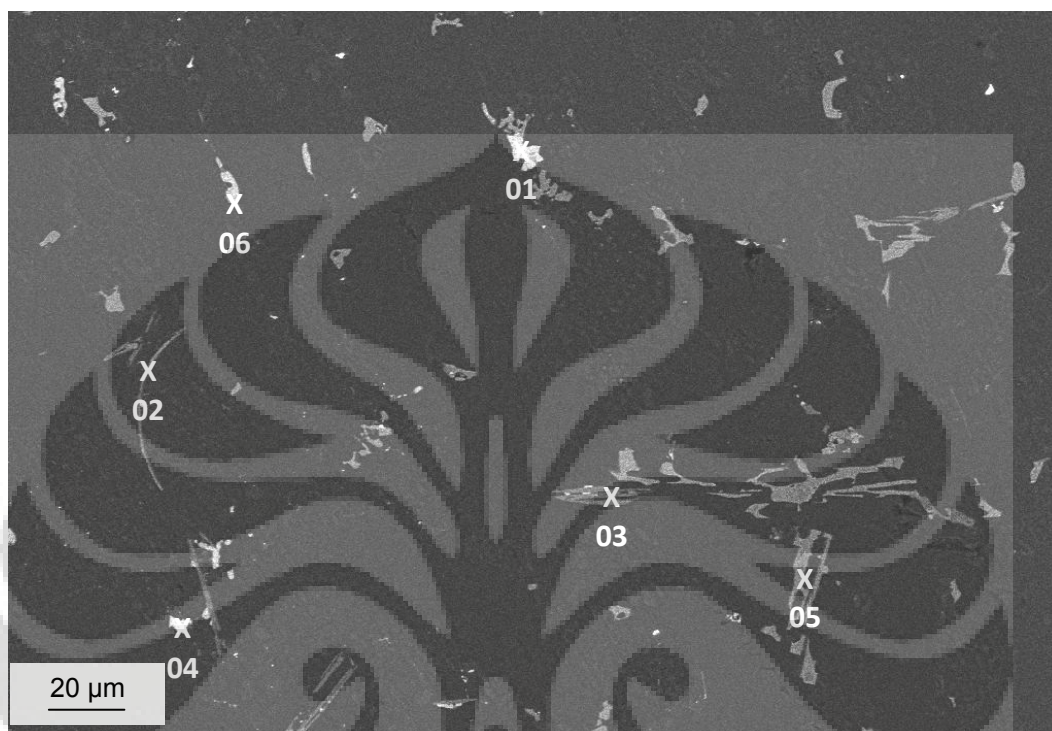
Gambar 4.12 Hasil Pengujian SEM pada paduan AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan 500°C selama 30 menit pada kondisi *peak-aged*, nomor menunjukkan titik pengujian EDX

Tabel 4.5 Komposisi hasil analisis titik SEM / EDX pada Gambar 4.12

| No | Komposisi | | | | | | | Warna | Fasa yang Mungkin Terbetuk |
|----|-----------|-------|-------|------|-------|------|------|---------------------|--|
| | Al | Si | Cu | Ti | Fe | Mn | O | | |
| 1 | 74.81 | 1.21 | 15.51 | 4.41 | - | - | 5.05 | abu-abu muda | Al ₂ Cu, Al ₃ Ti |
| 2 | 45.70 | 12.30 | 16.27 | 1.26 | 17.21 | 4.06 | 3.20 | abu-abu muda | Al(Fe,Mn)Si, AlFeSi |
| 3 | 92.67 | 1.48 | 3.21 | 1.48 | - | - | 1.82 | abu-abu tua | Matriks Al |
| 4 | 64.94 | 3.54 | 15.29 | - | 10.67 | 3.75 | 1.78 | putih, abu-abu muda | Al ₂ Cu, Al(Fe,Mn)Si |
| 5 | 50.45 | 10.02 | 16.31 | - | 17.17 | 4.47 | 1.58 | abu-abu muda | Al ₂ Cu, Al(Fe,Mn)Si |
| 6 | 20.98 | 75.32 | - | - | - | - | 3.71 | abu-abu muda | AlSi, Si eutektik |

Gambar 4.12 pada fasa nomor 1 diindikasikan sebagai fasa Al₂Cu dengan perbandingan komposisi berat dan jumlah atom yang diidentifikasi. Fasa nomor 2 diindikasikan sebagai Al(Fe,Mn)Si dengan dilihat dari komposisi Mn yang cukup besar dan bentuk tidak menyerupai jarum panjang yang biasanya ditunjukkan oleh fasa Al₃FeSi. Fasa nomor 4 diindikasikan sebagai fasa

intermetalik Al(Fe,Mn)Si, walaupun pada titik ini terdapat kandungan Cu yang cukup besar. Hal ini dikarenakan larutan yang kaya Cu terdistribusi ke dalam fasa ini selama waktu penuaan. fasa nomor 5 diindikasikan sebagai fasa intermetalik Al(Fe,Mn)Si. Fasa nomor 6 diindikasikan sebagai silikon eutektik.



Gambar 4.13 Hasil Pengujian SEM pada paduan AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan 500°C selama 120 menit pada kondisi *peak-aged*, nomor menunjukkan titik pengujian EDX

Tabel 4.6 Komposisi hasil analisis titik SEM / EDX pada Gambar 4.13

| No | Komposisi | | | | | | | | | Warna | Fasa yang Mungkin Terbetuk |
|----|-----------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|--------------|---------------------------------|
| | Al | Si | Cu | Ti | Fe | Mn | C | Ni | O | | |
| 1 | 26.44 | 0.19 | 62.4 | - | - | - | - | 9.7 | 1.27 | abu-abu tua | Al ₂ Cu |
| 2 | 40.86 | 41 | 8.86 | - | 7.2 | 1.46 | - | - | 1.25 | abu-abu tua | Al ₅ FeSi |
| 3 | 67.41 | 8.2 | - | - | 19.3 | 3.37 | - | - | 1.75 | putih terang | Al(Fe,Mn)Si |
| 4 | 26.85 | 0.18 | 64.2 | - | - | - | - | 6.19 | 0.76 | putih | Al ₂ Cu |
| 5 | 50.35 | 7.11 | 14.4 | - | 23.2 | 4.4 | - | - | 0.53 | abu-abu muda | Al(Fe,Mn)Si, Al ₂ Cu |
| 6 | 89.13 | 2.4 | 5.69 | 0.9 | - | - | 1.2 | - | 0.68 | abu-abu muda | Al ₂ Cu |

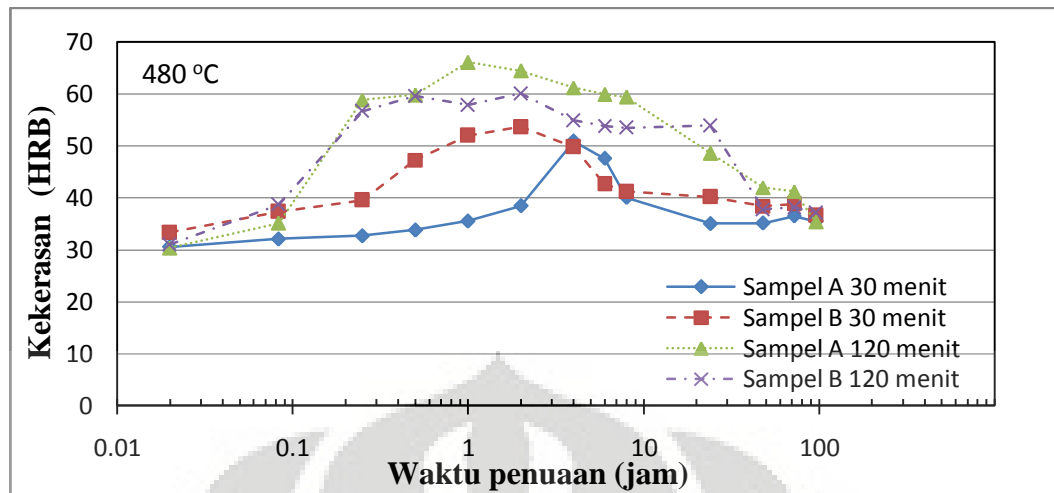
Gambar 4.13 berdasarkan dari hasil pengujian EDX, fasa nomor 2 diindikasikan sebagai fasa Al₅FeSi. Berdasarkan perhitungan dan berat atom dari pengujian serta bentuk yang seperti jarum dapat disimpulkan bahwa fasa tersebut Al₅FeSi. Fasa nomor 3 diindikasikan sebagai fasa Al(Fe,Mn)Si. Fasa ini merupakan

intermetalik yang sering terbentuk pada paduan aluminium, hal tersebut karena kelarutan Fe dan Mn rendah, 0.052 wt. % untuk Fe dan 1.82 wt. % untuk Mn^[1]. Fasa nomor 5 dilihat dari bentuk dan komposisi diindikasikan fasa tersebut adalah Al(Fe,Mn)Si, walaupun terdapat kadar Cu yang cukup tinggi yaitu sebesar 14.39 wt. % Cu. Hal ini dimungkinkan pada proses penuaan larutan kaya akan Cu berdistribusi ke dalam fasa Al(Fe,Mn)Si. Pada fasa nomor 6 diindikasikan sebagai fasa Al₂Cu.

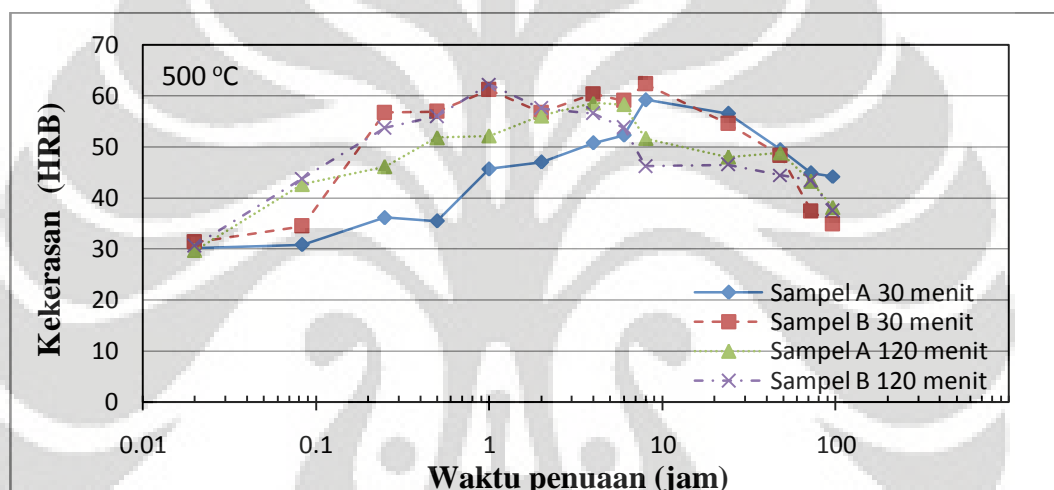
4.4 Perbandingan Respon Penuaan Paduan Aluminium AC4B Sebelum dan Sesudah Penambahan dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr.

4.4.1 Kurva Pengerasan Penuaan

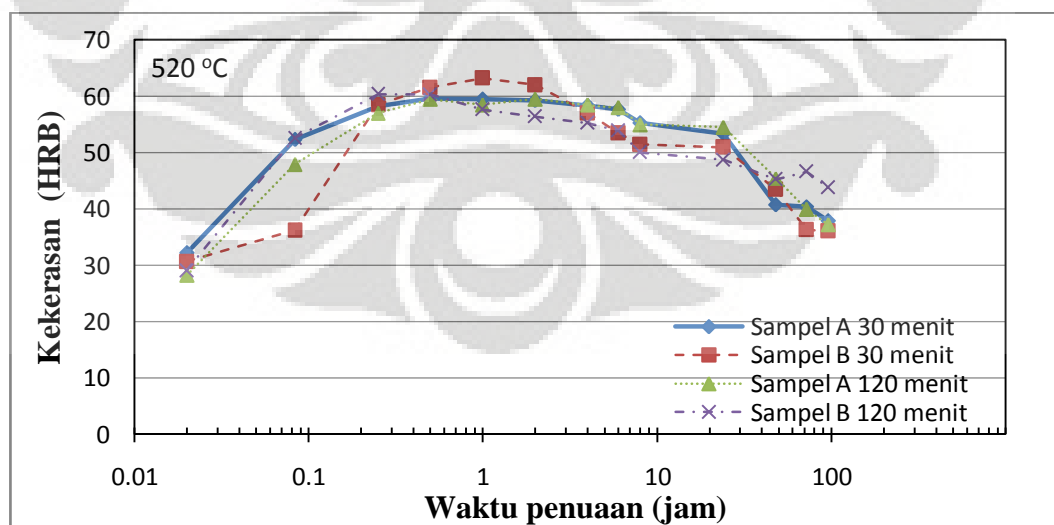
Gambar 4.14 menunjukkan perbandingan dari paduan aluminium AC4B sebelum dan sesudah penambahan penghalus butir dan *modifier* terhadap proses pengerasan penuaan. Gambar 4.14 (a) kurva pengerasan penuaan dengan perlakuan pelarutan temperatur 480 °C, Gambar 4.14 (b) pada temperatur 500 °C, dan (c) 520 °C. pada Gambar 4.14 terlihat dengan penambahan unsur modifikasi dan penghalus butir memiliki kekerasan yang lebih tinggi selama waktu penuaan dibandingkan dengan tanpa penambahan. Hal ini dikarenakan dengan penambahan unsur penghalus butir (Ti) memberikan struktur dendrit yang kecil dan akan membentuk presipitat Al₃Ti pada proses penuaan^[3]. Tetapi pada gambar 4.14 (a) paduan AC4B tanpa penambahan dengan perlakuan pelarutan 480 °C dan waktu tahan 120 menit memiliki kekerasan yang cukup tinggi. Hal ini dimungkinkan karena paduan AC4B pada waktu tahan 120 menit pada temperatur tersebut dapat memerangkap *vacancy* lebih baik sebagai tempat tumbuh presipitat. Sehingga presipitat yang dihasilkan akan lebih banyak terdistribusi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.14 Perbandingan kurva pengerasan penuaan paduan AC4B dan dengan komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr pada perlakuan pelarutan temperatur (a) 480 °C, (b) 500 °C, dan (c) 520 °C.

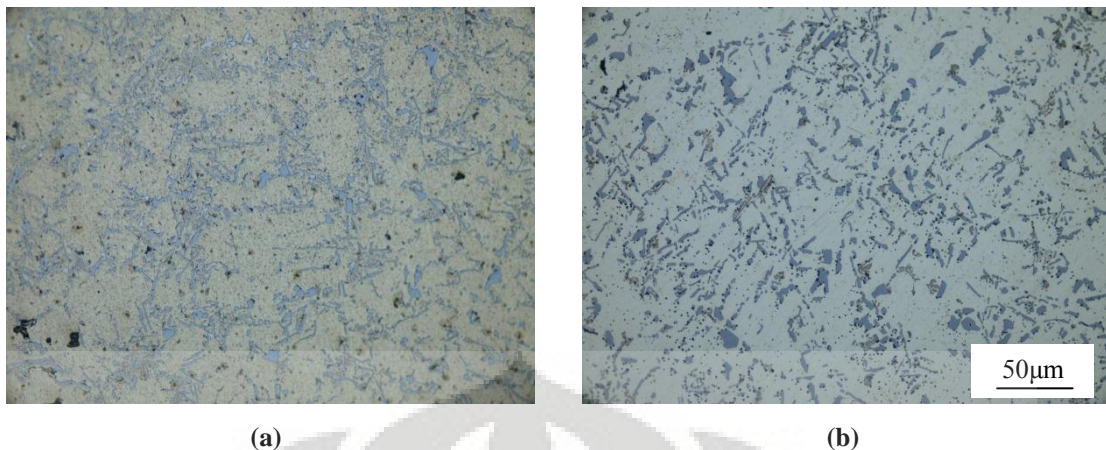
Gambar 4.14 menunjukkan secara umum dengan perlakuan pelarutan yang singkat (30 menit) akan memberikan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu 120 menit. Hal ini dikarenakan dengan waktu yang lebih lama akan melarutkan fasa yang sifatnya menguatkan pada paduan aluminium. Menurut Witthaya^[29], pada paduan AC8A dengan penambahan *modifier* (Sr) kekerasan penuaan tertinggi didapatkan pada perlakuan pelarutan 30 menit, dan kekerasan akan menurun secara perlahan jika waktu tahan ditingkatkan sampai 4 jam. Hal ini terjadi karena partikel Si terlarut menjadi bentuk yang sangat halus.

Gambar 4.14 juga menunjukkan dengan adanya penambahan penghalus butir dan *modifier* mendapatkan kekerasan puncak lebih cepat dibandingkan dengan tanpa penambahan. Hal ini terjadi karena efek penambahan *modifier* yang mempercepat proses perlakuan pelarutan dan juga penghalus butir yang bertindak sebagai salah satu terbentuknya presipitat.

4.4.2 Analisis Struktur Mikro

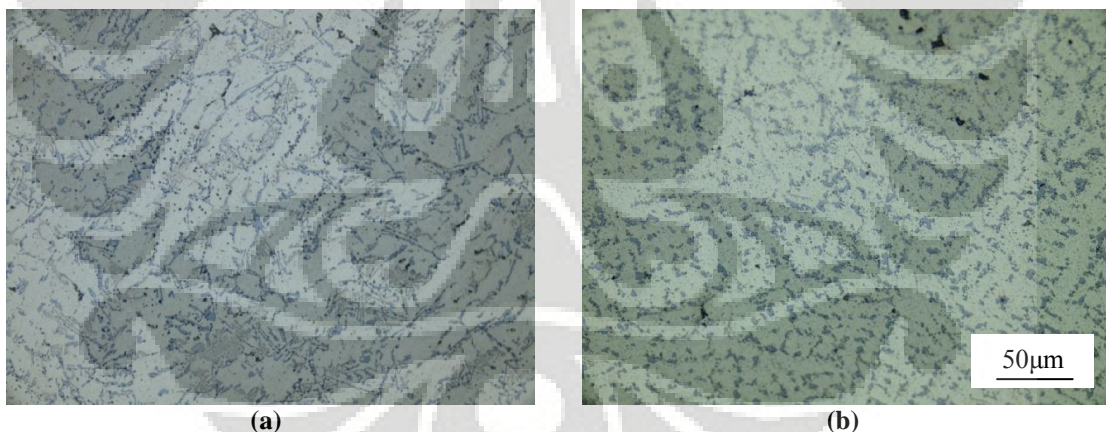
4.4.2.1 Struktur Mikro *As-quench* Menggunakan Mikroskop Optik

Gambar 4.15 menunjukkan struktur mikro hasil pencelupan (*as-quench*) dari perlakuan pelarutan 500 °C dengan waktu tahan 30 menit. Gambar 4.15 (a) struktur mikro paduan AC4B tanpa penambahan, (b) dengan komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr. Dari Gambar 4.15 terlihat stuktur mikro yang kaya akan α -Al dengan fasa-fasa lainnya berada dalam matriks Al. Gambar 4.15 (a) memiliki fasa intermetalik yang dan struktur silikon yang lebih kasar dibandingkan dengan Gambar 4.15 (b). Hal ini dikarenakan penambahan stronsium membuat struktur silikon menjadi lebih halus dan bulat. Dengan dilakukan perlakuan pelarutan maka fasa tersebut yang kasar akan menjadi halus dan terjadi fragmentasi^[29]. Gambar 4.15 (b) memperlihatkan pula fasa-fasa yang lebih halus dibandingkan (a) antara lain Al_5FeSi , $Al(Fe,Mn)Si$, Al_2Cu .



Gambar 4.15 Struktur mikro perlakuan pelarutan 30 menit *as-quench* paduan aluminium AC4B (a) tanpa penambahan (b) komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr etsa Tucker.

Gambar 4.16 menunjukkan struktur mikro hasil pencelupan (*as-quench*) dari perlakuan pelarutan 500 °C dengan waktu tahan 120 menit. Gambar 4.16 (a) stuktur mikro paduan AC4B tanpa penambahan, (b) dengan komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr. Stuktur mikro dengan penambahan penghalus butir dan *modifier* memiliki struktur yang lebih halus dan fasa yang kasar telah fragmentasi menjadi bentuk yang bulat.



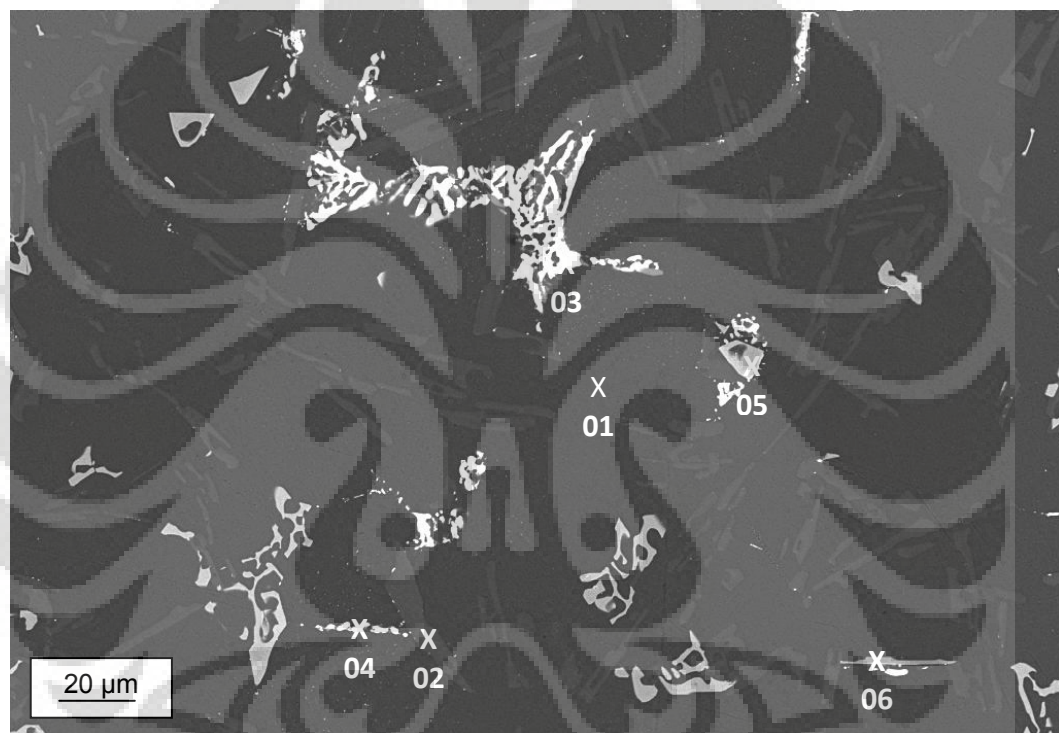
Gambar 4.16 Struktur mikro perlakuan pelarutan 120 menit *as-quench* paduan aluminium AC4B (a) tanpa penambahan (b) komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr etsa Tucker.

Pada Gambar 4.15 dan 4.16 terlihat dengan perlakuan pelarutan yang lebih lama akan menghasilkan fasa-fasa yang memiliki struktur yang lebih halus dibandingkan dengan waktu tahan yang singkat. Perubahan fasa yang lebih bulat akan memberikan sifat keuletan yang lebih baik. Selain itu pada paduan yang telah dilakukan perlakuan pelarutan dengan penambahan penghalus butir dan *modifier* memiliki struktur fasa yang lebih halus dibandingkan tanpa

penambahan. Hal tersebut berpengaruh oleh waktu tahan pelarutan, sehingga paduan dengan penambahan *modifier* akan mempersingkat waktu pelarutan.

4.4.2.2 Struktur Mikro *As-quench* Menggunakan SEM / EDX

Gambar 4.17 menunjukkan struktur mikro hasil pegujian SEM pada paduan aluminium AC4B *as-quench*. Tabel 4.5 memperlihatkan hasil dari pengujian EDX dengan menembakkan beberapa titik pada fasa yang ada pada Gambar 4.17.



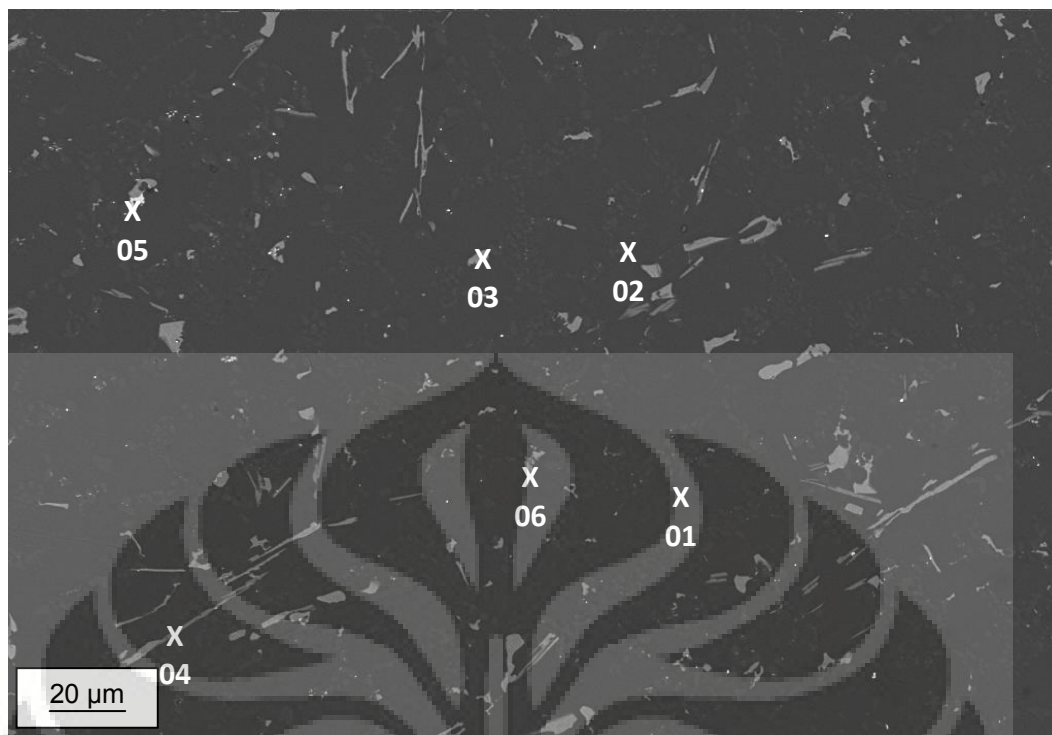
Gambar 4.17 Pengamatan struktur mikro SEM pada paduan AC4B perlakuan pelarutan 500°C selama 30 menit pada kondisi *as-quench*, nomor menunjukkan titik pengujian EDX

Tabel 4.7 Komposisi hasil analisis titik SEM / EDX pada Gambar 4.17

| No | Komposisi | | | | | | | | Warna | Fasa yang Mungkin Terbentuk |
|----|-----------|-------|-------|----|-------|------|-------|------|--------------|--|
| | Al | Si | Cu | Ti | Fe | Mn | Mg | O | | |
| 1 | 91.9 | 1.40 | 5.56 | - | - | - | - | 1.11 | abu-abu tua | matriks Al |
| 2 | 1.00 | 97.80 | - | - | - | - | - | 1.19 | abu-abu tua | Silikon eutektik |
| 3 | 37.6 | 0.97 | 58.30 | - | 2.59 | - | - | 0.49 | putih terang | Al ₂ Cu |
| 4 | 35.40 | 15.30 | 34.60 | - | - | - | 13.50 | 1.14 | putih | Mg ₂ Si, Al ₂ Cu |
| 5 | 50.20 | 6.110 | 15.90 | - | 20.10 | 5.67 | - | 2.12 | abu-abu muda | Al(Fe,Mn)Si, Al ₂ Cu |
| 6 | 57.50 | 11.10 | - | - | 29.70 | - | - | 1.74 | abu-abu muda | Al ₅ FeSi |

Gambar 4.17, fasa yang ditunjukkan dengan nomor 1 diindikasikan sebagai matriks Al. Pada fasa yang ditunjukkan dengan nomor 2 merupakan silikon eutektik. Fasa yang ditunjukkan nomor 3 diindikasikan sebagai Al_2Cu , pada fasa tersebut merupakan daerah yang kaya akan Cu dan belum terlarut pada matrik Al karena bentuknya masih menggumpal. Fasa nomor 4 dari perhitungan komposisi dan jumlah atom diindikasikan fasa Al_2Cu . Fasa nomor 5 diindikasikan sebagai fasa $Al(Fe,Mn)Si$, walaupun kadar Cu cukup tinggi yang dikarenakan distribusi Cu ke fasa tersebut terjadi pada saat proses pelarutan. Fasa nomor 6 diindikasikan sebagai Al_5FeSi .

Gambar 4.18 merupakan hasil pengujian SEM paduan AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan 500 °C selama 30 menit pada kondisi *as-quench*. Tabel 4.6 memperlihatkan hasil dari pengujian EDX dengan menembakkan beberapa titik pada fasa yang ada pada Gambar 4.18. Gambar 4.18, fasa yang ditunjukkan dengan nomor 1 merupakan matriks Al. fasa yang ditunjukkan oleh nomor 2 diindikasikan sebagai silikon eutektik yang bersegregasi dengan Sr dan membentuk butiran yang halus. Fasa nomor 3 diindikasikan sebagai Al_2Cu . Fasa nomor 4 diindikasikan sebagai fasa $Al(Fe,Mn)Si$ yang merupakan fasa intermetalik yang berbentuk seperti jarum tebal. Fasa nomor 5 hasil dari perbandingan jumlah atom dan berat diindikasikan sebagai $Al(Fe,Mn)Si$, walaupun terdapat berat Cu yang cukup besar. Fasa nomor 6 diindikasikan sebagai fasa Al_2Cu .



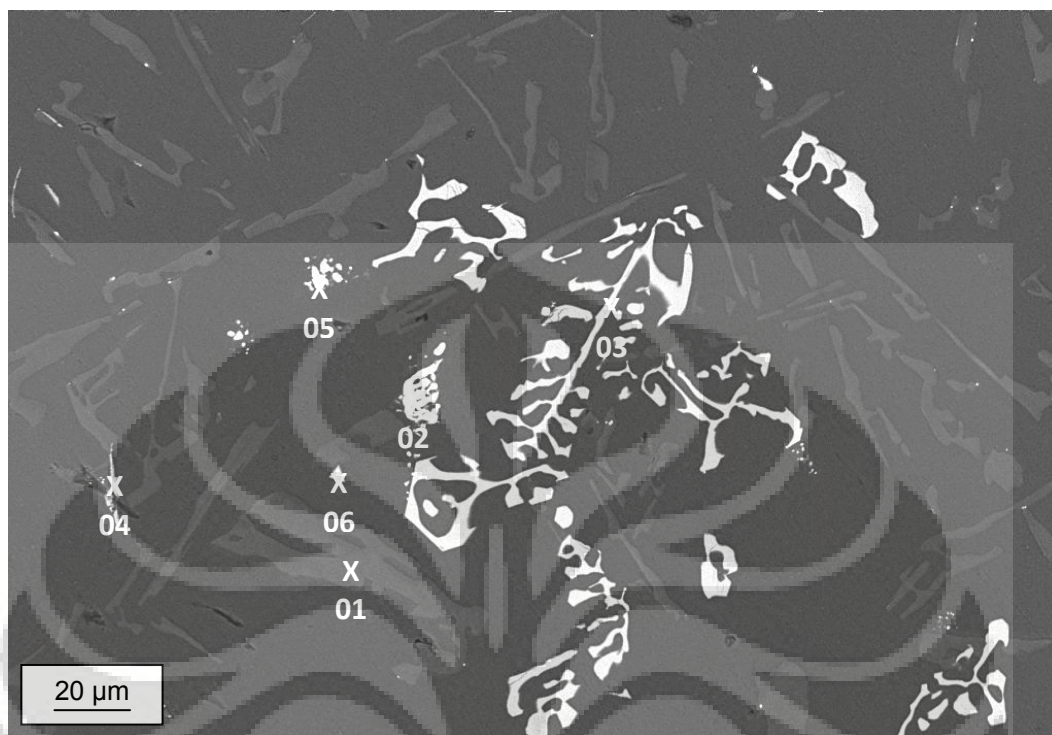
Gambar 4.18 Pengamatan struktur mikro dengan SEM pada paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan 500 °C selama 30 menit pada kondisi *as-quench*, nomor menunjukkan titik pengujian EDX

Tabel 4.8 Komposisi hasil analisis titik SEM / EDX pada Gambar 4.18

| No | Komposisi wt. % | | | | | | | | | Warna | Fasa yang Mungkin Terbentuk |
|----|-----------------|------|-------|----|-------|------|------|------|------|---------------------|------------------------------------|
| | Al | Si | Cu | Ti | Fe | Mn | Cr | C | O | | |
| 1 | 97.20 | 1.63 | 0.45 | - | - | - | - | - | 0.73 | abu-abu tua | Matriks Al |
| 2 | 42.3 | 53.3 | 3.34 | - | - | - | - | - | 1.04 | abu-abu tua | Slikon eutektik |
| 3 | 84.00 | 2.31 | 11.10 | - | 1.33 | - | - | 1.29 | - | abu-abu muda | Al ₂ Cu |
| 4 | 56.60 | 4.96 | 12.50 | - | 18.80 | 6.19 | - | - | 0.98 | abu-abu muda | Al(Fe,Mn)Si |
| 5 | 60.80 | 4.13 | 14.70 | - | 14.10 | 4.34 | 1.00 | - | 0.92 | putih, abu-abu muda | Al ₂ Cu, Al(Fe,Mn)Si |
| 6 | 88.90 | 1.61 | 8.96 | - | - | - | - | - | 0.50 | abu-abu muda | Al ₂ Cu |

Gambar 4.19 merupakan hasil pengujian SEM paduan AC4B dengan perlakuan pelarutan 500 °C selama 1200 menit pada kondisi *as-quench*. Pada Gambar 4.19 fasa yang ditunjukkan nomor 1 diindikasikan sebagai silikon eutektik. Fasa nomor 2 merupakan Al₂Cu yang kaya akan Cu. Fasa nomor 3 merupakan fasa *chinese script* β-Al(Fe,Mn)Si yang sering ditemukan pada paduan aluminium, terlihat fasa tersebut mulai terjadi fragmentasi karena waktu tahan pelarutan 120 menit. fasa nomor 4 dilihat dari struktur berbentuk jarum dan

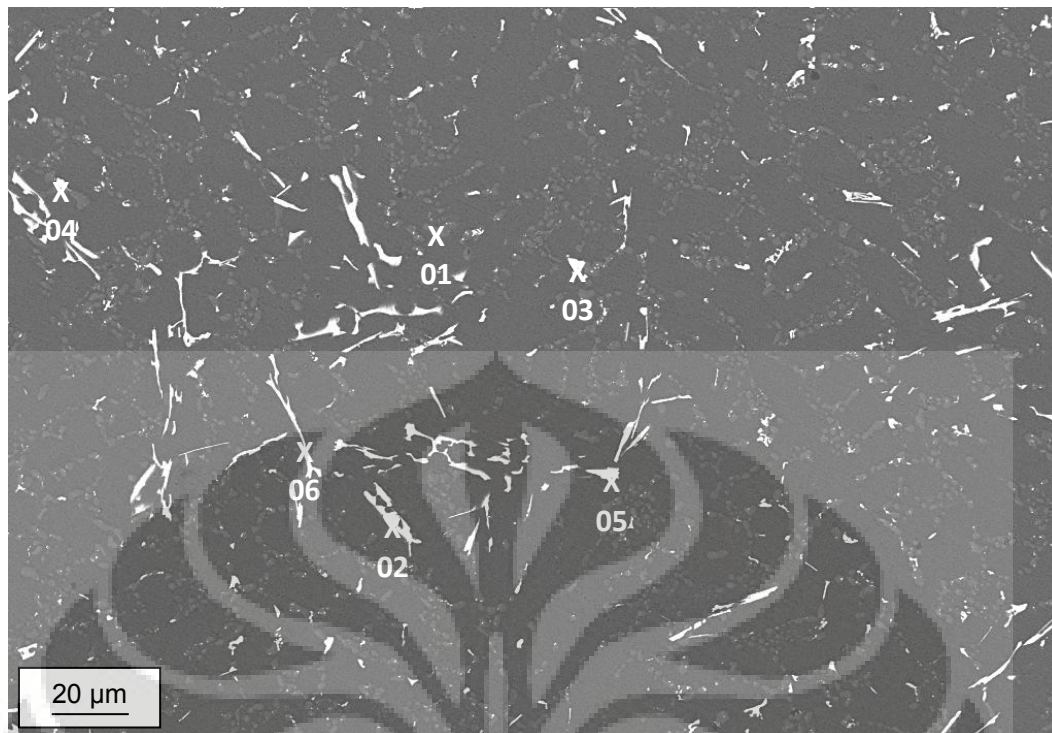
perbandingan atom serta komposisi merupakan diindikasikan sebagai fasa Al_5FeSi . Pada fasa nomor 5 dan 6 diindikasikan sebagai fasa Al_2Cu .



Gambar 4.19 Pengamatan struktur mikro dengan SEM pada paduan AC4B perlakuan pelarutan 500°C selama 120 menit pada kondisi *as-quench*, nomor menunjukkan titik pengujian EDX

Tabel 4.9 Komposisi hasil analisis titik SEM / EDX pada Gambar 4.19

| No | Komposisi wt. % | | | | | | | | Warna | Fasa yang Mungkin Terbentuk |
|----|-----------------|------|------|----|------|-----|----|------|--------------|-----------------------------|
| | Al | Si | Cu | Ti | Fe | Mn | Mg | O | | |
| 1 | 1.91 | 97.3 | - | - | - | - | - | 0.82 | abu-abu tua | Silikon eutektik |
| 2 | 44 | 1.98 | 50.7 | - | - | - | 1 | 2.34 | putih | Al_2Cu |
| 3 | 80.1 | 2.81 | 8.21 | - | 5.31 | 2.6 | - | 1.01 | abu-abu muda | $\beta\text{-Al(Fe,Mn)Si}$ |
| 4 | 86.1 | 2.93 | 7.97 | - | 2.13 | - | - | 0.91 | abu-abu muda | Al_5FeSi |
| 5 | 88.9 | 2.54 | 7.1 | - | - | - | - | 1.45 | putih | Al_2Cu |
| 6 | 90.1 | 1.53 | 7.11 | - | - | - | - | 1.23 | abu-abu muda | Al_2Cu |



Gambar 4.20 Pengamatan struktur mikro dengan SEM pada paduan AC4B dengan Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % perlakuan pelarutan 500 °C selama 120 menit pada kondisi *as-quench*, nomor menunjukkan titik pengujian EDX

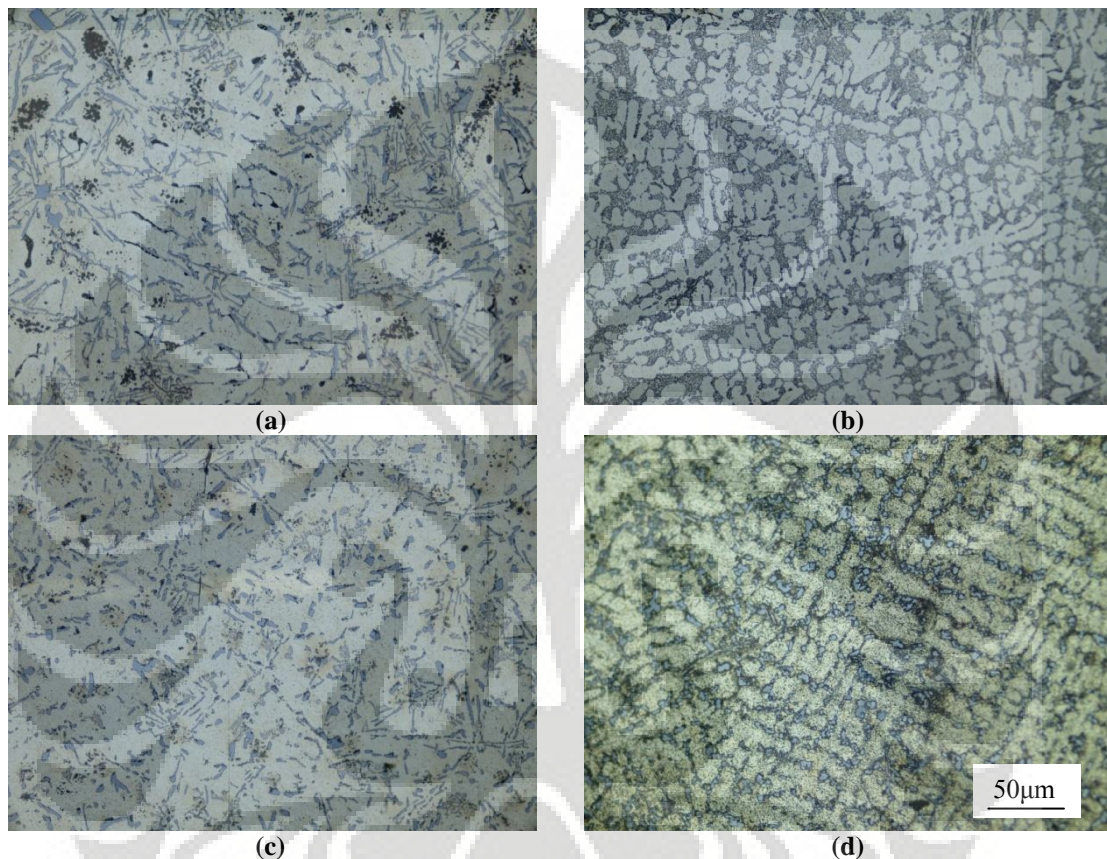
Tabel 4.10 Komposisi hasil analisis titik SEM / EDX pada Gambar 4.20

| No | Komposisi wt. % | | | | | | | | Warna | Fasa yang Mungkin Terbentuk |
|----|-----------------|-------|-------|------|-------|------|------|------|----------------|--|
| | Al | Si | Cu | Ti | Fe | Mn | Cr | O | | |
| 1 | 47.71 | 48.78 | 3.10 | - | - | - | - | 0.43 | abu-abu tua | AlSi, Si eutektik |
| 2 | 51.71 | 8.63 | 12.94 | - | 19.67 | 5.73 | 0.65 | 0.68 | abu-abu muda | Al ₂ Cu, α-Al(Fe,Mn)Si |
| 3 | 90.77 | 1.33 | 7.11 | - | - | - | - | 0.80 | putih | Al ₂ Cu |
| 4 | 53.97 | 38.97 | 6.51 | - | - | - | - | 1.23 | putih, abu-abu | AlSi, Al ₂ Cu |
| 5 | 87.05 | 1.23 | 9.40 | 0.91 | - | - | - | 1.41 | putih | Al ₂ Cu, Al ₃ Ti |
| 6 | 72.01 | 4.44 | 10.98 | 0.25 | 9.23 | 2.31 | - | 0.78 | abu-abu muda | Al ₂ Cu, Al(Fe,Mn)Si |

Gambar 4.20 merupakan hasil pengamatan struktur mikro menggunakan SEM paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr perlakuan pelarutan 500 °C selama 120 menit pada kondisi *as-quench*. Fasa yang ditunjukkan nomor 1 dari perbandingan berat dan jumlah atom merupakan AlSi. Fasa nomor 2 dengan bentuk tajam dan hasil perbandingan komposisi didapatkan merupakan fasa intermetalik Al(Fe,Mn)Si. Fasa nomor 3 diindikasikan sebagai Al₂Cu. Fasa nomor 4 diindikasikan sebagai AlSi, walaupun difasa tersebut terlihat adanya endapan Cu yang berwarna putih. Hal tersebut

kemungkinan Cu berdistribusi pada saat proses perlakuan pelarutan. Fasa nomor 5 diindikasikan sebagai Al_2Cu . fasa nomor 6 diindikasikan sebagai fasa intermetalik $Al(Fe,Mn)Si$.

4.4.2.3 Struktur Mikro *Under-aged*

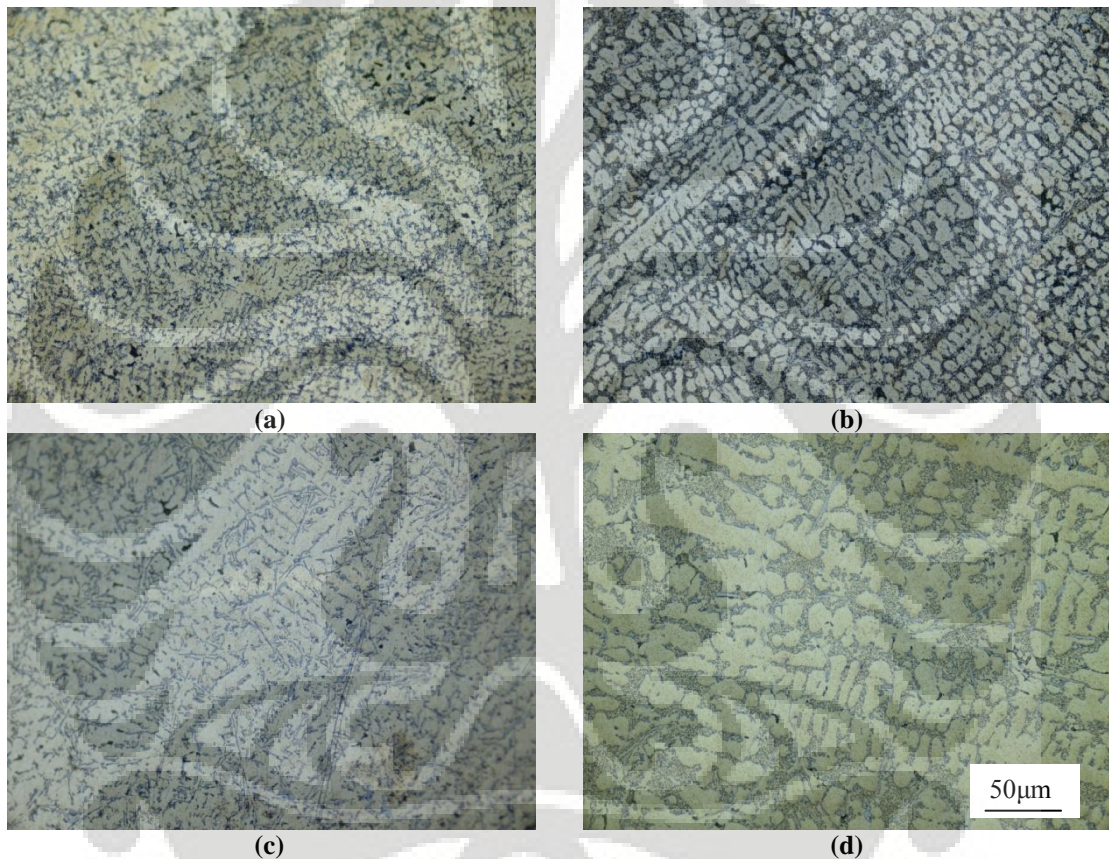


Gambar 4.21 Struktur mikro kondisi *under-aged* paduan aluminium AC4B (a,c) tanpa penambahan (b,d) komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr pada perlakuan pelarutan 30 menit (a,b) dan 120 menit (c,d) etsa Tucker.

Gambar 4.21 menunjukkan kondisi *under-aged* pada waktu penuaan 30 menit paduan aluminium AC4B tanpa penambahan (a,c) dan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr (b,d) pada waktu penuaan 5 menit. Pada Gambar (a,c) dan (b,d) terlihat perbandingan bentuk dendrit dan fasa-fasa interdendritik. Gambar 4.21 (a,c) terlihat memiliki dendrit yang lebih besar dan fasa intermetalik serta silikon eutektik terlihat lebih kasar dibandingkan dengan (b,d), hal ini karena efek penambahan penghalus butir dan *modifier*. Terlihat juga fasa-fasa lain lebih banyak memenuhi ruang-ruang antar dendrit pada paduan AC4B dengan

penambahan penghalus butir dan *modifier*. Gambar 4.21 (a,b) dan (c,d) merupakan perbandingan dari waktu tahan pelarutan. pada struktur mikro dengan waktu tahan yang lebih lama akan membantu menghaluskan fasa-fasa yang terdapat pada paduan aluminium AC4B, sehingga pada proses penuaan akan mudah berdistribusi.

4.4.2.4 Struktur Mikro *Peak-aged*

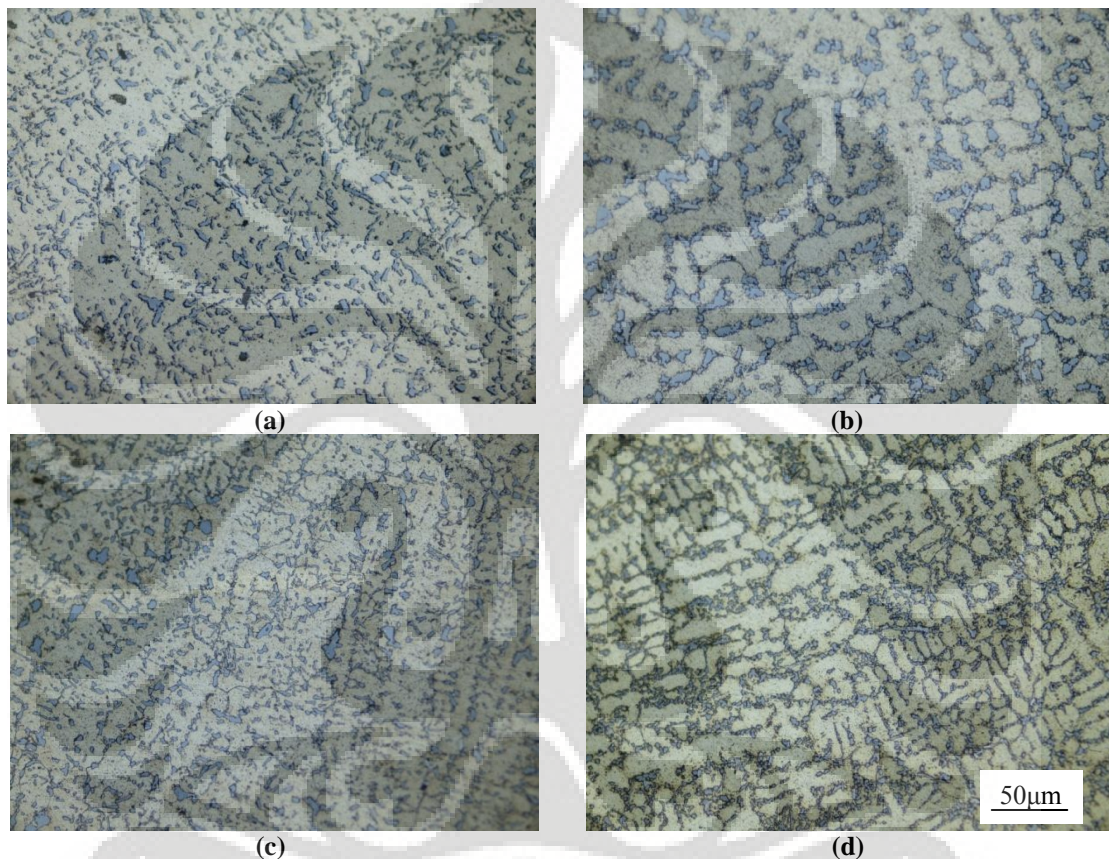


Gambar 4.22 Struktur mikro kondisi *peak-aged* paduan aluminium AC4B (a,c) tanpa penambahan (b,d) komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr pada perlakuan pelarutan 30 menit (a,b) dan 120 menit (c,d) etsa Tucker.

Pada Gambar 4.22 menunjukkan kondisi *peak-aged* pada waktu penuaan 1 jam paduan aluminium AC4B (a,c) tanpa penambahan (b,d) dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr pada waktu penuaan 1 jam. Pada kondisi ini struktur mikro mengalami perubahan pada fasa-fasa yang berubah menjadi lebih pendek dari kondisi *under-aged* dan tersebar pada matrik Al. Selain itu, bentuk dendrit menjadi lebih kecil dan fasa-fasa interdendritik lebih tersebar pada

matriks Al. fasa-fasa kemungkinan yang banyak terdapat diantaranya Al_2Cu , silikon eutektik, $Al(Fe,Mn)Si$. Struktur mikro paduan dengan penambahan penghalus butir dan *modifier* menunjukkan terdapatnya banyak zona diantara dendrit Al dibandingkan dengan tanpa penambahan, kemungkinan fasa tersebut adalah silikon eutektik yang ukuran lebih halus.

4.4.2.5 Struktur Mikro *Over-aged*



Gambar 4.23 Struktur mikro kondisi *over-aged* paduan aluminium AC4B (a,c) tanpa penambahan (b,d) komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr pada perlakuan pelarutan 30 menit (a,b) dan 120 menit (c,d) etsa Tucker.

Gambar 4.23 menunjukkan kondisi *over-aged* pada waktu penuaan 72 jam paduan aluminium AC4B (a,c) tanpa penambahan (b,d) dengan komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr. Pada kondisi ini terjadi fragmentasi pada struktur dendrit dan fasa-fasa interdendritik menjadi lebih halus dan yang fasa yang lebih halus akan hilang masuk kedalam matrik Al. Pada paduan dengan penambahan penghalus butir dan *modifier* (b,d) fragmentasi dari dendrit dapat terlihat lebih kecil dibandingkan dengan tanpa penambahan (a,c).

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

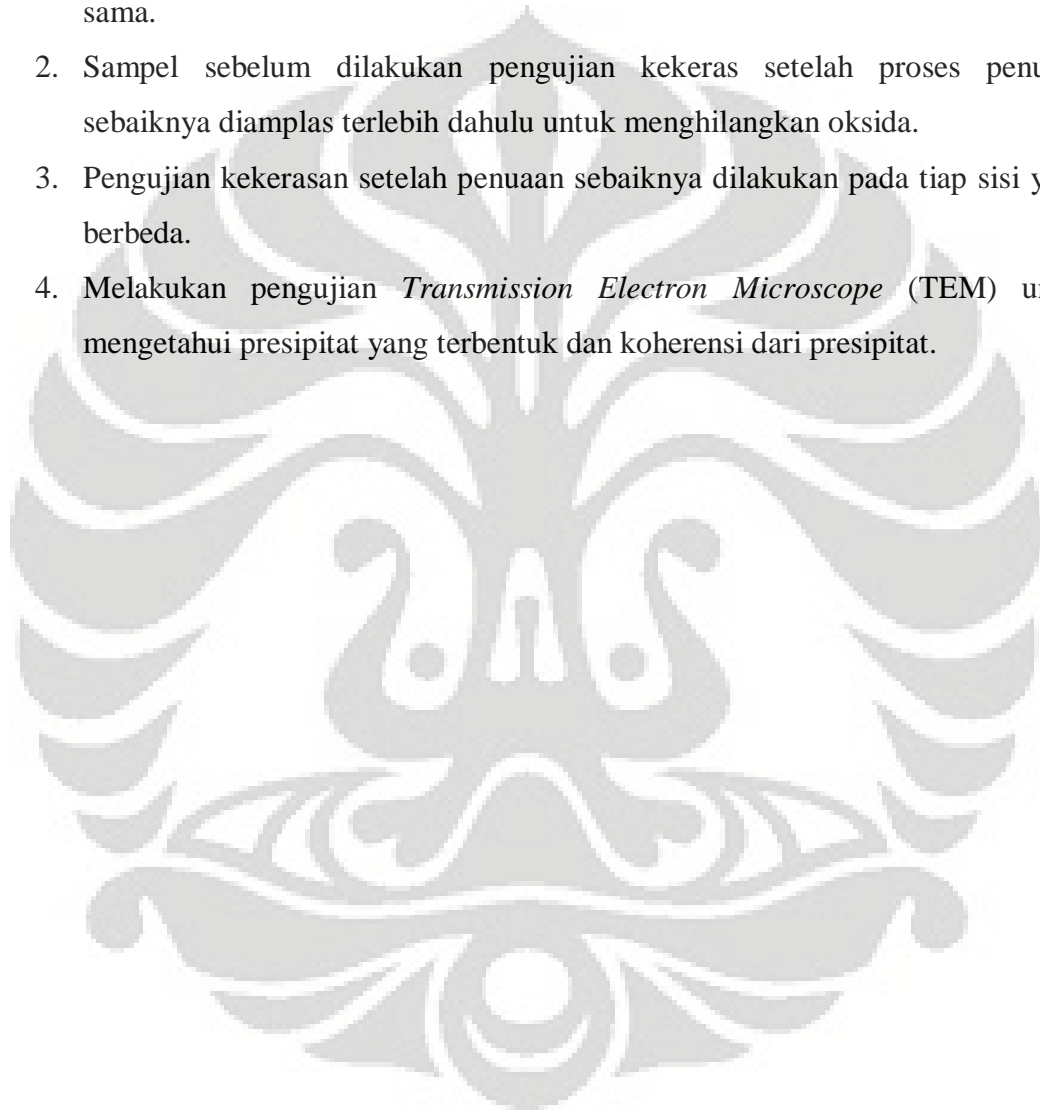
Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan Ti mengubah struktur dendrit Al menjadi ukuran lebih kecil dan penambahan Sr mengubah silikon eutektik dari kasar (tajam) menjadi bentuk lebih halus (bulat).
2. Adanya kandungan Ti dan Sr pada paduan AC4B mempersingkat proses perlakuan pelarutan.
3. Kekerasan pada paduan AC4B hasil penuaan meningkat dengan rata-rata 23 % pada perlakuan pelarutan 480 °C selama 30 menit dan 59 % selama 120 menit. Kekerasan meningkat 43 % pada pelarutan 500 °C selama 30 menit dan 41 % selama 120 menit. Kekerasan meningkat 44 % pada pelarutan 520 °C selama 30 menit dan 43 % selama 120 menit.
4. Kekerasan pada paduan AC4B dengan komposisi 0.078 wt. % Ti dan 0.02 wt. % Sr hasil penuaan meningkat dengan rata-rata 10 % pada perlakuan pelarutan 480 °C selama 30 menit dan 23 % selama 120 menit. Kekerasan meningkat 28 % pada pelarutan 500 °C selama 30 menit dan 26 % selama 120 menit. Kekerasan meningkat 30 % pada pelarutan 520 °C selama 30 menit dan 24 % selama 120 menit.
5. Pada paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.019 wt. % Sr meningkatnya temperatur perlakuan pelarutan mempercepat untuk mendapatkan kekerasan puncak pada proses penuaan.
 - T = 480 °C kekerasan puncak didapat pada waktu penuaan 2 jam.
 - T = 500 °C kekerasan puncak didapat pada waktu penuaan 1 jam.
 - T = 520 °C kekerasan puncak didapat pada waktu penuaan 30 menit.
6. Waktu perlakuan pelarutan yang singkat dapat memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi pada paduan AC4B dengan kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.019 wt. % Sr setelah dilakukannya proses penuaan.

7. Fasa-fasa yang banyak terbentuk pada proses pengerasan penuaan diantaranya Al_2Cu , Al_5FeSi , $\alpha\text{-Al(Fe,Mn)Si}$, $\beta\text{-Al(Fe,Mn)Si}$, dan silikon yang mengalami penghalusan.

5.2 Saran

1. Proses perlakuan panas seharusnya dilakukan dengan dapur dengan tipe yang sama.
2. Sampel sebelum dilakukan pengujian kekerasan setelah proses penuaan sebaiknya diampas terlebih dahulu untuk menghilangkan oksida.
3. Pengujian kekerasan setelah penuaan sebaiknya dilakukan pada tiap sisi yang berbeda.
4. Melakukan pengujian *Transmission Electron Microscope* (TEM) untuk mengetahui presipitat yang terbentuk dan koherensi dari presipitat.



DAFTAR PUSTAKA

1. Falah, M. Azi. *Studi Pengaruh Kombinasi Komposisi 0.02 wt. % Sr dan 0.063, 0.083 dan 0.108 wt. % Ti terhadap Karakteristik Paduan Aluminium AC4B Hasil Proses Low Pressure Die Casting*. Depok : Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. 2009.
2. Gruzleski, John E; Closset, Bernard M. *The Treatment of Liquid Aluminium - Silicon Alloys*. Illinois : American Foundrymen Society, 1999.
3. Golbahar, Benham. *Effect of Grain Refinement – Modification Interaction on performance of A.356.2 Alloy*. Canada : University of Quebec. 2008.
4. ASM Hand book Volume 2: *Properties and Selection Non-Ferrous Alloy and Special Purpose Material*. ASTM International. 1990
5. Smallman. R.E. *Metalurgi Fisik Modern edisi keempat* terjemahan Sriati Djaprie, Bustanul Arifin, Myrna A. Gramedia : Jakarta. 1991.
6. Samuel, A.M. Liu L. Samuel, F.H. Doty. Valtiera. *Characteristic of α dendritic and eutectic structure in Sr treated Al-Si containing Alloy*. Journal of Material Science. 38. 2004. 4507 – 4522.
7. Suharno, Bambang. *Slide Kuliah: Pengecoran Logam*. Depok: Departemen Metalurgi dan Material UI. 2007.
8. Backeurd, Lennart; Chai, Goucai; Tamminen, Jarmo. *Solidification Characteristics of Aluminium Alloys : Volume 2 Foundry Alloys*. Stockholm : Skan Aluminium. 1990.
9. Hatch, John E. *Aluminium Properties and Physical Metallurgy*. American Society for Metals : Metal Parks, Ohio. 1995
10. JIS Handbook. *Non Ferrous Metals & Metallurgy*. Tokyo: Japanese Standard Association. 1977.
11. Jorstad, John.L; Rasmussen, Wayne.M. *Aluminum Casting Technology-2nd edition*. Illinois: The American Foundry Society. 1993.
12. Davis, J.R. *Alloying: Understanding The Basic*. Ohio: ASM International. 2001.

13. ASM International. *ASM Specialty Handbook : Aluminum and Aluminum Alloys*. Ohio: American Society for Metals. 1993.
14. Apelian, D. *Aluminum Cast Alloys : Enabling Tools for Improved Performance*. Illinois : North American Die Casting Assosiation. 2009.
15. ASM Handbook Volume 4 : *Heat Treating*. ASM International. 1991.
16. Kaufman, J. Gilbert, Elwin L Rooy. *Aluminum Casting Alloy: Properties, Process, and Applications*. ASM International. 2005
17. <http://en.wikipedia.org/wiki/Strontium> (diakses 6 November 2009)
18. <http://id.wikipedia.org/wiki/Titanium> (diakses 6 November 2009)
19. Russel, Alan M; Kok Loong Lee. *Structure-Property Relations In Non-Ferrous Metals*. John Wiley and Sons, Inc : New Jersey. 2005.
20. Callister, William D. *Material Science and Engineering An Introduction 6th Edition*. John Wiley & Sons, Inc : New York. 2003.
21. Abdulwahab. *Studies of the Mechanical Properties of Age-hardened Al-Si-Fe-Mn Alloy*. Department of Metallurgical and Materials Engineering, Ahmadu Bello University :Zaria:Nigeria. 2008.
22. <http://images.google.co.id/imglanding?q=phase%20diagram%20Al-Cu>. (diakses 23 April 2010)
23. Dingfei, Zhang. *Microstucture Evolution of Cast Al-Si-Cu Alloy in Solution Treatment*. *DOI Journal International Volume 3 No. 2*. 2006
24. Tillova, E, M. Panuskova. *Effect of Solution Treatment on Intermetallic Phases Morphology in AlSi₉Cu₃ Cast Alloy*. *Metalurgija*. 47. 2008. 207 – 210.
25. Porter, David A & Easterling, Kenneth E. *Phase Transformation in Metals and Alloy*. Van Nostrand Reinhold : UK. 1992.
26. Mangonon, Pat L. *The Principal of Material Selection for Engineering Design*. Prentice Hall. International Inc : New Jersey. 1999.
27. Samuel, A.M. Liu L. Samuel, F.H. Doty. Valtiera. *Characteristic of α dendritic and eutectic structure in Sr treated Al-Si containing Alloy*. *Journal of Material Science*. 38. 2003. 4507 - 4522.
28. Murizam. D & J.B. Shamsul. *Effect of Solution Treatment Temperature on Recycled Aluminium Alloy 319*. *ICoSM*. 2007. 226 – 228.

29. Eidhed, Witthaya. *Effects of Solution Treatment Time and Sr-Modification on Micostructure and Mechanical Properties of Al-Si Piston Alloy*. Journal Material Science Technology Volume 24. 2008. 29 -32.
30. Baskoro, Adhi. *Studi Penambahan 0.1, 0.5, 1, dan 2 wt. % Sn Terhadap Proses Pengerasan Pengendapan Pada Paduan AC2B dengan Pengamatan Lebih Mendalam Pada 0.5 wt. % Sn*. Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. 2005.
31. <http://www.eoearth.org/article> (diakses 7 juli 2010)



Lampiran 1 : Hasil Pengujian Komposisi Kimia



CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA

LABORATORIUM UJI MATERIAL

Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia

Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 78888 111, 7872 350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id, cmpfa.ui@gmail.com

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA COMPOSITION TEST REPORT

Page 1 of 4

| | | | |
|------------------------------------|---|---|-------------------------------|
| No Laporan <i>Report Nr</i> | 0281 R | Bahan <i>Material</i> | Aluminum |
| Pemakai Jasa <i>Customer</i> | Mashudi Darta | Identitas Bahan <i>Material Identity</i> | Normal |
| Alamat <i>Address</i> | Departemen Metalurgi & Material FTUI | Tanggal Terima <i>Receiving Date</i> | March 8 th , 2010 |
| No Kontrak <i>Contract Nr.</i> | 0281/PT.02/FT04/P/2010 | Standar <i>Standard</i> | ASTM E 34-94 |
| Tanggal Uji <i>Date of Test</i> | March 11 th , 2010 | Mesin Uji <i>Testing machine</i> | Optical Emission Spectrometer |

| Kode Sampel <i>Sample Code</i> | Si (%) | Fe (%) | Cu (%) | Mn (%) | Mg (%) | Zn (%) | Sr (%) |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Normal | 9.58 | 0.746 | 2.78 | 0.307 | 0.261 | 0.555 | <0.0001 |
| | Ti (%) | Cr (%) | Ni (%) | Pb (%) | Sn (%) | V (%) | Al (%) |
| | 0.028 | 0.018 | 0.068 | 0.050 | 0.023 | 0.010 | 85.50 |

Depok, March 12th, 2010
LABORATORIUM UJI MATERIAL
Technical Manager,



(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

Universitas Indonesia

(Lanjutan)



CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI MATERIAL

Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
 Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 78888 111, 7872 350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id, cmpfa.ui@gmail.com

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 3 of 4

| | | | |
|---|---|--|-------------------------------|
| No Laporan <i>Report Nr</i> | 0281 R | Bahan <i>Material</i> | Aluminum |
| Pemakai Jasa <i>Customer</i> | Mashudi Darti | Identitas Bahan <i>Material Identity</i> | 0.083% Wt Ti |
| Alamat <i>Address</i> | Departemen Metalurgi & Material FTUI | Tanggal Terima <i>Receiving Date</i> | March 8 th , 2010 |
| No Kontrak <i>Contract Nr.</i> | 0281/PT.02/FT04/P/2010 | Standar <i>Standard</i> | ASTM E 34-94 |
| Tanggal Uji <i>Date of Test</i> | March 11 th , 2010 | Mesin Uji <i>Testing machine</i> | Optical Emission Spectrometer |

| Kode Sampel <i>Sample Code</i> | Si (%) | Fe (%) | Cu (%) | Mn (%) | Mg (%) | Zn (%) | Sr (%) |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.083% Wt Ti | 9.28 | 0.668 | 2.61 | 0.258 | 0.223 | 0.693 | 0.019 |
| | Ti (%) | Cr (%) | Ni (%) | Pb (%) | Sn (%) | V (%) | Al (%) |
| | 0.078 | 0.019 | 0.065 | 0.057 | 0.030 | 0.009 | 85.9 |

Depok, March 12th, 2010

LABORATORIUM UJI MATERIAL

Technical Manager,

(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

Lampiran 2 : Hasil Pengujian Kekerasan

Paduan AC4B T = 480 °C

| Waktu tahan | 30 menit | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| AC4B | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 31.2 | 29.8 | 30.4 | 31.2 | 30.2 | 30.56 | 0.6229 |
| | 0.08333333 | 30.9 | 32.1 | 28.3 | 34.9 | 34.2 | 32.08 | 2.6518 |
| | 0.25 | 33.4 | 31.3 | 33.9 | 32.1 | 32.8 | 32.7 | 1.032 |
| | 0.5 | 34.3 | 32.3 | 33.5 | 33.8 | 35.2 | 33.82 | 1.0663 |
| | 1 | 34.5 | 36.5 | 35.8 | 35.6 | 35.3 | 35.54 | 0.7301 |
| | 2 | 38.8 | 38.9 | 39.6 | 38.2 | 36.9 | 38.48 | 1.0134 |
| | 4 | 51.8 | 48.6 | 51.5 | 50.2 | 52.4 | 50.9 | 1.5166 |
| | 6 | 46.7 | 47.9 | 45.7 | 49.7 | 47.8 | 47.56 | 1.496 |
| | 8 | 38.2 | 39.2 | 39.9 | 41.6 | 41.4 | 40.06 | 1.4484 |
| | 24 | 36.3 | 35.4 | 33.7 | 35.1 | 34.8 | 35.06 | 0.945 |
| | 48 | 36.9 | 34.9 | 33.5 | 34.2 | 36.2 | 35.14 | 1.4011 |
| | 72 | 39.7 | 34.6 | 38.4 | 35.5 | 34.2 | 36.48 | 2.4366 |
| 96 | 34.6 | 34.8 | 35.6 | 35.7 | 36.8 | 35.5 | 0.8718 | |

| Waktu tahan | 120 menit | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| AC4B | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 30.2 | 31.2 | 30.4 | 29.8 | 30.3 | 30.38 | 0.512 |
| | 0.08333333 | 38.3 | 38.4 | 36 | 33 | 29.8 | 35.1 | 3.689 |
| | 0.25 | 60 | 61.4 | 58.4 | 54.5 | 60 | 58.86 | 2.659 |
| | 0.5 | 62 | 57.2 | 60 | 64.7 | 55.1 | 59.8 | 3.799 |
| | 1 | 68.3 | 63.5 | 63.3 | 68.4 | 67 | 66.1 | 2.527 |
| | 2 | 58.3 | 64.7 | 65.4 | 65.5 | 68.2 | 64.42 | 3.672 |
| | 4 | 61.2 | 60.4 | 62.5 | 60.3 | 61.6 | 61.2 | 0.908 |
| | 6 | 59.7 | 61.2 | 59.4 | 60.4 | 58.9 | 59.92 | 0.898 |
| | 8 | 58.5 | 57.3 | 60.6 | 60.9 | 59.8 | 59.42 | 1.506 |
| | 24 | 47 | 44.3 | 51 | 50.5 | 50.2 | 48.6 | 2.871 |
| | 48 | 40.7 | 42.1 | 43.6 | 41.2 | 42.3 | 41.98 | 1.117 |
| | 72 | 43.8 | 37.9 | 43 | 43.4 | 38.1 | 41.24 | 2.972 |
| 96 | 31 | 36.7 | 38.6 | 34.5 | 36.2 | 35.4 | 2.861 | |

(Lanjutan)

Paduan AC4B T = 500 °C

| Waktu tahan | 30 menit | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| AC4B | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 29.3 | 30.1 | 31.1 | 30.2 | 30.1 | 30.16 | 0.6387 |
| | 0.08333333 | 30.3 | 31.6 | 29.1 | 32.5 | 30.6 | 30.82 | 1.295 |
| | 0.25 | 34.8 | 36.6 | 34.8 | 35.6 | 38.8 | 36.12 | 1.6709 |
| | 0.5 | 37.7 | 36.1 | 35.4 | 35.4 | 32.6 | 35.44 | 1.8447 |
| | 1 | 46.1 | 43.1 | 43.9 | 47.7 | 47.5 | 45.66 | 2.0852 |
| | 2 | 44.1 | 46.1 | 49.2 | 47.5 | 47.9 | 46.96 | 1.9437 |
| | 4 | 48 | 53.3 | 50.2 | 51 | 51.3 | 50.76 | 1.9191 |
| | 6 | 52.9 | 52.6 | 50.3 | 52 | 53.3 | 52.22 | 1.1735 |
| | 8 | 57.9 | 59.9 | 60.2 | 56.7 | 61.3 | 59.2 | 1.8601 |
| | 24 | 55.9 | 58.3 | 50.3 | 56.1 | 61.9 | 56.5 | 4.2237 |
| | 48 | 50 | 48.3 | 48.2 | 50.9 | 49.7 | 49.42 | 1.1563 |
| | 72 | 44.1 | 46 | 44.4 | 45.2 | 44.5 | 44.84 | 0.7635 |
| | 96 | 39.3 | 45 | 45.3 | 46.8 | 44.5 | 44.18 | 2.8595 |

| Waktu tahan | 120 menit | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| AC4B | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 29.8 | 30.2 | 28.7 | 29.2 | 30.4 | 29.66 | 0.70569 |
| | 0.08333333 | 42.2 | 41.8 | 43.5 | 43.3 | 42.5 | 42.66 | 0.72319 |
| | 0.25 | 47.4 | 45.5 | 47.5 | 45.5 | 44.5 | 46.08 | 1.31605 |
| | 0.5 | 50.2 | 53.1 | 53.5 | 52.7 | 49.5 | 51.8 | 1.81934 |
| | 1 | 51.4 | 52.1 | 53.2 | 51.6 | 52.4 | 52.14 | 0.71274 |
| | 2 | 57.6 | 56.5 | 55.4 | 55.6 | 55.2 | 56.06 | 0.99398 |
| | 4 | 58.7 | 57.4 | 58.9 | 59.3 | 58.6 | 58.58 | 0.71204 |
| | 6 | 57.1 | 58.3 | 58.2 | 58.5 | 59.1 | 58.24 | 0.72664 |
| | 8 | 49.8 | 49.9 | 52.3 | 54.8 | 51.4 | 51.64 | 2.05499 |
| | 24 | 46.4 | 45.6 | 46.2 | 48.9 | 52.8 | 47.98 | 2.97523 |
| | 48 | 49.2 | 48.9 | 48.7 | 49.8 | 47.5 | 48.82 | 0.84676 |
| | 72 | 44.5 | 43.9 | 40.6 | 42.5 | 44.7 | 43.24 | 1.70822 |
| | 96 | 40 | 38.3 | 36.4 | 37.2 | 38.7 | 38.12 | 1.38816 |

(Lanjutan)

Paduan AC4B T = 520 °C

| Waktu tahan | 30 menit | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| AC4B | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 32.7 | 33.5 | 32.4 | 30.1 | 32.1 | 32.16 | 1.2641 |
| | 0.083333333 | 53.2 | 53.3 | 52.3 | 50.4 | 52.2 | 52.28 | 1.1649 |
| | 0.25 | 60 | 57.9 | 59 | 57.2 | 57.1 | 58.24 | 1.2422 |
| | 0.5 | 61.1 | 61.4 | 57.4 | 60.2 | 57.8 | 59.58 | 1.866 |
| | 1 | 61.6 | 56.2 | 59.4 | 58.9 | 61.3 | 59.48 | 2.1742 |
| | 2 | 61.8 | 59.1 | 56.9 | 60.3 | 58 | 59.22 | 1.9176 |
| | 4 | 57.7 | 58.2 | 58.4 | 57.8 | 59.4 | 58.3 | 0.6782 |
| | 6 | 58.2 | 57.9 | 58.2 | 56.7 | 57.2 | 57.64 | 0.6656 |
| | 8 | 56.7 | 56 | 54.3 | 55.6 | 53.5 | 55.22 | 1.2988 |
| | 24 | 51.9 | 53.5 | 52.4 | 55.3 | 53.8 | 53.38 | 1.3255 |
| | 48 | 41.4 | 39.4 | 39.6 | 43.4 | 39.7 | 40.7 | 1.7088 |
| | 72 | 35.9 | 38.5 | 45.8 | 46.8 | 35.1 | 40.42 | 5.5242 |
| | 96 | 34.2 | 39.1 | 37.5 | 40.5 | 38.2 | 37.9 | 2.3527 |

| Waktu tahan | 120 menit | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| AC4B | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 28.8 | 29.2 | 28.5 | 26.9 | 27.5 | 28.18 | 0.952365 |
| | 0.083333333 | 49.5 | 46.7 | 48.7 | 46.7 | 47.9 | 47.9 | 1.232883 |
| | 0.25 | 56.9 | 57.5 | 55.1 | 57.7 | 57.8 | 57 | 1.118034 |
| | 0.5 | 59.4 | 58.5 | 60 | 59.6 | 59.7 | 59.44 | 0.568331 |
| | 1 | 58.8 | 56.9 | 58.9 | 59.7 | 58 | 58.46 | 1.059717 |
| | 2 | 60.4 | 59.3 | 58.7 | 59.5 | 59.5 | 59.48 | 0.609918 |
| | 4 | 60.2 | 57.7 | 59.1 | 55.5 | 59.5 | 58.4 | 1.860108 |
| | 6 | 60.2 | 56.4 | 57.2 | 59 | 57.1 | 57.98 | 1.569076 |
| | 8 | 55.1 | 54.4 | 56.3 | 53.5 | 55.4 | 54.94 | 1.054988 |
| | 24 | 54.2 | 55.6 | 53.7 | 53.6 | 55.3 | 54.48 | 0.920326 |
| | 48 | 47.7 | 42.8 | 45.2 | 45.8 | 45.6 | 45.42 | 1.752712 |
| | 72 | 34.9 | 48.9 | 37.7 | 40.1 | 37.9 | 39.9 | 5.359104 |
| | 96 | 38.7 | 36.5 | 38.8 | 35.1 | 36.8 | 37.18 | 1.570669 |

(Lanjutan)

Paduan AC4B Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.019 wt. % Sr T = 480 °C.

| Waktu tahan | 30 menit | | | | | | | |
|----------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| AC4B + Ti + Sr | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 30.2 | 34.5 | 33.2 | 35.2 | 33.5 | 33.32 | 1.9176 |
| | 0.083333333 | 35.6 | 37.4 | 37.8 | 38.4 | 37.6 | 37.36 | 1.0526 |
| | 0.25 | 41.1 | 41.7 | 39.9 | 38.6 | 36.5 | 39.56 | 2.0828 |
| | 0.5 | 47.9 | 37.9 | 49.8 | 53.4 | 47.4 | 47.28 | 5.7487 |
| | 1 | 48.5 | 47.8 | 51.8 | 57.3 | 54.5 | 51.98 | 4.0084 |
| | 2 | 56.4 | 58.9 | 52.3 | 52.9 | 47.8 | 53.66 | 4.2347 |
| | 4 | 50 | 48.3 | 50.1 | 49.4 | 51.1 | 49.78 | 1.0281 |
| | 6 | 43.4 | 42.4 | 42.9 | 42.2 | 42.2 | 42.62 | 0.5215 |
| | 8 | 33.8 | 44.8 | 36.2 | 45.4 | 45.9 | 41.22 | 5.7543 |
| | 24 | 35 | 40 | 41 | 41.3 | 43.7 | 40.2 | 3.2086 |
| | 48 | 39.5 | 39.2 | 37.6 | 37.5 | 38.2 | 38.4 | 0.9138 |
| | 72 | 38.5 | 41.8 | 40.3 | 37.2 | 36.2 | 38.8 | 2.2727 |
| | 96 | 36.6 | 35.7 | 36.8 | 37.1 | 36.8 | 36.6 | 0.5339 |

| Waktu tahan | 120 menit | | | | | | | |
|----------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| AC4B + Ti + Sr | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 30.2 | 32.3 | 31.1 | 30.9 | 30.5 | 31 | 0.806 |
| | 0.083333333 | 38 | 41.9 | 37.7 | 39 | 37 | 38.72 | 1.918 |
| | 0.25 | 56.3 | 55.4 | 55.2 | 57.4 | 59.1 | 56.68 | 1.608 |
| | 0.5 | 58.6 | 60.3 | 61.4 | 60.6 | 57 | 59.58 | 1.767 |
| | 1 | 57.1 | 58 | 56.4 | 59.6 | 58.1 | 57.84 | 1.205 |
| | 2 | 60.4 | 58.3 | 61.5 | 61.5 | 58.7 | 60.08 | 1.517 |
| | 4 | 54.4 | 54.5 | 52.7 | 55.9 | 56.9 | 54.88 | 1.601 |
| | 6 | 54.8 | 52.9 | 53.1 | 53.5 | 54.6 | 53.78 | 0.87 |
| | 8 | 52.2 | 52.2 | 55.3 | 56.8 | 51 | 53.5 | 2.437 |
| | 24 | 56.7 | 55.1 | 52.5 | 50.7 | 54.4 | 53.88 | 2.331 |
| | 48 | 39.8 | 35.2 | 35.8 | 42.5 | 35.7 | 37.8 | 3.212 |
| | 72 | 37.5 | 36.7 | 38.7 | 40.5 | 37.2 | 38.12 | 1.521 |
| | 96 | 34.9 | 37.9 | 37.6 | 36.2 | 39.2 | 37.16 | 1.653 |

(Lanjutan)

Paduan AC4B Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.019 wt. % Sr T = 500 °C.

| Waktu tahan | 30 menit | | | | | | | |
|----------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| AC4B + Ti + Sr | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 30.2 | 29.8 | 32.5 | 31.7 | 32.4 | 31.32 | 1.2518 |
| | 0.083333333 | 33.5 | 34.2 | 35.2 | 33.5 | 35.9 | 34.46 | 1.0644 |
| | 0.25 | 57.6 | 58.1 | 57.8 | 57.4 | 52.4 | 56.66 | 2.3954 |
| | 0.5 | 54.5 | 58.1 | 58.6 | 57 | 56.3 | 56.9 | 1.6171 |
| | 1 | 61.9 | 60.9 | 60.6 | 60.7 | 61.5 | 61.12 | 0.5586 |
| | 2 | 57.7 | 56.6 | 57.8 | 54 | 57.2 | 56.66 | 1.5614 |
| | 4 | 59.7 | 58.5 | 59.6 | 61.7 | 62 | 60.3 | 1.495 |
| | 6 | 59.2 | 59.1 | 59.6 | 59.4 | 57.6 | 58.98 | 0.795 |
| | 8 | 63.3 | 60.3 | 61.8 | 61.6 | 64.4 | 62.28 | 1.5928 |
| | 24 | 49.5 | 53.3 | 54.3 | 57 | 58.3 | 54.48 | 3.4339 |
| | 48 | 47.7 | 48 | 48.1 | 49 | 48.7 | 48.3 | 0.5339 |
| | 72 | 38.5 | 36 | 36 | 39 | 37.3 | 37.36 | 1.3867 |
| | 96 | 35.1 | 35.8 | 33.6 | 33.3 | 36.5 | 34.86 | 1.3831 |

| Waktu tahan | 120 menit | | | | | | | |
|----------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| AC4B + Ti + Sr | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 30.5 | 30.1 | 31.5 | 29.8 | 31.1 | 30.6 | 0.7 |
| | 0.083333333 | 45.1 | 42.7 | 44.2 | 44.8 | 42.2 | 43.8 | 1.28647 |
| | 0.25 | 55.4 | 53.2 | 53.3 | 53.4 | 53.1 | 53.68 | 0.96799 |
| | 0.5 | 54.1 | 56.2 | 58.6 | 55.2 | 55.5 | 55.92 | 1.67839 |
| | 1 | 60.5 | 62.3 | 63.1 | 62.5 | 62.7 | 62.22 | 1.00598 |
| | 2 | 57.5 | 58.7 | 58.6 | 55.6 | 57.2 | 57.52 | 1.25976 |
| | 4 | 57.6 | 56.1 | 57.2 | 55.3 | 56.4 | 56.52 | 0.9094 |
| | 6 | 56.5 | 56.8 | 54.5 | 50.8 | 50 | 53.72 | 3.1697 |
| | 8 | 44.7 | 45 | 47 | 48 | 46 | 46.14 | 1.37768 |
| | 24 | 46.5 | 46.3 | 47.8 | 44 | 47.9 | 46.5 | 1.57639 |
| | 48 | 44.7 | 45.2 | 43.2 | 43.7 | 45.3 | 44.42 | 0.93113 |
| | 72 | 45.1 | 43.4 | 42.8 | 42.6 | 43.1 | 43.4 | 0.9975 |
| | 96 | 37.1 | 38.4 | 39.5 | 36.8 | 35.6 | 37.48 | 1.50566 |

(Lanjutan)

Paduan AC4B Kandungan 0.078 wt. % Ti dan 0.019 wt. % Sr T = 520 °C.

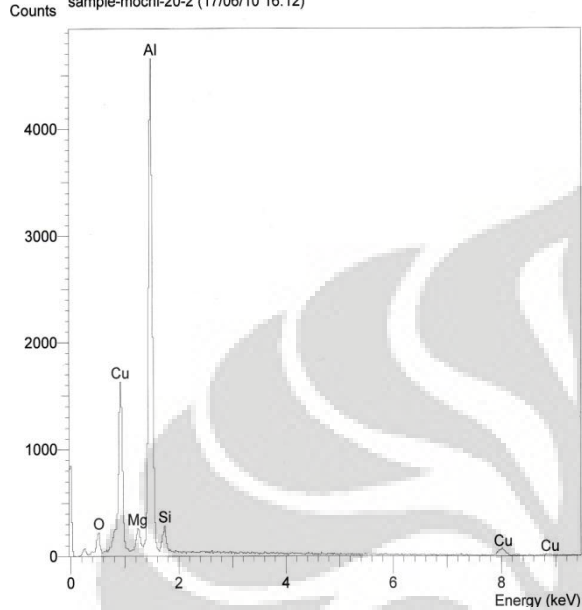
| Waktu tahan | 30 menit | | | | | | | |
|----------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| AC4B + Ti + Sr | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 30 | 33.1 | 33.3 | 28 | 28.7 | 30.62 | 2.4631 |
| | 0.083333333 | 36.9 | 36.1 | 36.9 | 35.7 | 35.3 | 36.18 | 0.7155 |
| | 0.25 | 54.5 | 59.7 | 58.5 | 59 | 60.6 | 58.46 | 2.3501 |
| | 0.5 | 60.7 | 62.6 | 63.7 | 62.7 | 57.9 | 61.52 | 2.2961 |
| | 1 | 61.9 | 64.6 | 64.7 | 61.8 | 63.1 | 63.22 | 1.4025 |
| | 2 | 63.6 | 63.7 | 64.7 | 59.9 | 58.1 | 62 | 2.8443 |
| | 4 | 57.6 | 56.1 | 57.2 | 56.5 | 57.6 | 57 | 0.6745 |
| | 6 | 50 | 54.5 | 53.9 | 55.5 | 53.2 | 53.42 | 2.0897 |
| | 8 | 50.4 | 52.7 | 50.2 | 50 | 53.8 | 51.42 | 1.721 |
| | 24 | 50.8 | 51.1 | 49.1 | 52.1 | 51.6 | 50.94 | 1.1415 |
| | 48 | 40.4 | 44.2 | 47.2 | 39.4 | 45.8 | 43.4 | 3.3853 |
| | 72 | 39.6 | 35.9 | 30.9 | 36.7 | 38.2 | 36.26 | 3.3156 |
| | 96 | 35.4 | 37.5 | 39.5 | 33.2 | 34.7 | 36.06 | 2.4684 |

| Waktu tahan | 120 menit | | | | | | | |
|----------------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|-----------------|
| Paduan | Waktu penuaan (jam) | Kekerasan (HRB) | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Rata-rata | Standar Deviasi |
| AC4B + Ti + Sr | 0.02 (<i>as-quenced</i>) | 29.1 | 28.6 | 29.9 | 28.3 | 29.2 | 29.02 | 0.614003 |
| | 0.083333333 | 53.2 | 54.4 | 50.3 | 52.7 | 52.1 | 52.54 | 1.51096 |
| | 0.25 | 59.1 | 63.1 | 56 | 59.1 | 64.4 | 60.34 | 3.391607 |
| | 0.5 | 56.5 | 63.4 | 55.8 | 65.8 | 59.9 | 60.28 | 4.321689 |
| | 1 | 53.3 | 60.1 | 56.1 | 60.1 | 58.5 | 57.62 | 2.917533 |
| | 2 | 57.3 | 56.1 | 55.3 | 56.4 | 56.7 | 56.36 | 0.74027 |
| | 4 | 56.9 | 52.9 | 54.5 | 56.1 | 55.8 | 55.24 | 1.567801 |
| | 6 | 54.4 | 54.9 | 52 | 53.8 | 54.4 | 53.9 | 1.131371 |
| | 8 | 48.1 | 50.4 | 51.9 | 50.4 | 49.3 | 50.02 | 1.416686 |
| | 24 | 48.2 | 48.5 | 52.2 | 46.3 | 48.3 | 48.7 | 2.148255 |
| | 48 | 46.3 | 42.2 | 45.7 | 47.9 | 44.2 | 45.26 | 2.164024 |
| | 72 | 47 | 49.9 | 47.7 | 44 | 44.3 | 46.58 | 2.465157 |
| | 96 | 45.3 | 40.4 | 46.2 | 42.7 | 44.1 | 43.74 | 2.2832 |

Lampiran 3 : Hasil Pengujian SEM – EDX

AC4B

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 sample-mochi-20-2 (17/06/10 16:12)



SEMQuant results. Listed at 16:14:07 on 17/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: sample-mochi-20-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

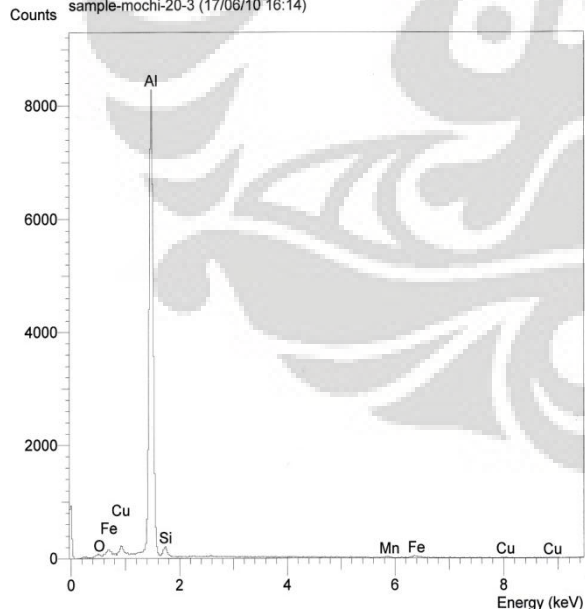
Standards :

O K AL203 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL203 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 2.34 | 5.43 |
| Mg K | ED | 1.00 | 1.53 |
| Al K | ED | 44.02 | 60.73 |
| Si K | ED | 1.98 | 2.63 |
| Cu K | ED | 50.66 | 29.67 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 sample-mochi-20-3 (17/06/10 16:14)



SEMQuant results. Listed at 16:16:33 on 17/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: sample-mochi-20-3

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

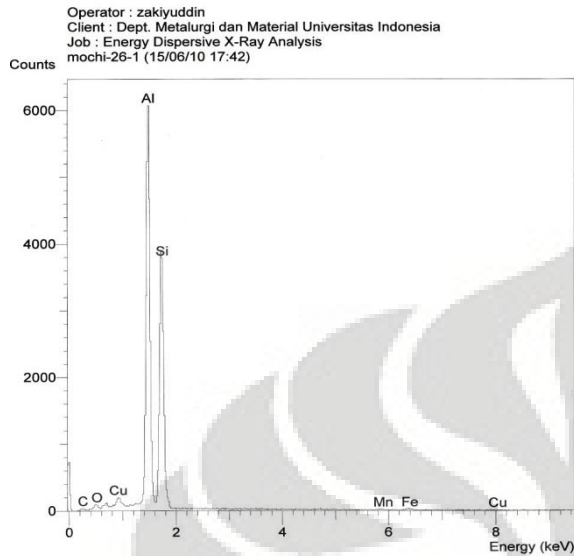
Standards :

O K AL203 17/11/09
 Al K AL203 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Mn K Mangan 02 13/09/06
 Fe K FeS2 22/03/06
 Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 1.01 | 1.85 |
| Al K | ED | 80.06 | 87.23 |
| Si K | ED | 2.81 | 2.94 |
| Mn K | ED | 2.60 | 1.39 |
| Fe K | ED | 5.31 | 2.80 |
| Cu K | ED | 8.21 | 3.80 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

(Lanjutan)



SEMQuant results. Listed at 23:14:26 on 18/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: mochi-26-1

System resolution = 62 eV
 Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

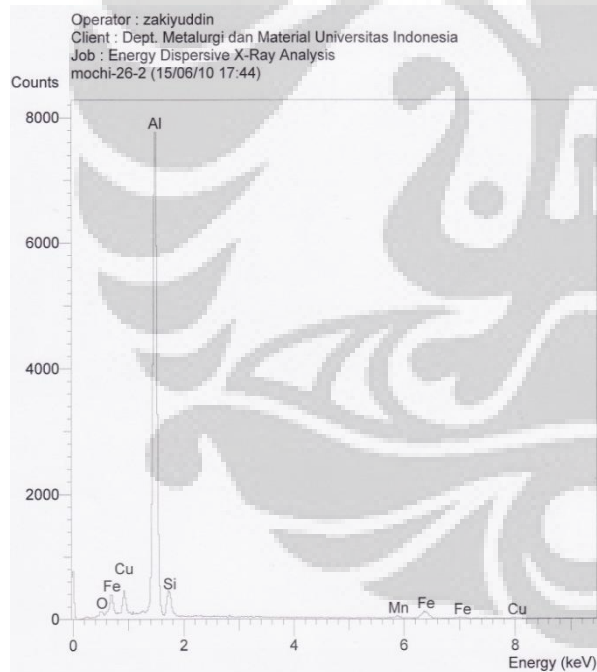
1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

| | | |
|------|------------------|-------------|
| C K | Carbon Low | 13/09/06 |
| O K | AL2O3 | 17/11/09 |
| Al K | AL2O3 | 17/11/09 |
| Si K | Low Carbon Steel | 13/09/06 |
| Mn K | Mangan | 02 13/09/06 |
| Fe K | FeS2 | 22/03/06 |
| Cu K | Copper | 22/03/06 |

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 1.20 | 2.85 |
| O K | ED | 0.75 | 1.33 |
| Al K | ED | 51.58 | 54.31 |
| Si K | ED | 36.22 | 36.63 |
| Mn K | ED | 1.18 | 0.61 |
| Fe K | ED | 3.56 | 1.81 |
| Cu K | ED | 5.51* | 2.46* |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 23:15:06 on 18/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: mochi-26-2

System resolution = 62 eV
 Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

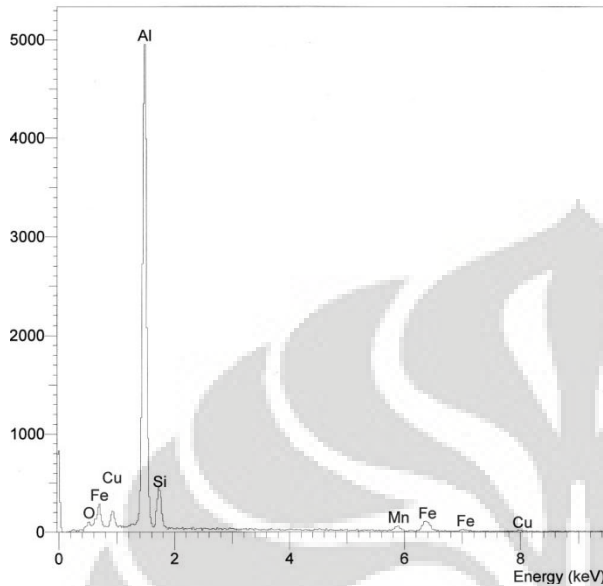
| | | |
|------|------------------|-------------|
| O K | AL2O3 | 17/11/09 |
| Al K | AL2O3 | 17/11/09 |
| Si K | Low Carbon Steel | 13/09/06 |
| Mn K | Mangan | 02 13/09/06 |
| Fe K | FeS2 | 22/03/06 |
| Cu K | Copper | 22/03/06 |

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 1.31 | 2.64 |
| Al K | ED | 63.12 | 75.52 |
| Si K | ED | 4.04 | 4.65 |
| Mn K | ED | 2.59 | 1.52 |
| Fe K | ED | 13.89 | 8.03 |
| Cu K | ED | 15.05 | 7.65 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

(Lanjutan)

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 mochi-Y-2 (15/06/10 15:21)



SEMQuant results. Listed at 23:06:34 on 18/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: mochi-Y-2

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

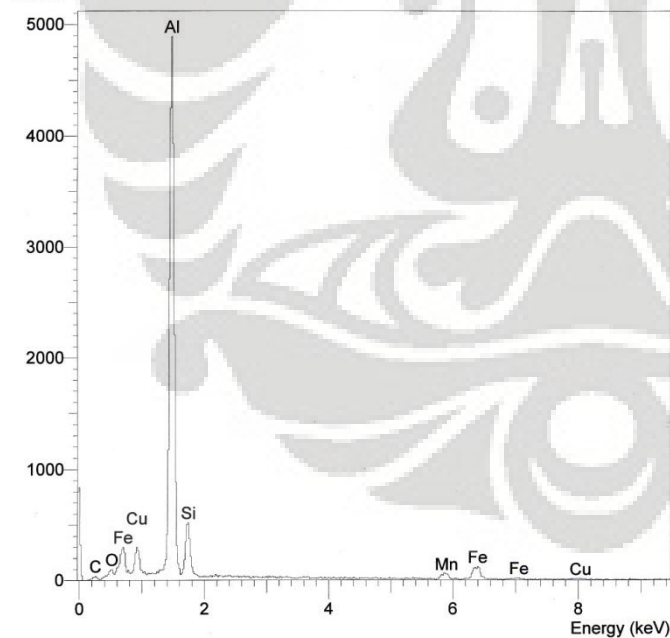
Standards :

O K AL2O3 17/11/09
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Mn K Mangan 02 13/09/06
 Fe K FeS2 22/03/06
 Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 1.42 | 2.90 |
| Al K | ED | 58.45 | 71.01 |
| Si K | ED | 5.38 | 6.28 |
| Mn K | ED | 6.49 | 3.87 |
| Fe K | ED | 19.06 | 11.19 |
| Cu K | ED | 9.20 | 4.75 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 mochi-Y-3 (15/06/10 15:23)



SEMQuant results. Listed at 23:07:19 on 18/06/10

Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: mochi-Y-3

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Mn K Mangan 02 13/09/06
 Fe K FeS2 22/03/06
 Cu K Copper 22/03/06

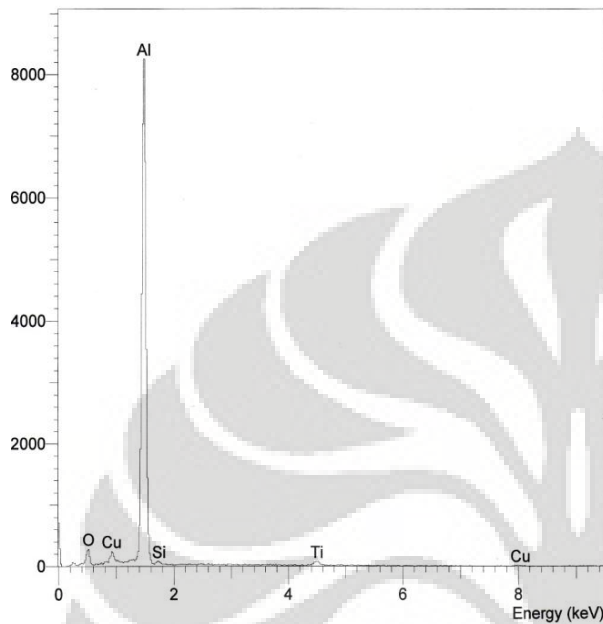
| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 0.94 | 2.58 |
| O K | ED | 0.65 | 1.35 |
| Al K | ED | 56.14 | 68.40 |
| Si K | ED | 5.68 | 6.65 |
| Mn K | ED | 7.44 | 4.46 |
| Fe K | ED | 20.92 | 12.31 |
| Cu K | ED | 8.23* | 4.26* |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

(Lanjutan)

AC4B dengan Kandungan 0.078 wt % Ti dan 0.02 wt. % Sr

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 mochi-sampleG-2 (14/06/10 22:28)



SEMQuant results. Listed at 22:29:11 on 14/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: mochi-sampleG-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

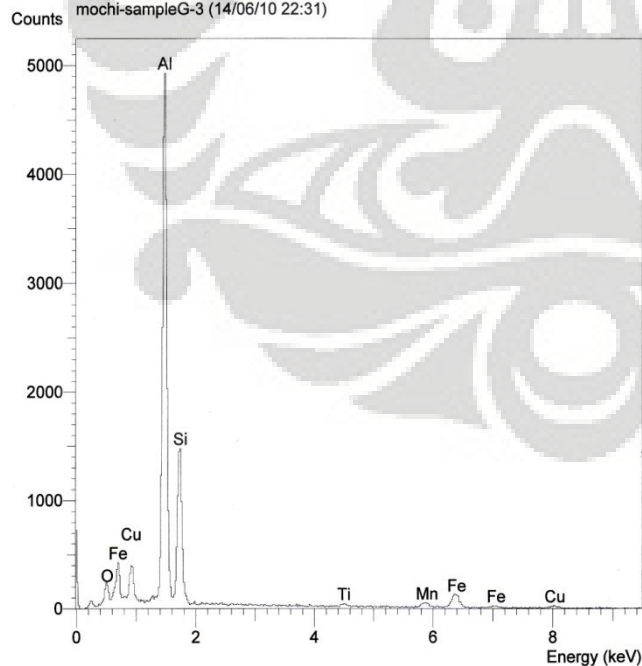
Standards :

| | | |
|------|------------------|----------|
| O K | AL203 | 17/11/09 |
| Al K | AL203 | 17/11/09 |
| Si K | Low Carbon Steel | 13/09/06 |
| Ti K | Titanium Oxide | 19/05/06 |
| Cu K | Copper | 22/03/06 |

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 5.05 | 9.14 |
| Al K | ED | 74.81 | 80.32 |
| Si K | ED | 1.21 | 1.25 |
| Ti K | ED | 4.41 | 2.67 |
| Cu K | ED | 14.51 | 6.61 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 mochi-sampleG-3 (14/06/10 22:31)



SEMQuant results. Listed at 22:33:03 on 14/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: mochi-sampleG-3

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

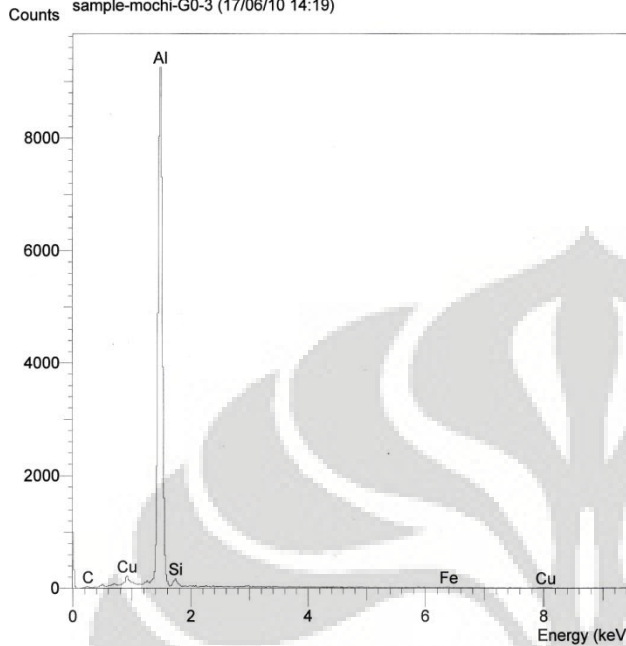
| | | |
|------|------------------|-------------|
| O K | AL203 | 17/11/09 |
| Al K | AL203 | 17/11/09 |
| Si K | Low Carbon Steel | 13/09/06 |
| Ti K | Titanium Oxide | 19/05/06 |
| Mn K | Mangan | 02 13/09/06 |
| Fe K | FeS2 | 22/03/06 |
| Cu K | Copper | 22/03/06 |

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 3.20 | 6.68 |
| Al K | ED | 45.70 | 56.53 |
| Si K | ED | 12.30 | 14.62 |
| Ti K | ED | 1.26 | 0.88 |
| Mn K | ED | 4.06 | 2.46 |
| Fe K | ED | 17.21 | 10.29 |
| Cu K | ED | 16.27 | 8.55 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

(Lanjutan)

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 sample-mochi-G0-3 (17/06/10 14:19)



SEMQuant results. Listed at 13:40:18 on 19/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: sample-mochi-G0-3

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

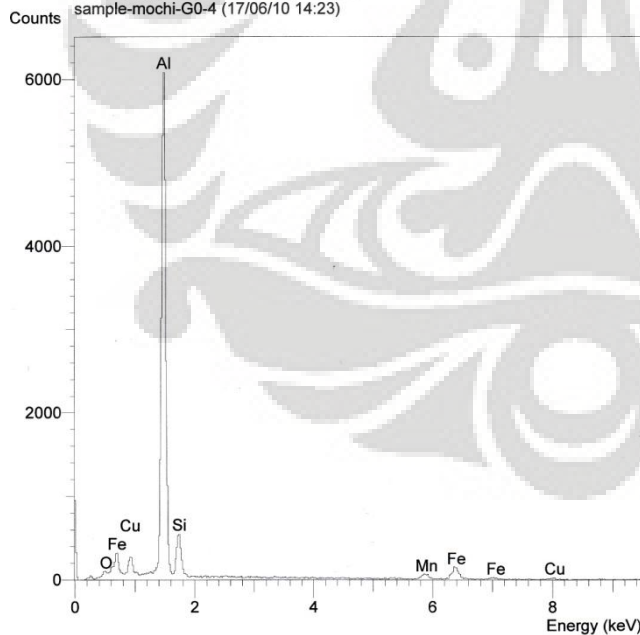
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 Al K AL203 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Fe K FeS2 22/03/06
 Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 1.29 | 3.07 |
| Al K | ED | 83.96 | 88.90 |
| Si K | ED | 2.31 | 2.35 |
| Fe K | ED | 1.33 | 0.68 |
| Cu K | ED | 11.11 | 5.00 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 sample-mochi-G0-4 (17/06/10 14:23)



SEMQuant results. Listed at 13:40:43 on 19/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: sample-mochi-G0-4

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

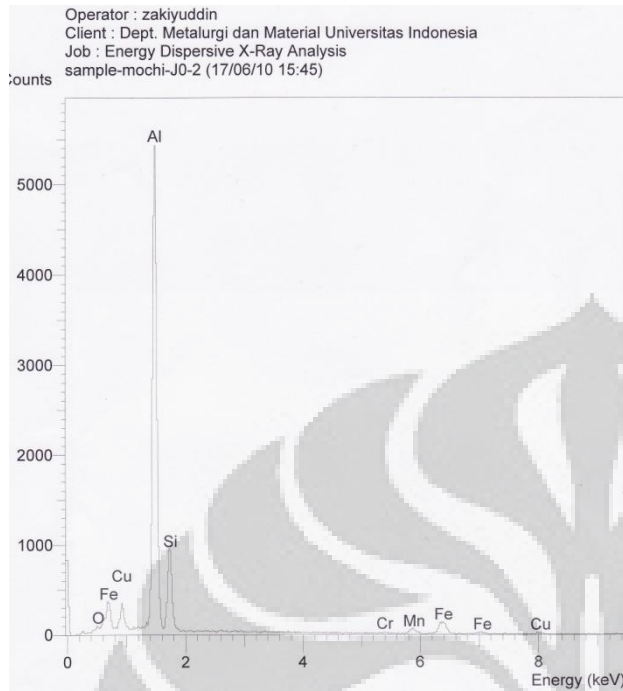
Standards :

O K AL203 17/11/09
 Al K AL203 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Mn K Mangan 02 13/09/06
 Fe K FeS2 22/03/06
 Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 0.98 | 2.06 |
| Al K | ED | 56.55 | 70.32 |
| Si K | ED | 4.96 | 5.93 |
| Mn K | ED | 6.19 | 3.78 |
| Fe K | ED | 18.79 | 11.29 |
| Cu K | ED | 12.53 | 6.62 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

(Lanjutan)



SEMQuant results. Listed at 15:47:33 on 17/06/10
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: sample-mochi-J0-2

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

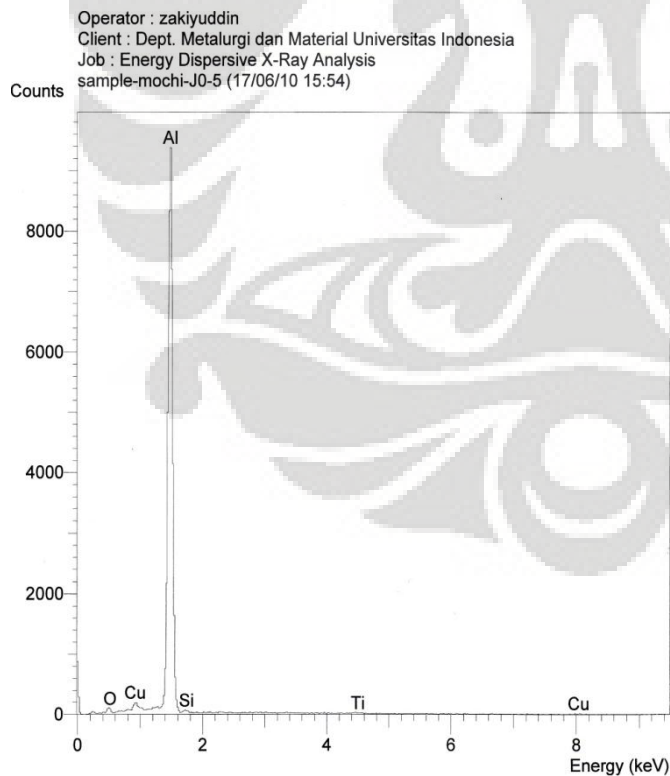
1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

O K AL203 17/11/09
Al K AL203 17/11/09
Si K Low Carbon Steel 13/09/06
Cr K Chromium 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06
Fe K FeS2 22/03/06
Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 0.68 | 1.44 |
| Al K | ED | 51.71 | 65.22 |
| Si K | ED | 8.63 | 10.46 |
| Cr K | ED | 0.65 | 0.43 |
| Mn K | ED | 5.73 | 3.55 |
| Fe K | ED | 19.67 | 11.98 |
| Cu K | ED | 12.94 | 6.93 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 15:55:39 on 17/06/10

Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: sample-mochi-J0-5

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

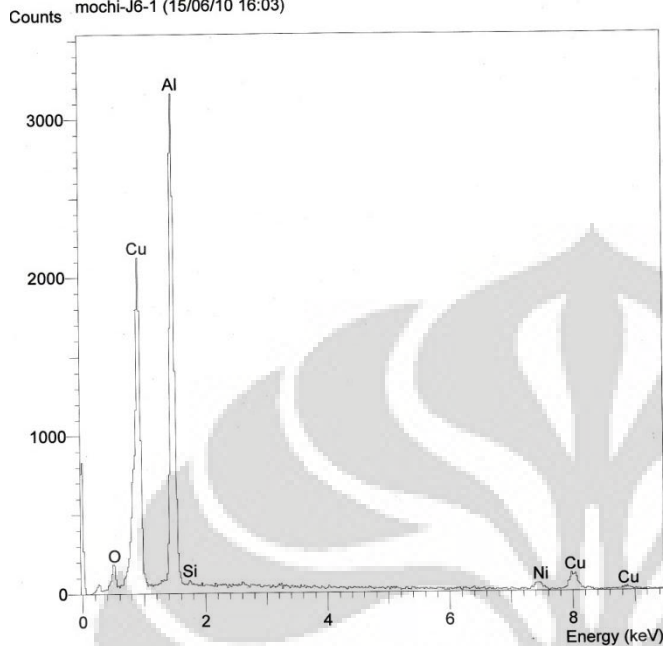
O K AL203 17/11/09
Al K AL203 17/11/09
Si K Low Carbon Steel 13/09/06
Ti K Titanium Oxide 19/05/06
Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 1.41 | 2.50 |
| Al K | ED | 87.05 | 91.52 |
| Si K | ED | 1.23 | 1.24 |
| Ti K | ED | 0.91 | 0.54 |
| Cu K | ED | 9.40 | 4.20 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

(Lanjutan)

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 mochi-J6-1 (15/06/10 16:03)



SEMQuant results. Listed at 23:09:19 on 18/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: mochi-J6-1

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

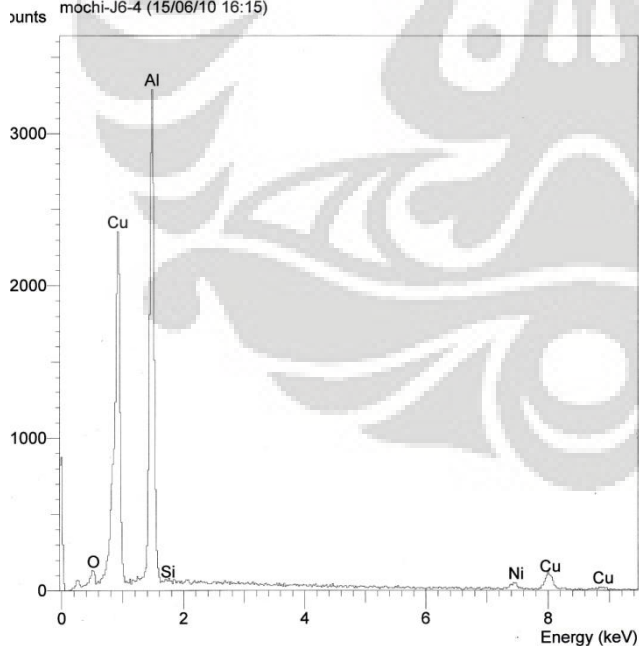
Standards :

O K AL203 17/11/09
 Al K AL203 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ni K Nickel 22/03/06
 Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 1.27 | 3.59 |
| Al K | ED | 26.44 | 44.28 |
| Si K | ED | 0.19 | 0.30 |
| Ni K | ED | 9.70 | 7.47 |
| Cu K | ED | 62.40 | 44.37 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
 Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
 mochi-J6-4 (15/06/10 16:15)



SEMQuant results. Listed at 23:11:14 on 18/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: mochi-J6-4

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

O K AL203 17/11/09
 Al K AL203 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ni K Nickel 22/03/06
 Cu K Copper 22/03/06

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| O K | ED | 0.76 | 2.15 |
| Al K | ED | 26.85 | 45.32 |
| Si K | ED | 0.18 | 0.29 |
| Ni K | ED | 7.98 | 6.19 |
| Cu K | ED | 64.24 | 46.05 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma