

A22-02	66
<p>Jati Kusumawardhani RESPONS LAKU PENUAAN PADUAN Al-9Si-2Cu DENGAN PENAMBAHAN PENGHALUS BUTIR Al-Ti SERBUK 0,027 wt. % TITANIUM Bondan T. Sofyan*) dan Jati Kusumawardani Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia*) corresponding author: Bondan T Sofyan</p>	
A22-03	68
<p>L. Taufanny & Azwar Manaf PEROLEHAN RUTILE SINTETIK DARI PASIR MINERAL MELALUI PROSES LEACHING DENGAN MENGGUNAKAN REDUKTOR FE L. Taufanny dan A. Manaf Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia</p>	
A22-04	70
<p>Lukman Noerochim ELECTROMECHANICAL PROPERTIES OF $Bi_{0.5-x}Na_{0.5-x}K_xSm_xTiO_3$ LEAD-FREE PIEZOELECTRIC CERAMICS Lukman Noerochim Material and Metallurgy Department, ITS</p>	
A22-05	72
<p>Novrita Idayanti PENGARUH POROSITAS TERHADAP SIFAT MAGNET $BaFe_{12}O_{19}$ Novrita Idayanti, Dedi, A. Nuruddin*) Pusat Penelitian Elektronika & Telekomunikasi (PPET) – LIPI Fakultas Teknologi Industri, Program studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung</p>	
A22-06	74
<p>M. Ikhwan & Azwar Manaf Penerapan Proses FFC <i>Cambridge</i> untuk Deoksidasi TiO_2 Sintetik Menjadi Ti A. Manaf dan M. Ikhwan Departemen Fisika FMIPA, Universitas Indonesia</p>	
A22-07	76
<p>Prof. Dr. Ir. Sulistijono OKSIDASI SERBUK PADUAN CONICRALY PADA TEMPERATUR 1100°C Sulistijono*, Soedharsono J. Wahyuadi**, Lukman Noerochim * *Jurusan Teknik Material, FTI ITS, email : ssulistijono@mat-eng.its.ac.id **Departemen Teknik Metalurgi dan Material, FT UI, email : jw_sono@metal.ui.ac.id</p>	
A22-08	78
<p>Priyono C P & Azwar Manaf FORMASI PEMBENTUKAN NANOPHASE BARIUM HEXAFERRITE TERSUBSTITUSI ION Mn DAN ION Ti DENGAN METODA MEKANIKA ALLOY Priyono¹⁾ dan Azwar Manaf²⁾ 1) Jurusan Fisika Universitas Diponegoro, searang 2) Program Studi Ilmu material PPS-FMIPA Univesitas Indonesia</p>	
A22-09	80
<p>Yunita Sadeli STUDI PENANGGULANGAN KOROSI PADA PIPA KONDENSER DENGAN INHIBITOR $FeSO_4$ Yunita Sadeli¹, Wida Ridawati ¹ Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia</p>	

RESPONS LAKU PENUAAN PADUAN Al-9Si-2Cu DENGAN PENAMBAHAN PENGHALUS BUTIR Al-Ti SERBUK 0,027 wt. % TITANIUM

Bondan T. Sofyan* dan Jati Kusumawardani

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

*) corresponding author: bondan@metal.ui.ac.id

ABSTRAK

Paduan aluminium Al-9Si-2Cu merupakan salah satu paduan yang banyak dipakai sebagai komponen otomotif yang memerlukan kekerasan tinggi. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan adalah dengan memperkecil ukuran dendrit dan perlakuan panas. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh penambahan penghalus butir Al-Ti berbentuk serbuk dengan kadar Ti sebanyak 0,027 wt. % dan laku penuaan pada paduan yang dicor dengan teknik low pressure die casting (LPDC). Dilakukan pula pengujian kekerasan dan observasi mikrostruktur terhadap sampel untuk mengamati kecenderungan perubahan kekerasan dan perubahan yang terjadi pada mikrostruktur. Selain itu, juga dilakukan x-ray mapping dengan menggunakan EDXS untuk mengetahui distribusi unsur yang terlarut di dalam paduan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan penghalus butir pada paduan Al-9Si-2Cu meningkatkan kekerasan baik pada kondisi as cast maupun setelah penuaan. Unsur Ti tersebar di seluruh bagian sehingga tidak terdeteksi secara spesifik, dan tampak mengubah morfologi kristal AlSi dari serpih menjadi jarum. Fasa intermetalik $Al_3(Fe,Mn)Si_2$ dan $Al_{12}(MnCuFe)_3Si_2$ terlihat cukup dominan.

Kata kunci: paduan Al 3xxx, penghalus butir Al-Ti, penuaan

PENDAHULUAN

Salah satu paduan cor yang banyak dipakai pada aplikasi otomotif adalah paduan aluminium Al-Si-Cu, karena mampu cor dan sifat mekaniknya yang unggul [1]. Musuh utama pada aplikasi motor adalah *overheating*, yaitu pemanasan yang berlebih yang dapat menyebabkan penyusutan, pembengkokan, dan kerusakan pada bagian-bagian tertentu seperti tepi-tepi lubang *head gasket*. Oleh karena itu, pada *cylinder head* dibutuhkan kekuatan, ketahanan panas, dan kekerasan yang cukup tinggi yang terdapat pada paduan Al 3xxx seperti paduan Al-9Si-2Cu. Paduan Al-9Si-2Cu adalah paduan aluminium dengan unsur yang dominan Si (~ 9 wt. %) dan Cu (~ 2 wt. %), dimana adanya unsur Si akan dapat memperbaiki mampu cor dan meningkatkan kekerasan, dan Cu sebagai peningkat kekuatan. Selain itu, paduan Al-9Si-2Cu mengandung Mg, Mn, Fe dalam kadar yang sedikit (< 1 wt. %) yang dapat meningkatkan kekuatan, dan pembentukan fasa intermetalik. Pembentukan fasa intermetalik yang disebabkan keberadaan Mn dan Fe adalah fasa Al-Fe-Si dan Al-Fe-Mn-Si yang bersifat rapuh dan keras yang akan merusak sifat mekanis jika dalam keberadaannya yang berlebih pada paduan [2].

Karena sering ditemukannya nilai kekerasan dari paduan yang belum memenuhi standar, ataupun keinginan peningkatan kualitas (kekerasan dan kekuatan) dari paduan, maka dilakukan penghalusan butir dan penuaan pada paduan dimana menurut teori kedua proses ini dapat meningkatkan kekerasan. Penghalusan butir terjadi selama pembekuan dengan jenis penghalus butir yang umum dipakai adalah: (i) Titanium (Ti), (ii) Boron (B), (iii) Zirkonium (Zr) atau (iv) gabungan unsur, seperti Al-Ti-B [3]. Paduan Al-Si tuang yang mengandung 7 wt. % Si tidak memberi respons yang baik terhadap penghalus butir Al-5Ti-1B [4, 5]. Pada penghalus butir Ti akan memicu terbentuknya inti yaitu partikel $TiAl_3$ dan menghambat pertumbuhan kristal sehingga akan menghasilkan butir yang kecil (halus). Inti $TiAl_3$ ini akan diselimuti oleh aluminium paduan yang mulai membeku dari logam cair secara kontinyu hingga semua aluminium membeku. Ti merupakan penghalus butir yang efisien pada aluminium dengan kadar Si yang rendah. Jika kandungan Si lebih besar dari 7 wt. %, maka rasio Ti yang dipakai lebih rendah [3].

Perlakuan penuaan diketahui meningkatkan kekuatan paduan aluminium [6]. Proses penuaan yang sering digunakan pada aplikasi otomotif adalah T4 yaitu penuaan alami menggunakan temperatur ruang dan T6 yaitu penuaan buatan dengan menggunakan temperatur yang lebih besar dari temperatur ruang sebagai temperatur penuaannya. Fenomena yang terjadi pada proses penuaan adalah pengerasan presipitasi yang dapat terjadi akibat tiga tahap, yaitu: (1) *solution treatment*, (2) *quenching*, dan (3) penuaan. *Solution treatment*

berguna untuk melarutkan satu unsur paduan atau lebih dalam matriks aluminium dan membentuk satu fasa tanpa adanya peleburan. *Quenching* dilakukan untuk mencegah adanya pemisahan fasa kedua akibat *solution treatment* dan memerangkap *vacancy* sebagai tempat presipitasi. Sedangkan penuaan merupakan proses pembentukan presipitasi yang dipengaruhi temperatur penuaan [7].

Namun sejauh ini kombinasi pengaruh penghalus butir berbentuk serbuk pada proses LPDC dan laku penuaan belum banyak dipelajari. Sehingga, studi ini mempelajari respons terhadap laku penuaan pada paduan aluminium yang diberi penghalus butir berbentuk serbuk pada proses LPDC.

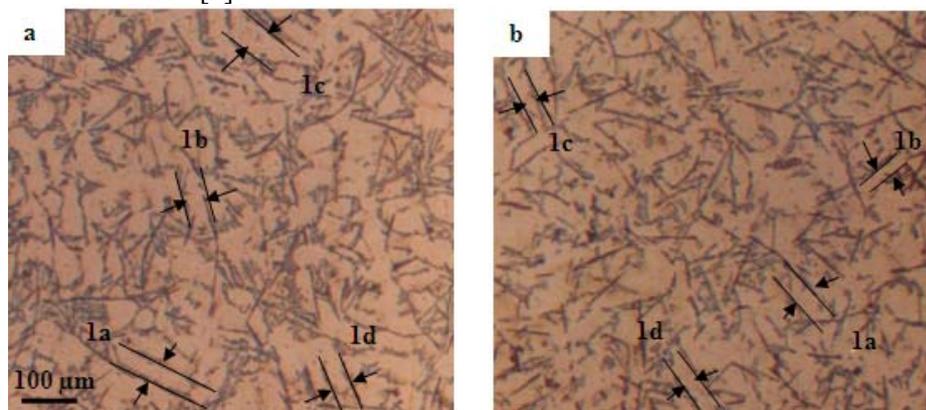
METODE PENELITIAN

Paduan dasar Al-9Si-2Cu dilebur pada dapur berkapasitas 500 kg dengan temperatur $\pm 810 \pm 5$ °C. Gas terperangkap dikeluarkan dengan proses Gas Bubble Floation (GBF) menggunakan gas argon dengan debit 8 – 12 liter permenit dan kecepatan rotor 350 – 400 rpm, selama 8 menit pada temperatur 780 °C. Penghalus butir Al-Ti berbentuk serbuk dengan 0,027 wt. % Ti ditambahkan ke dalam aluminium cair dan kemudian diinjeksikan dengan mesin LPDC ke dalam cetakan berbentuk *cylinder head*.

Sampel yang digunakan adalah berukuran 20x10x10 mm³. Pengujian kekerasan dengan tiga kali penjejakan dilakukan dengan metode Brinell berdasarkan standard ASTM E10 dengan menggunakan indentor bola baja 1,8 mm dan beban sebesar 31,25 kgf. Proses perlakuan panas diawali dengan proses *solution treatment* pada dapur induksi muffle dengan temperatur 525 ± 2 °C selama 1 jam, diikuti dengan pencelupan ke dalam air. Kemudian, penuaan dilakukan pada temperatur 27 dan 200 °C. Struktur mikro diamati menggunakan mikroskop optik Olympus dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) JEOL JSM 6360LA dengan voltase 15 kV yang dilengkapi dengan EDXS (*Electron Dispersive X-ray Spectroscopy*). Sampel pengamatan mikrostruktur dipreparasi sesuai standar dengan etsa 0,5 % Hidrogen Fluoride (HF).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penambahan penghalus butir serbuk 0,027 wt. % menurunkan DAS (*dendrite arm spacing*) dari 38,75 μ m menjadi 26,25 μ m, seperti tampak pada Gambar 1 diperlihatkan oleh 1a hingga 1d dan data yang disajikan pada Tabel 1. Ukuran DAS yang mengecil sebesar 32,26 % ini berkorelasi dengan nilai kekerasan 90 dan 92 BHN. Semakin kecil DAS, maka fasa yang terbentuk akan semakin banyak dengan jarak yang diperkecil. Jika semakin banyak fasa yang terbentuk maka kekuatan ikatan fasa dengan matrik akan semakin tinggi, maka akan semakin tinggi nilai kekerasan [3].



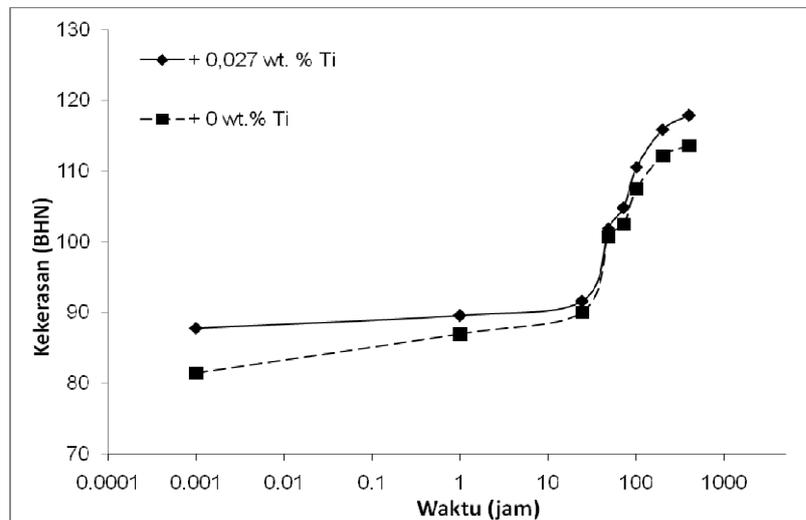
Gambar 1. Mikrostruktur paduan *as-cast* dengan penambahan (a) 0 wt. %, dan (b) 0,027 wt. % Ti.

Tabel 1. Besar jarak lengan *dendrite*(*dendrite arm spacing*, DAS), sesuai posisi pada Gambar 1.

Paduan	Jarak lengan antar dendrite (μ m)				
	1a	1b	1c	1d	Rata-rata
Al-9Si-2Cu + 0 wt. % Ti	30	40	50	35	38,75
Al-9Si-2Cu + 0,027 wt. % Ti	30	20	25	30	26,25

Respons paduan terhadap penuaan alami pada temperatur ruang (27 °C) dapat dilihat pada Gambar 2, dimana hingga 400 jam masih menunjukkan peningkatan menuju puncak kekerasan. Data nilai kekerasan *as-quench* dan kekerasan tertinggi yang ditunjukkan pada Tabel 2 memperlihatkan interval perubahan nilai kekerasan akibat penambahan 0,027 wt. % Ti. Terlihat bahwa peningkatan kekerasan akibat penambahan Ti

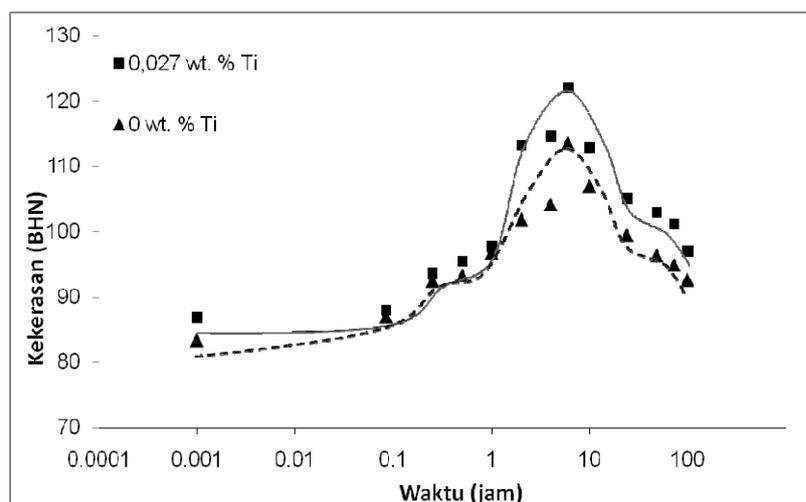
dipertahankan selama proses laku panas. Penambahan Ti terlihat tidak berdampak terhadap masa inkubasi, namun sebaliknya berdampak cukup signifikan terhadap peningkatan kekerasan *as-quenched*. Sesuai literatur [8], hal ini disebabkan jari-jari atom Ti yang lebih besar dari Al ($r_{Ti} = 0,140 \text{ nm}$; $r_{Al} = 0,125 \text{ nm}$) yang akan menginisiasi lebih banyak *vacancy* pada saat proses *quenching*. *Vacancy* merupakan faktor pendorong terjadinya pengendapan presipitat selama penuaan.



Gambar 2. Pengaruh Ti terhadap respons paduan Al-9Si-2Cu terhadap penuaan pada temperatur 27 °C.

Tabel 2. Pengaruh Ti terhadap nilai kekerasan paduan Al-9Si-2Cu pada kondisi as-cast, as-quenched dan setelah penuaan pada temperatur 27 °C.

Paduan	Kekerasan (BHN)		
	<i>As-cast</i>	<i>As-quenched</i>	Setelah penuaan 400 jam
Al-9Si-2Cu + 0 wt. % Ti	90	81,5	113,7
Al-9Si-2Cu + 0,027 wt. % Ti	92	87,8	117,9



Gambar 3. Pengaruh Ti terhadap respons paduan Al-9Si-2Cu terhadap penuaan pada temperatur 200 °C.

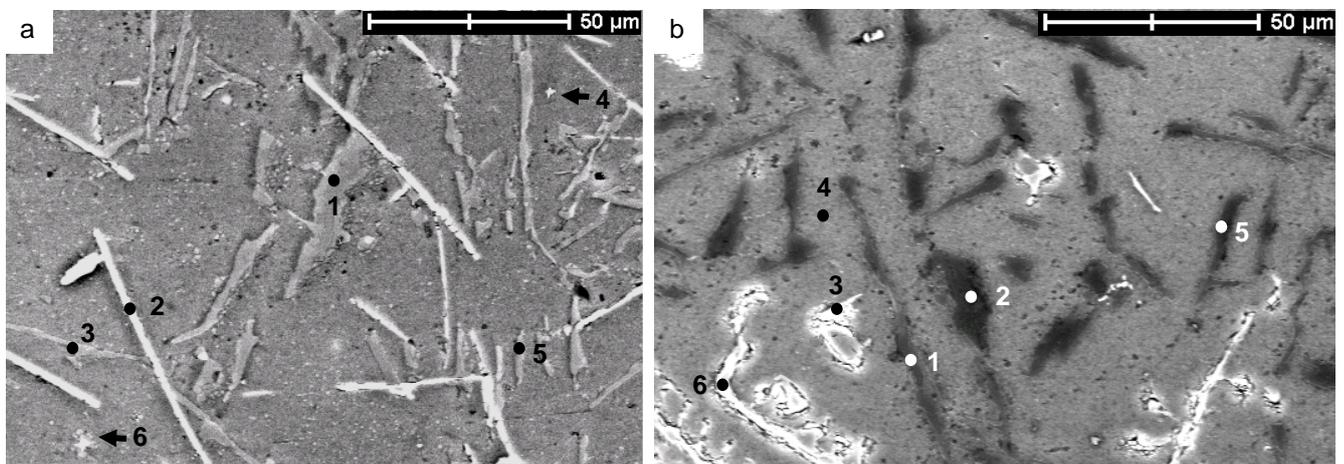
Respons paduan terhadap penuaan pada temperatur 200 °C dapat dilihat pada Gambar 3, dimana kekerasan maksimum adalah 113,5 BHN dan 122,1 BHN untuk paduan dengan penambahan 0 dan 0,027 wt% Ti. Data nilai kekerasan *as-quench* dan kekerasan tertinggi yang ditunjukkan pada Tabel 3 memperlihatkan

perubahan nilai kekerasan akibat penambahan 0,027 wt. % Ti. Puncak kekerasan tercapai setelah 6 jam untuk kedua paduan, yang mengindikasikan bahwa keberadaan penghalus butir AlTi tidak mempengaruhi laju pengerasan pengendapan. Keberadaan Ti memperbanyak *vacancy*, akibat regangan *misfit*, namun regangan ini tidak cukup besar untuk juga mempercepat pertumbuhan presipitat [9]. Walau tidak terdeteksi oleh SEM, diperkirakan reaksi pengendapan presipitat pada temperatur 200 °C adalah reaksi klasik yang diawali dengan pembentukan endapan nano θ'' (Al_2Cu) berbentuk pelat dengan struktur BCT (*body center tetragonal*), yang dilanjutkan dengan presipitat θ' dan akhirnya θ [7, 8].

Tabel 4. Pengaruh Ti terhadap nilai kekerasan paduan Al-9Si-2Cu pada kondisi as-cast, as-quenched dan setelah penuaan pada temperatur 200 °C.

Paduan	Kekerasan (BHN)		
	<i>As-cast</i>	<i>As-quenched</i>	Setelah penuaan 100 jam
Al-9Si-2Cu + 0 wt. % Ti	90	83,4	113,5
Al-9Si-2Cu + 0,027 wt. % Ti	92	86,9	121,1

Pada Gambar 4 dapat dilihat mikrostruktur paduan Al-9Si-2Cu setelah mengalami penuaan selama 100 jam pada temperatur 200 °C. Hasil analisis mikro dari setiap posisi pada Gambar 4 ditampilkan pada Tabel 5 dan 6. Pada Gambar 4 (a), diketahui bahwa posisi 1 merupakan kristal AlSi dengan kandungan Si yang dominan, bermorfologi serpih. Posisi 2 kemungkinan adalah $Al_3(Fe,Mn)Si_2$ [3], yang memiliki bentuk jarum dan menyebabkan sifat yang getas [4]. Posisi 3 merupakan kristal AlSi dengan bentuk jarum dengan kandungan Mg dan Cu yang terlarut. Posisi nomor 4 kemungkinan adalah β AlSi yang merupakan perpaduan fasa β Mg_2Si dan $CuAl_2$ yang memiliki Mg dan Cu yang lebih tinggi yang dapat menyebabkan peningkatan kekuatan pada matrik. Posisi 5 merupakan fasa AlSi kristal, tapi memiliki kandungan Mg yang lebih tinggi, sementara posisi 6 kemungkinan adalah β $Al_5Mg_8Cu_2Si_6$ sesuai bentuknya yang berupa partikel kasar [9].



Gambar 4. Mikrostruktur paduan Al-9Si-2Cu setelah penuaan pada temperatur 200 °C selama 100 jam, dengan penambahan (a) 0 wt. %, dan (b) 0,027 wt. % Ti.

Tabel 5. Komposisi mikro hasil analisis EDXS pada posisi di Gambar 4 (a).

Posisi	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ti	Al	Fasa yang mungkin terbentuk
1	69,37	2,309	2,27	0,22	-	-	Sisa	Kristal AlSi
2	15,13	3,103	5,14	25,99	4,79	0,103	Sisa	$Al(Fe,Mn)Si$
3	54,73	4,19	3,61	0,14	0,25	0,017	Sisa	Kristal AlSi
4	1,315	8,48	9,26	0,63	0,27	-	Sisa	β $MgCuAl$
5	53,79	3,51	3,81	0,20	0,12	0,052	Sisa	Kristal AlSi
6	33,35	8,88	5,33	7,34	2,63	-	Sisa	β $AlMgCuAlSi$

Tabel 6. Komposisi mikro hasil analisis EDXS pada posisi di Gambar 4 (b).

Posisi	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ti	Al	Fasa yang mungkin terbentuk
1	61,41	1,42	2,77	0,12	-	0,069	Sisa	Kristal AlSi
2	72,01	1,39	1,81	-	-	0,051	Sisa	Kristal AlSi
3	7,87	12,63	4,029	30,88	9,18	0,103	Sisa	Al(FeMnCu)Si
4	0,081	5,63	8,08	-	0,119	0,069	Sisa	MgAl
5	70,96	1,99	2,023	-	0,079	0,051	Sisa	Kristal AlSi
6	5,99	7,17	1,72	28,51	11,18	0,067	Sisa	Al(FeMnCu)Si

Berdasarkan Gambar 4 (b) dan disesuaikan dengan hasil pada Tabel 6, didapat bahwa posisi 1 dan 2 merupakan kristal AlSi, serta posisi 3 kemungkinan adalah intermetalik α Al(FeMnCu)Si [9]. Posisi lain teridentifikasi sama dengan Gambar 4 (a), sehingga dapat disimpulkan bahwa keberadaan Ti tidak merubah jenis fasa kedua yang terbentuk. Kedua paduan didominasi oleh kristal AlSi sebagai fasa kedua dengan morfologi serpihan dan jarum. Penambahan Ti tampak mempromosi pembentukan kristal AlSi berbentuk jarum, sesuai dengan penelitian terdahulu [3], bahwa dengan penambahan pengaruh penghalus butir Ti akan merubah α Si *cuboids* (serpihan) menjadi *lamellar* (jarum). Diperkirakan karena keberadaan Ti meningkatkan tegangan permukaan matriks sehingga mempersulit pertumbuhan kristal AlSi secara isometris. Selain itu, juga ditemukan fasa β MgCu₂Al yang merupakan kombinasi dari fasa β Mg₂Si dan CuAl₂ dengan kandungan Mg dan Cu yang lebih tinggi daripada kristal AlSi yang dapat menyebabkan peningkatan kekuatan pada matrik. Pada paduan tanpa penambahan Ti terdapat fasa intermetalik Al(FeMn)Si, yang memiliki bentuk jarum sehingga berkontribusi pada sifat getas paduan [2, 4]. Dengan adanya penambahan 0,027 wt. % Ti terjadi perubahan morfologi fasa intermetalik Al(FeMnCu)Si dari serpih menjadi *chinese-script* [10]. Secara umum, pemberian penghalus butir yang mengandung 0,027 wt. % Ti membuat fasa intermetalik menjadi lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena Ti terdistribusi merata ke seluruh bagian matriks (sesuai hasil pemetaan x-ray yang tidak ditampilkan hasilnya pada makalah ini).

KESIMPULAN

1. Penambahan penghalus butir 0,027 wt. % Ti kedalam paduan Al-9Si-2Cu meningkatkan nilai kekerasan dan menurunkan DAS (*dendrite arm spacing*).
2. Paduan Al-9Si-2Cu dengan 0,027 wt. % Ti mengalami peningkatan kekerasan pada penuaan dengan temperatur 200 °C, dari 83,4 BHN menjadi 86,9 BHN pada kondisi *as-quenched* dan 113,5 BHN menjadi 122,1 BHN kondisi *peakaged* setelah 6 jam.
3. Penambahan 0,027 wt. % Ti tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap laju presipitasi.
4. Penambahan sebesar 0,027 wt. % Ti dapat mengubah morfologi kristal AlSi serpihan menjadi jarum dan fasa intermetalik AlMnFeSi struktur jarum menjadi *chinese-script*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui skema Riset Unggulan Universitas Indonesia 2008. Ucapan terima kasih kepada PT. Astra Honda Motor yang telah menyediakan dapur LPDC.

REFERENSI

1. J.E. Hatch (ed.), *Aluminium: Properties and Physical Metallurgy*, American Society for Metals, Ohio, 1995, 143.
2. B.T. Sofyan, B.W. Utomo and M.B. Setyawan, *Characteristics of AC2B Aluminium Alloy Modified with 2.0 wt. % Sn*, Proc. Int Conf. on Recent Advances in Mechanical & Materials Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia, 30-31 May 2005, 555 - 560.
3. J. Asenio-Lozano, B. Suarez-Pena., *Scripta Mat.*, 54 (2006), 943-947.
4. M. Dash, M. Makhlof, , *J. Light Metals*, 1(2001), 251-265.
5. S.A. Kori, B.S. Murty, M. Chakraborty, *Mat. Sci. Eng.* A280(2000), 58-61.
6. Y-D. Kwon, Z-H. Lee, *Mat. Sci. Eng.* A360 (2003), 372-376
7. S.P. Ringer, B.T. Sofyan, G.C. Quan and K.S. Prasad, *Acta Mat*, 56 (2008), 2147 -2160.
8. Ringer, S.P., K. Hono, I.J. Polmear, and T. Sakurai: *Acta Mater.*, 44 (5) (1996), 1883.
9. Nie, J. F., Muddle, B. C., Aaronson, H. I., Ringer, S. P. and Hirth, J. P. *Metall. Mater. Trans. A*, A53 (2002), 1106-1125.
10. Hany Ammar, "Effect of Casting Imperfection on the Fatigue Properties of Aluminium-Silicon Casting Alloys" Universite Du Quebec a Chicoutimi (2006).