

Please refer as:

Dwi Rahmalina, Indra Kusuma, Bambang Suharno, Bondan T. Sofyan, Eddy S. Siradj, Pengaruh Penambahan Unsur Mg pada Daerah Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja untuk Aplikasi Material Armor melalui Proses Squeeze Casting, **Prosiding Seminar Nasional Metalurgi dan Material IV**, Untirta Cilegon, 14-15 Juli 2010, pp. 593 – 599.



SEMINAR NASIONAL METALURGI & MATERIAL IV (SENAMM IV)

SENAMM
IV
2010
SOTO

**“Pemanfaatan Sumber Daya Nasional dalam Pengembangan
Ilmu dan Teknologi Metalurgi & Material”**

Cilegon, 14 - 15 Juli 2010

PROSIDING

**Kampus Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon - Banten**

Hudan Sodikin, Wahyu Bambang Widayatno, Agus Sukarto Wismogroho, Ardie Septian, Edo Raihan, Nurul Taufiqu Rochman Pembuatan Besi Oksida Dari Pasir Besi	522
Maria Ulfa, Wahyu Bambang Widayatno, Agus Sukarto Wismogroho, Danto Adithyo, Ruchi Romadhon, Triwulan, Pujo Aji, Nurul Taufiqu Rochman Pembuatan Beton Kuat Tekan Tinggidengan Penambahan Silika Alam Lampung	527
Lusi Susanti, Wahyu Bambang Widayatno, Agus Sukarto Wismogroho, Danto Adithyo, Ruchi Romadhon, Triwulan, Pujo Aji, Nurul Taufiqu Rochman Pengaruh Penambahan Silika Alam Lampung (SAL) Terhadap Kualitas Beton Kuat Tekan Tinggi	533
Dedy Sufiandi Ekstraksi Tityanium dari Slag Peleburan Besi Nuggets	539
Deddy Sufiandi Benefisiasi Pasir Besi Titan Sebagai Langkah Awal Penyiapan Bahan Baku	554
Deddy Sufiandi dan Saefudin Pembuatan Besi Baja dari Bahan Baku Lokal	560
Luthfi Kurniawan, Danang Nor Arifin, Firman Arifianto, Widodo Percobaan Flotasi Untuk Meningkatkan Kadar Perak (Ag)	570
REKAYASA BAHAN	
Anne Zulfia, Nurmawati, Widyastuti Karakteristik Komposit Laminat hibrid Al/SiC-Al/Al ₂ O ₃ Produk Metalurgi Serbuk	576
Hermawan Judawisastra, Arif Basuki, Dhyah Annur Pengaruh Air Laut Terhadap Perubahan Sifat Mekanik dan Sifat Elektrik Komposit Sandwich	585
Dwi Rahmalina, Indra Kusuma, Bambang Suharno, Bondan T. Sofyan, Eddy S Siradj Pengaruh Penambahan Unsur Mg pada Daerah Antarmuka Komposit Matriks Alumunium Berpenguat Kawat Tali Baja untuk Aplikasi Material Armor melalui Proses Squeeze Casting	593
Rindang Fajarin, Hariyati P, Sulistijono Studi Fasa dan Mikrostruktur High Temperature Resistant Ceramic Metal Superalloy Setelah Pemanasan Berulang pada 1100oC	600
Y. Sadeli, F. Fauzia, Johny Wahyuadi S, B. Prihandoko, Sri Harjanto Pengaruh Carbon Black Terhadap Pelat Bipolar Karbon Komposit PEMFC	611

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MG PADA DAERAH
ANTARMUKA KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM
BERPENGUAT KAWAT TALI BAJA UNTUK APLIKASI
MATERIAL ARMOR MELALUI PROSES SQUEEZE CASTING**

Dwi Rahmalina^{1,2}, Indra Kusuma¹, Bambang Suharno¹,
Bondan T. Sofyan¹, Eddy S. Siradj¹

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

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya

e-mail : drahmalina@yahoo.com

ABSTRAK

Komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja telah dikembangkan untuk meningkatkan ketahanan balistik dan mobilitas material armor. Salah satu faktor yang menentukan dalam pengembangan material ini adalah kandungan unsur paduan dan proses manufaktur kawat tali baja sebagai penguat ke dalam matriks aluminium, yang dilakukan dengan proses squeeze casting sebagai upaya untuk meminimalkan daerah kosong pada antarmuka kawat dan matriks. Penelitian ini mempelajari pengaruh unsur Mg terhadap kondisi antarmuka matriks aluminium dan kawat tali baja. Paduan aluminium sebagai matriks yang digunakan adalah paduan Al-7Si dengan variasi penambahan unsur Mg (0.18-0.31 %). Sedangkan kawat tali baja yang digunakan adalah dari bahan baja karbon tinggi dengan penyusunan unidirectional. Proses squeeze casting dilakukan pada temperatur semi solid (590 – 610 oC) dengan tekanan 1 MPa didalam cetakan logam. Untuk peningkatan kekerasan selanjutnya komposit dilakukan pengerolan dengan reduksi sebesar 10 %. Karakterisasi dilakukan dengan pengujian komposisi kimia, pengamatan struktur mikro antarmuka kawat dengan matriks, serta pengujian kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah kosong (void) pada antarmuka akan menurun dengan pertambahan Mg sampai dengan 0.31 %. Sedangkan semakin dekat jarak antar kawat akan meningkatkan timbulnya void pada daerah antarmuka, dimana jarak antar kawat minimal yang tidak terbentuk void adalah 1.49 mm.

Kata kunci : antarmuka, komposit matriks aluminium, kawat tali baja, material armor, squeeze casting,

PENDAHULUAN

Material untuk aplikasi peralatan militer (*armor*) didesain untuk dapat menahan penetrasi dari peluru-peluru dan jenis proyektil balistik lain, dimana struktur metalurgi dari kebutuhan ini dirancang untuk dapat memecahkan atau memerangkap proyektil yang ditembakkan dengan kecepatan tinggi. Kondisi ini dapat dipenuhi oleh sifat ketangguhan yang baik terhadap beban dampak balistik serta kekerasan yang sangat tinggi. Faktor lain yang harus dijadikan pertimbangan dalam pemilihan material armor adalah mobilitas terkait dengan ukuran dan berat dari peralatan tersebut. Baja telah lama digunakan untuk aplikasi armor karena kemudahan proses dan biaya produksi yang lebih murah

serta mempunyai variasi sifat mekanis yang beragam. Tetapi, baja mempunyai berat jenis yang besar sehingga tidak sesuai untuk aplikasi armor dengan kebutuhan berat jenis ringan. Kondisi ini mendorong dilakukannya penelitian untuk memperoleh material armor dengan berat jenis yang lebih ringan dan kemampuan proteksi terhadap dampak balistik yang baik [1]. Dengan sifat balistik yang superior dan sifat kekakuan yang baik, material logam telah dikembangkan sebagai material armor, mulai dari baja armor, paduan aluminium armor dan paduan titanium armor [1,2]. Saat ini, paduan aluminium berkekuatan tinggi merupakan paduan logam armor yang sangat menjanjikan,

PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MG PADA DAERAH ANTARMUKA KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM BERPENGUAT KAWAT TALI BAJA UNTUK APLIKASI MATERIAL ARMOR MELALUI PROSES *SQUEEZE CASTING*

Dwi Rahmalina^{1,2}, Indra Kusuma¹, Bambang Suharno¹,
Bondan T.Sofyan¹, Eddy S.Siradj¹

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus UI Depok
²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya
e-mail : drahmalina@yahoo.com

ABSTRAK

Komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja telah dikembangkan untuk meningkatkan ketahanan balistik dan mobilitas material armor. Salah satu faktor yang menentukan dalam pengembangan material ini adalah kandungan unsur paduan dan proses manufaktur kawat tali baja sebagai penguat ke dalam matriks aluminium, yang dilakukan dengan proses squeeze casting sebagai upaya untuk meminimalkan daerah kosong pada antarmuka kawat dan matriks. Penelitian ini mempelajari pengaruh unsur Mg terhadap kondisi antarmuka matriks aluminium dan kawat tali baja. Paduan aluminium sebagai matriks yang digunakan adalah paduan Al-7Si dengan variasi penambahan unsur Mg (0.18-0.31 %). Sedangkan kawat tali baja yang digunakan adalah dari bahan baja karbon tinggi dengan penyusunan unidirectional. Proses squeeze casting dilakukan pada temperatur semi solid (590 – 610 °C) dengan tekanan 1 MPa didalam cetakan logam. Untuk peningkatan kekerasan selanjutnya komposit dilakukan pengerolan dengan reduksi sebesar 10 %. Karakterisasi dilakukan dengan pengujian komposisi kimia, pengamatan struktur mikro antarmuka kawat dengan matriks, serta pengujian kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah kosong (void) pada antarmuka akan menurun dengan penambahan Mg sampai dengan 0.31 %. Sedangkan semakin dekat jarak antar kawat akan meningkatkan timbulnya void pada daerah antarmuka, dimana jarak antar kawat minimal yang tidak terbentuk void adalah 1.49 mm.

Kata kunci : antarmuka, komposit matriks aluminium, kawat tali baja, material armor, *squeeze casting*,

PENDAHULUAN

Material untuk aplikasi peralatan militer (*armor*) didesain untuk dapat menahan penetrasi dari peluru-peluru dan jenis proyektil balistik lain, dimana struktur metalurgi dari kebutuhan ini dirancang untuk dapat memecahkan atau memerangkap proyektil yang ditembakkan dengan kecepatan tinggi . Kondisi ini dapat dipenuhi oleh sifat ketangguhan yang baik terhadap beban dampak balistik serta kekerasan yang sangat tinggi. Faktor lain yang harus dijadikan pertimbangan dalam pemilihan material armor adalah mobilitas terkait dengan ukuran dan berat dari peralatan tersebut.

Baja telah lama digunakan untuk aplikasi armor karena kemudahan proses dan biaya produksi yang lebih murah serta mempunyai variasi sifat mekanis yang beragam. Tetapi, baja mempunyai berat jenis yang besar sehingga tidak sesuai untuk aplikasi armor dengan kebutuhan berat jenis ringan. Kondisi ini mendorong dilakukannya penelitian

untuk memperoleh material armor dengan berat jenis yang lebih ringan dan kemampuan proteksi terhadap dampak balistik yang baik [1]. Dengan sifat balistik yang superior dan sifat kekakuan yang baik, material logam telah dikembangkan sebagai material armor, mulai dari baja armor, paduan aluminium armor dan paduan titanium armor [1,2].

Saat ini, paduan aluminium berkekuatan tinggi merupakan paduan logam armor yang sangat menjanjikan, tidak hanya ketahanan terhadap dampak balistik tetapi juga terkait dengan berat jenisnya yang rendah. Walaupun demikian, informasi eksperimental dan komputasional masih sangat terbatas dan memerlukan pembahasan lebih lanjut. Pengembangan aluminium untuk aplikasi balistik telah banyak dilakukan, misalnya 5083-H116 yang dibuat dengan teknik *cryomilling* [3-4], dan beberapa paten laminat aluminium [5-7]. Disamping itu, aluminium merupakan logam yang telah diproduksi secara mandiri di Indonesia, sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai material armor untuk kebutuhan dalam negeri.

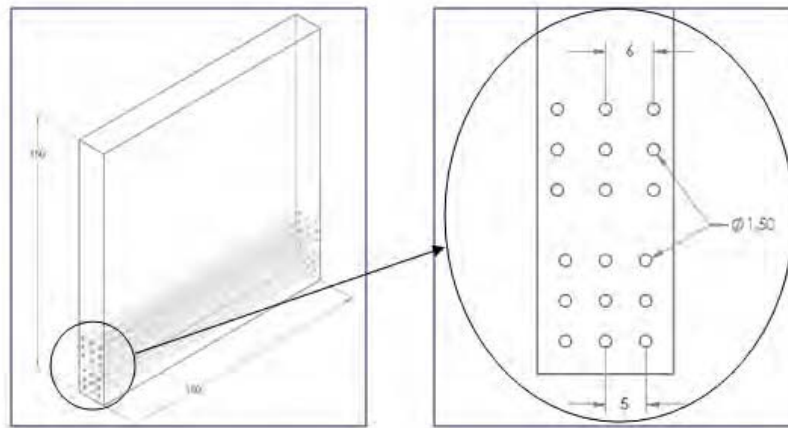
Salah satu faktor yang mempengaruhi sifat paduan aluminium adalah penambahan unsur paduan Mg, seperti penelitian yang dilakukan oleh Dons, et.al.[8]. Penelitian lain yang dilakukan US Army menunjukkan bahwa paduan aluminium armor struktur mempunyai ketahanan dampak yang tinggi terhadap proyektil berkecepatan tinggi diatas 2000 m/s. Sorensen, et.al [9] telah melakukan penelitian mengenai karakteristik dampak berkecepatan tinggi 2100 m/s menggunakan proyektil berat jenis rendah pada pelat aluminium 7039. Sedangkan Balos, et. al. [10] telah melakukan penelitian terhadap penyusunan kawat paten berdiameter 5 mm untuk konstruksi dengan 0,7 % Carbon, yang disusun menjadi pagar berbentuk profil L untuk aplikasi armor.

Proses *squeeze casting* merupakan teknik pengecoran khusus yang menggabungkan keunggulan dari *High Pressure Die Casting* dan teknologi *forging*. Keunggulan yang dihasilkan adalah mengeliminasi jumlah gas yang terperangkap dalam hasil cor dan mengurangi jumlah penyusutan akibat solidifikasi. Vijaraya, et.al. [11] telah melakukan penelitian mengenai fabrikasi komposit matriks logam yang diperkuat dengan serat menggunakan *squeeze casting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi ini mempunyai keuntungan antara lain mengeliminasi porositas dan *shrinkage*, memperoleh *yield casting* 100 %, permukaan dan akurasi dimensi yang baik, peningkatan kekerasan dan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Dieringa, et.al. [12] juga menunjukkan hasil coran dengan kualitas yang baik dengan porositas hanya 0.5 % pada pembuatan komposit matriks logam magnesium dengan penguat serat karbon melalui proses *squeeze casting*. Mohd. Noor, et.al. [13] telah melakukan penelitian terhadap mikrostruktur pada komposit paduan Al-Si-Mg yang diperkuat dengan kawat baja tahan karat menggunakan teknik pengecoran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyusunan kawat yang terlalu berdekatan akan menyebabkan solidifikasi di daerah antarmuka sekitar kawat (*interface*) menjadi tidak sempurna, sehingga dapat menghasilkan daerah kosong (*void*) yang selanjutnya akan mempengaruhi sifat mekanis dari produk cor tersebut.

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka penelitian ini membahas kondisi daerah antarmuka yang terbentuk sebagai bagian dari pengembangan komposit matriks aluminium yang diperkuat dengan kawat tali baja untuk aplikasi material armor melalui proses *squeeze casting* dan pengerolan. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi struktur antarmuka dari kawat tali baja dan matriks aluminium dengan variasi penambahan unsur Mg dan jarak susunan dari kawat tali baja.

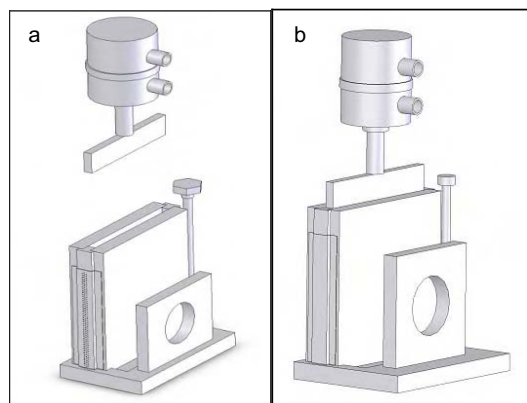
METODOLOGI PENELITIAN

Matriks aluminium terbuat dari *master alloy* Al-7Si, dimana peningkatan kekerasan dilakukan dengan pemberian unsur Mg (0.08, 0.13 dan 0.31 %). Seluruh persentase paduan pada penelitian ini merupakan persen berat (w.t. %). Penambahan kawat tali baja berdiameter 1.03 mm dari baja karbon tinggi tipe ANSI/API Spec 9A sebagai penguat komposit disusun secara *unidirectional* (Gambar 1) dengan jarak antar kawat tali baja divariasikan. Diameter lubang tempat masuk kawat tali baja dibuat berdiameter 1.5 mm.



Gambar 1. Susunan kawat tali baja dalam cetakan logam (satuan dalam mm).

Proses peleburan dilakukan dalam dapur lebur pada temperatur 760-800 °C, kemudian dituang kedalam cetakan logam dengan desain seperti terlihat pada Gambar 2. Proses pegecoran yang digunakan untuk membuat komposit matriks paduan aluminium berpenguat kawat tali baja ini adalah proses *squeeze casting* yang dilakukan pada temperatur semi solid (590 – 610 °C) dengan tekanan 1 MPa didalam cetakan logam, dengan tujuan dapat mengoptimalkan proses solidifikasi yang terjadi sehingga cacat pada daerah antarmuka dapat diminimalkan. Cetakan dengan ukuran 170x150x10 mm sebelumnya telah dipanaskan terlebih dahulu sampai temperatur 300 °C. Desain cetakan dan ilustrasi pemberian tekanan pada proses *squeeze casting* dapat dilihat pada Gambar 2.

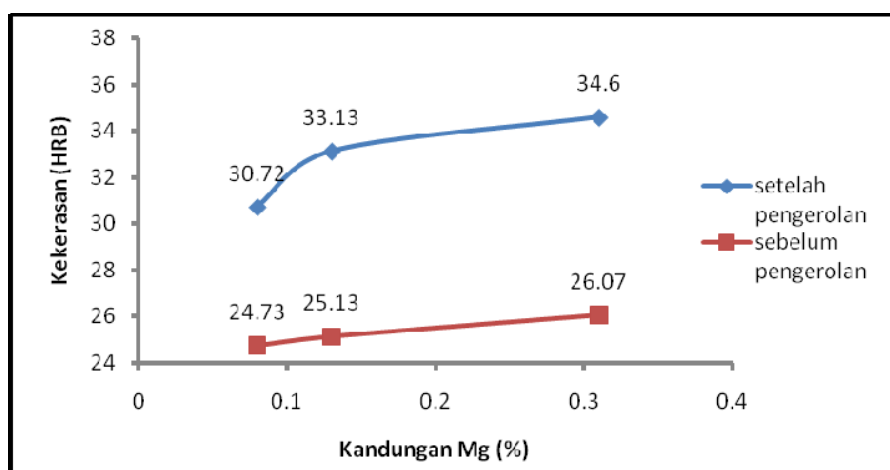


Gambar 2. Ilustrasi proses *squeeze casting*. (a) Sebelum penekanan, (b) Setelah penekanan.

Selanjutnya komposit dilakukan proses pengerolan pada temperatur ruang dengan reduksi penampang sebesar 10 % dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan. Karakterisasi komposit meliputi: pengujian kekerasan, dan observasi struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan SEM.

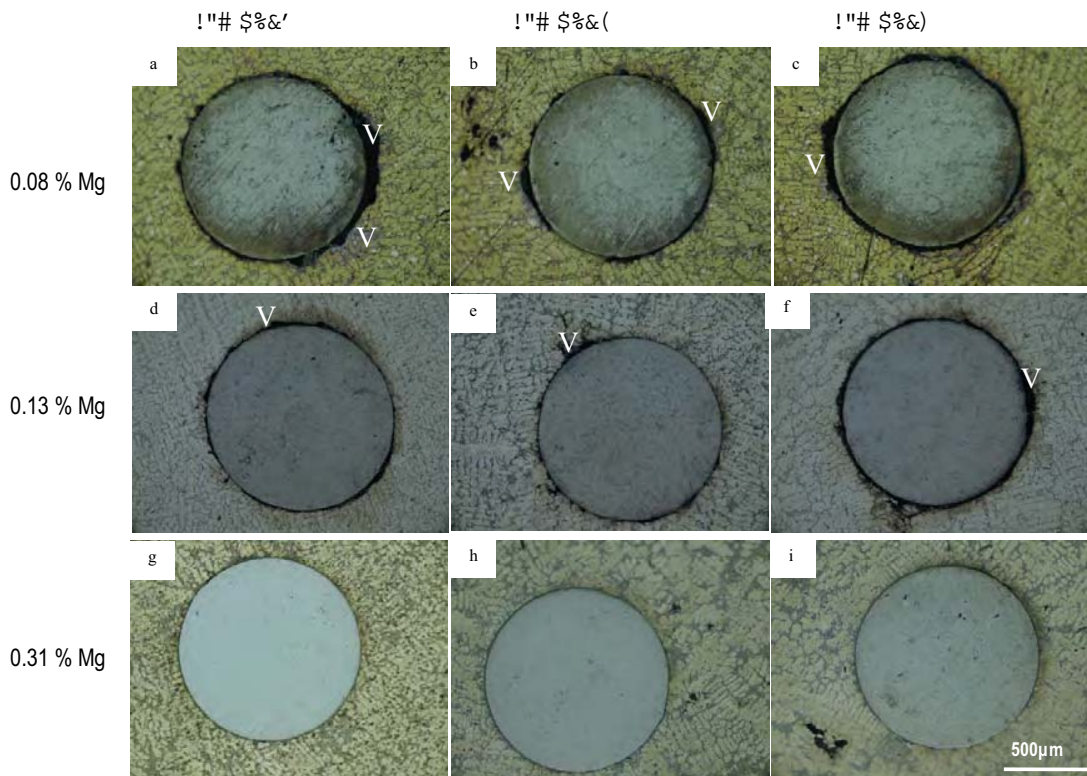
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penambahan unsur paduan Mg meningkatkan kekerasan dari HRB 24.73 menjadi HRB 26.07, atau meningkat sebesar 5.4 %. Hal ini disebabkan mekanisme pengerolan larutan padat atau *solid solution strengthening*. Peningkatan kekerasan juga terjadi pada hasil canai, yaitu dari HRB 30.72 menjadi HRB 34.60, atau meningkat sebesar 12.6 %, seperti tampak pada Gambar 3. Kenaikan nilai kekerasan ini disebabkan karena adanya proses deformasi pada bidang slip. Deformasi yang dimaksud adalah terjadinya pergerakan dislokasi, dimana pergerakan dislokasi terjadi pada bidang slip dan arah slip terpadat dari struktur kristal atom. Pergerakan dislokasi yang terjadi di dalam suatu butir, akan diteruskan hingga bertemu dengan hambatan seperti batas butir dimana arah bidang slipnya akan berbeda sehingga dislokasi akan tertahan disana, atau hambatan lainnya seperti keberadaan presipitat, interstisi ataupun garis dislokasi lainnya. Untuk membuat slip berikutnya pada bidang yang sama akan memerlukan gaya yang lebih besar. Oleh karena itu, logam akan bertambah kuat dan keras.



Gambar 3. Pengaruh kandungan Mg terhadap kekerasan paduan Al-7Si pada kondisi sebelum dan setelah pengerolan.

Pengamatan struktur mikro daerah kosong (*void*) pada antarmuka kawat tali baja dan matriks aluminium menunjukkan bahwa peningkatan kadar Mg dari 0.08 sampai 0.31 % menurunkan keberadaan *void*, seperti terlihat pada Gambar 4. Keberadaan *void* yang mengindikasikan buruknya sifat antarmuka dan tidak menempelnya aluminium pada kawat baja karbon tinggi menjadi berkurang seiring dengan penambahan komposisi Mg. Dalam pembuatan komposit, Mg bersifat sebagai *wetting agent*, yaitu sebagai pengikat antarmuka antara matriks dan penguat, yang berfungsi untuk memperkuat ikatan adhesi antara dua atau lebih unsur pembentuk komposit [13]. Sehingga dengan penambahan kandungan Mg, sifat antarmuka komposit menjadi lebih baik yang ditandai dengan pengurangan jumlah *void* yang terbentuk di sekitar kawat dengan aluminium.



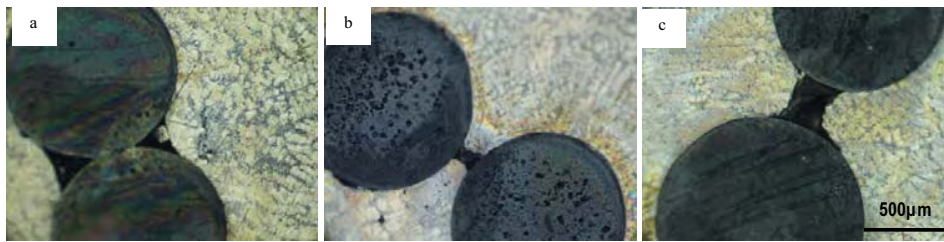
Gambar 4. Pengurangan *void* di antarmuka kawat tali baja dengan matriks paduan Al-7Si dengan kandungan Mg : (a-c) 0.08 % Mg; (d-f) 0.13 % Mg; dan (g-i) 0.31 % Mg. V menunjukkan adanya *void* pada antarmuka kawat dengan matriks.

Hubungan jarak dengan kondisi antarmuka aluminium dengan kawat baja karbon tinggi dianalisis menggunakan foto mikro dari sampel 0.31 % Mg yang memperlihatkan dua buah kawat yang berdekatan dengan jarak tertentu, kemudian dilakukan perbandingan berdasarkan keberadaan *void* yang terdapat antara gambar satu dengan gambar lainnya dan dicari jarak minimal yang tidak terbentuk *void*. Dari Gambar 5 terlihat bahwa antara dua kawat yang berdekatan, *void* yang terjadi diantara kedua kawat tersebut belum terlihat. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan jarak minimal 1.49 mm, kondisi antarmuka antar kawat tersebut masih baik karena aluminium mampu membasahi kawat baja karbon tinggi dengan sempurna tanpa terjadinya *void*.



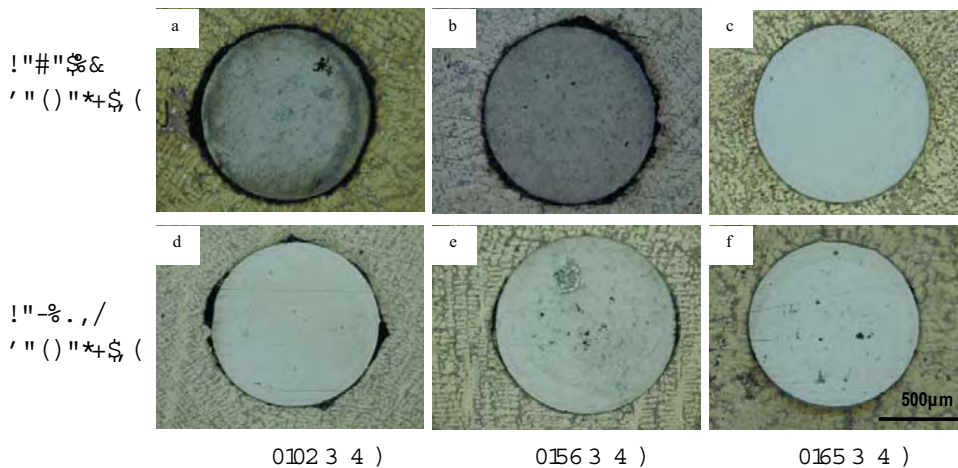
Gambar 5. Daerah antarmuka kawat tali baja dan matriks paduan Al-7Si dengan kandungan 0.31 % Mg yang tidak menunjukkan adanya *void* pada jarak : (a) 1.49 mm; (b) 1.66 mm; (c) 2.17 mm

Jarak yang lebih kecil antara kawat menyebabkan void disekitar kawat dapat terjadi (Gambar 6), sehingga kondisi antarmuka menjadi buruk karena aluminium tidak membasahi kawat dengan sempurna. Hal ini disebabkan karena pada daerah dengan jarak kawat yang lebih kecil, terjadi proses solidifikasi yang lebih cepat sehingga aluminium cair tidak sempat membasahi kawat secara merata karena telah mengalami solidifikasi. Kondisi antarmuka yang buruk selanjutnya dapat menyebabkan sifat mekanis dari komposit menjadi turun.



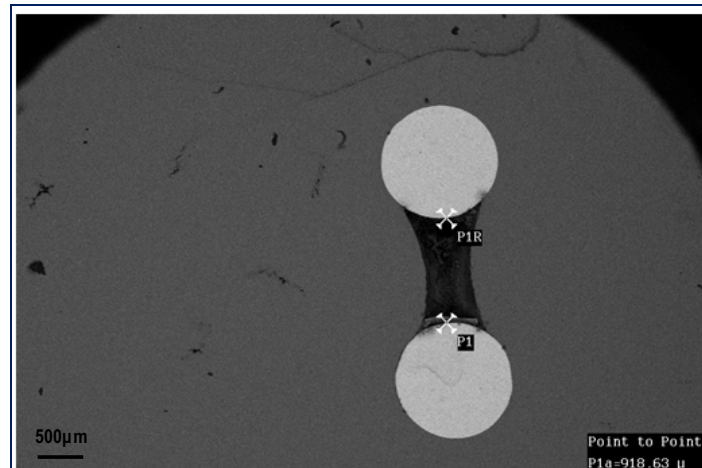
Gambar 6. Daerah antarmuka kawat tali baja dan matriks paduan Al-7Si dengan kandungan 0.31 % Mg yang menunjukkan terjadinya void pada jarak yang berdekatan, yaitu : (a) 0 mm; (b) 0.14 mm; (c) 0.28 mm

Kondisi antarmuka akibat pengerolan seperti terlihat pada Gambar 7, dimana sampel dengan komposisi Mg 0.08 % setelah proses pengerolan masih memperlihatkan keberadaan *void* dengan ukuran besar meskipun masih terlihat lebih sedikit dibanding sampel yang tidak dilakukan proses pengerolan. Kondisi yang sama terlihat pada komposisi penambahan Mg 0.13 %, *void* disekitar kawat setelah pengerolan lebih sedikit dibanding dengan komposit yang tidak dilakukan proses pengerolan. Sedangkan untuk komposisi Mg 0.31 %, tampak tidak terdapat perbedaan mengenai keberadaan *void* di sekitar kawat.



Gambar 7. Daerah antarmuka kawat tali baja dan matriks paduan Al-7Si setelah dan sebelum dilakukan proses pengerolan untuk kandungan Mg : (a,d) 0.08 % Mg; (b,e) 0.13 % Mg; dan (c,f) 0.31 % Mg

Dengan demikian proses pengerolan dengan reduksi 10 % dapat mengurangi keberadaan *void* yang berukuran besar di sekitar antarmuka kawat dengan matriks paduan aluminium dengan kandungan Mg sebesar 0.08 % dan 0.13 %, sedangkan matriks paduan aluminium dengan kandungan Mg sebesar 0.31 % tidak terlihat pengaruh tersebut.



Gambar 8. Daerah antarmuka antara dua buah kawat tali baja dengan jarak 918. 63 µm, dengan pengamatan menggunakan SEM.

Untuk melihat jarak antar kawat yang terjadi void diantara keduanya, digunakan pengamatan dengan menggunakan SEM. Digunakan sampel Mg 0,31 % yang terdapat dua buah kawat yang berdekatan dan memiliki void diantara kedua kawat tersebut seperti terlihat pada Gambar 8. Berdasarkan pengamatan dengan menggunakan SEM tersebut, diketahui bahwa dengan jarak antar kawat sebesar 918. 63 µm atau hampir mendekati 1 mm, void masih dapat terjadi diantara kedua kawat tersebut.

KESIMPULAN

1. Peningkatan kandungan Mg dari 0.08 % menjadi 0.13 % dan 0.31 % menurunkan terbentuknya *void* sehingga memperbaiki kondisi antarmuka matriks aluminium dengan penguat kawat tali baja karbon tinggi, dan berdasarkan hasil foto struktur mikro di daerah sekitar kawat kondisi maksimum dicapai pada kandungan 0.31 % Mg.
2. Semakin dekat jarak antar kawat akan meningkatkan timbulnya *void* pada daerah antarmuka, dimana jarak antar kawat minimum yang tidak terdapat *void* adalah 1.49 mm.
3. Proses pengerolan dingin memperkecil ukuran *void* pada komposit matriks aluminium dengan paduan dengan kandungan 0.08 % dan 0.13 % Mg.
4. Kekerasan matriks paduan aluminium meningkat dengan dilakukannya proses pengerolan dengan reduksi sebesar 10 %, dimana kekerasan maksimum dicapai pada proses pengerolan komposit dengan kandungan 0.31 % Mg, yakni sebesar 34.60 HRB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui skema Hibah Penelitian Disertasi Doktor Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi 2010. Terima kasih kepada Sdr. Ahmad Ashari, S.T. yang telah membuat desain cetakan dan alat pneumatik untuk proses *squeeze casting*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Srivatsha, B., N. Ramakrishnan, *On The Ballistic Performance of The Metallic Materials*, Bulletin of Material Science, Vol 20 No. 1 (1997) 111-123.
- [2] Srivathsa B., N.Ramakrishnan, *Ballistic Performance Maps for Thick Metallic Armour*, Journal of Materials Processing Technology, 96 (1999) 81-91.
- [3] Newbery, A.P., S.R. Nutt, E.J. Lavernia, Multi-scale Al 5083 for military vehicles with improved performance, J. Mat, April 2006, 56 – 61.
- [4] Lin, T., Q. Yang, C. Tan, B. Liu and A. McDonald, Processing and ballistic performance of lightweight armors based on ultra-fine-grain aluminium composites, J. Mater. Sci. 43 (2008), 7344 – 7348.
- [5] Cohen, M., 6 Dec 2001, *Laminated Armor*, US Patent No. 6497966.
- [6] di Russo, E., M. Burrati, S. Veronelli, 8 Dec 1981, *Aluminium Alloys Composite Plates*, US Patent No. 4426429.
- [7] Lasker, G., 29 Oct 1974, *Armor*, US Patent No. 44264294111097.
- [8] Dons, Annel Lisse et.al., *On the Effect of Additions of Cu and Mg on the Ductility of AlSi Foundry Alloy Cast with A Cooling Rate of Approximately 3 K/s*, Materials Science and Engineering A 413-414 (2005) 561-566.
- [9] B.R.Sorensen, K.D. Kimsey, B.M.Love, High-Velocity Impact of Low-Density Projectiles on Structural Aluminium Armor, International Journal of Impact Engineering, Volume 35, Issue 12 (2008) 1808-1815.
- [10] Sebastian Balos, Vencislav Grabulov, Leposava Sidjanin, Mladen Pantic, *Wire Fence as Applique Armour*, Materials and Design 2009.09.13, (2009).
- [11] Vijarayam, T.R., et.al., *Fabrication of Fiber Reinforced Metal Matrix Composite by Squeeze Casting Technology*, Journal of Materials Processing Technology 178, (2006) 34-38.
- [12] Dieringa, Hajo, Norbert Hort and Karl Ulrich Kainer, *Magnesium Based MMCs Reinforced with C-Fibers*, The Azo Journal of Materials Online, September 2005.
- [13] Mohd. Noor, Mazlee, et.al., *Microstructural Study of Al-Si-Mg Alloy Reinforced with Stainless Steel Wires Composite via Casting Technique*, American Journal of Applied Sciences 5(6), (2008) 721-725.