

JMI Vol. 43 No. 1, Juni 2021

METAL INDONESIA



Journal Homepage:

<http://www.jurnalmetal.or.id/index.php/jmi>

p-issn: 0126-3463

e-issn: 2548-673X



PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT MATRIKS LOGAM Al₅Cu₄Mg/Al₂O_{3(p)} DENGAN METODE PENGADUKAN DAN TEMPA

PROCESS OF MANUFACTURING Al₅Cu₄Mg/Al₂O_{3(p)} METAL MATRIX COMPOSITE WITH STIRRING AND FORGING METHODS

Toni Bambang Romijarso¹, Rudi Subagja¹, Dedi Priadi²

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia`

Kawasan Puspiptek Gd. 470, Kota Tangerang Selatan

²Fakultas Teknik Jurusan Metalurgi dan Material - Universitas Indonesia, Depok

E-mail : tonibr2000@yahoo.com

Abstrak

Komposit Matriks Logam (KML) merupakan salah satu material yang banyak digunakan di industri manufaktur terutama yang berbasis aluminium, karena logam ini mempunyai berat jenis yang rendah. Pada saat ini pembuatan KML bermatriks aluminium dengan penguat Al₂O₃ sudah banyak dibuat dan digunakan di industri. Proses pembuatan KML di Indonesia merupakan hal yang baru-baru ini ramai diminati, meskipun penelitian awal sudah dilakukan jauh sebelumnya. Faktor penting pada pembuatan KML adalah menghindari adanya keropos atau adanya porositas pada hasil produk. Oleh karena itu, pada percobaan ini setelah dilakukan proses pengadukan dilanjutkan dengan proses tempa untuk mengurangi adanya porositas tersebut. Bahan yang digunakan sebagai matriks adalah Al-5%Cu-4%Mg dimana Mg sebagai wetting agent, sedangkan penguat yang digunakan adalah 5 dan 10% Vf Al₂O₃. Pengujian mekanik yang dilakukan antara lain uji tarik, kekerasan dan keausan, sedangkan pengujian fisik, yaitu: metalografi, berat jenis, porositas, SEM/EDS dan XRD, untuk melihat fasa dan senyawa baru. Hasil pengujian menunjukkan dengan adanya penguat Al₂O₃ terjadi kenaikan sifat mekanik antara lain dengan naiknya angka kekerasan dan naiknya nilai ketahanan aus.

Kata Kunci: KML, tempa, Aluminium, Al₂O₃

Abstract

The Metal Matrix Composite (MMCs) is one of the widely used materials in the manufacturing industry, especially those based on aluminum, because this metal has low specific gravity. At this time, aluminum matrix KML with Al₂O₃ reinforcement has been widely made and used in industry. The process of making MMCs in Indonesia have just developed recently, even though the previous research have been conducted for a long time. The important factor in making MMCs in to prevent the porosity at its product. This is the reason why we conduct a forging process after the agitation process. The materials used as matrix is Al-5%Cu-4%Mg where Mg is the wetting agent, while the reinforcement used is 5 and 10% Vf Al₂O₃. Mechanical tests include: tensile, hardness and wear tests, while physical tests: metallography, specific gravity, porosity, SEM/EDS and XRD, to see new phases and compounds. With the addition of

Al₂O₃ reinforcement there is an increase in mechanical properties, among others, by increasing the number of hardness and increasing wear resistance.

Keywords : MMCs, forging, Aluminum, Al₂O₃.

PENDAHULUAN

Penggunaan material logam banyak memiliki banyak kelemahan yang sering timbul, akibat masa jenisnya yang cukup besar (Jumiadi 2000). Saat ini ada kecenderungan untuk membuat material yang memenuhi hampir semua aspek, sehingga mendorong para peneliti mengalihkan perhatiannya dari penggunaan material *monolith* ke penggunaan material baru.

Material yang banyak digunakan di industri logam dan cukup luas penggunaannya adalah alumunium, dimana salah satu jenisnya adalah alumunium -tembaga -magnesium (AlCuMg) yang bila digabungkan dengan Al₂O₃ (alumina) atau dari jenis keramik yang kuat dan keras, akan membentuk suatu material baru yang dikenal sebagai Komposit Matriks Logam, KML (*Metal Matrix Composite, MMCs*). KML pada umumnya terdiri dari sekurang-kurangnya dua penggabungan fasa yang berbeda, ada fasa yang berfungsi sebagai matriks dan fasa yang berfungsi sebagai penguat, yang secara makroskopik merupakan satu kesatuan material yang utuh (Wong, Gupta, dan Lu 1999; Jumiadi 2000).

Jenis dari material baru ini akan dijadikan bahan penelitian agar mempunyai karakteristik yang unggul dan diharapkan bisa diproduksi dengan biaya yang rendah. Berbagai macam metode pembuatan jenis ini terus diteliti termasuk pembuatan komposit dengan metode pengadukan lelehan logam atau dikenal dengan istilah *stir casting* (Jumiadi 2000; Wong, Gupta, dan Lu 1999).

Pemilihan metode *stirrer casting* dengan variabel penambahan fraksi volume pada matriks (Al₅Cu₄Mg) dengan penguat Al₂O₃, dan proses *solution heat treatment* (SHT) serta *artificial aging* pada derajat suhu yang berbeda. Adanya unsur magnesium dalam logam alumunium tersebut berfungsi sebagai *wetting agent* yang dapat meningkatkan kemampuan pembasahan antara matriks dengan penguat, karena sifat mampu basah matriks logam umumnya sangat rendah (Jumiadi 2000).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari proses pembuatan material baru

dengan menggunakan paduan Al₅Cu₄Mg sebagai matriks dan Al₂O₃ sebagai penguat untuk mengetahui pengaruh penambahan % fraksi volume Al₂O₃ terhadap karakteristik KML Al₅Cu₄Mg/Al₂O_{3(p)} yang dibuat melalui proses *stir casting* dan proses tempa. Dimana proses tempa dilakukan setelah proses pengecoran berlangsung, dan diharapkan kekuatan material bisa meningkat karena terjadinya pemadatan. Selain hal tersebut, juga untuk mengetahui karakteristik sifat dari pengaruh distribusi partikel serbuk Al₂O₃ pada matriks alumunium dengan paduan 5% tembaga dan 4% magnesium (Al₅Cu₄Mg). Juga melihat pengaruh perbedaan suhu dan lamanya waktu penahanan (*holding time*) pada waktu proses *aging* terhadap sifat material dan fasa-fasa yang terjadi. Manfaat yang diinginkan setelah percobaan ini dilakukan, yaitu membuat bahan alternatif dengan sifat mekanik yang unggul, khususnya untuk beberapa aplikasi untuk digunakan. Dengan harapan menghasilkan komposisi komposit yang dapat digunakan untuk menggantikan material monolit karena mempunyai berat jenis yang ringan dan mempunyai sifat yang lebih baik daripada material awal.

METODOLOGI

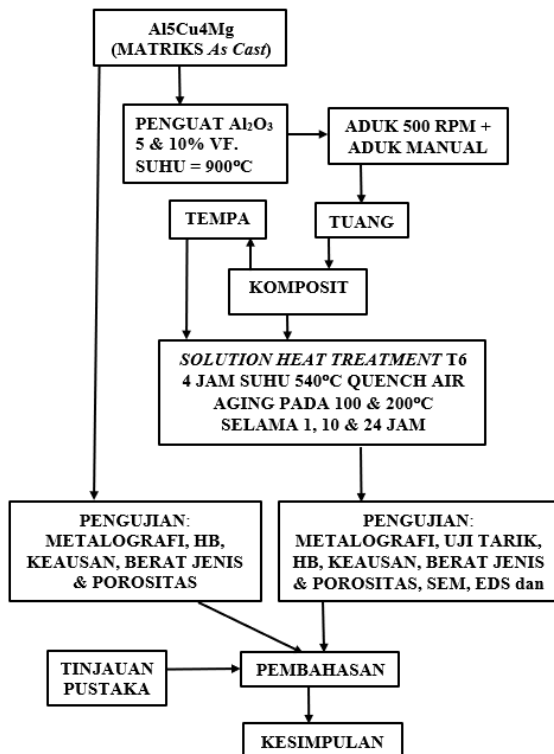
Penelitian mengenai pembuatan komposit bermatriks alumunium-tembaga-magnesium (Al₅Cu₄Mg) dengan metode pengadukan dan tempa diperlihatkan pada Gambar 1.

Pembuatan Komposit

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah Al₅Cu₄Mg hasil coran, dengan penguat alumina (Al₂O₃). sedangkan untuk gas iner yang digunakan adalah argon.

Sebelum proses pembuatan KML bermatriks Al-Cu-Mg dengan penguat Al₂O₃, dilakukan perhitungan materialnya, sehingga dapat diperkirakan banyaknya bahan baku yang diperlukan untuk proses tersebut. Matriks yang digunakan pada setiap kali *heat* diperlukan sebanyak 1300 gram. Bila penambahan partikel penguat sebesar 5 dan 10% fraksi volume, maka

dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut (Adams et al. 2001; Cocomazzi, n.d.).



Gambar 1. Skema penelitian KML

$$V_f = \frac{M_p / \rho_p}{\frac{M_m}{\rho_m} + \frac{M_p}{\rho_p}} \times 100\%$$

dimana :

- Vf = volume fraksi (%)
- Mp = berat partikel (gr)
- Mm = berat matriks (gr)
- ρp = berat jenis matriks (gr/cm³)
- ρm = berat jenis partikel (gr/cm³)

Perhitungan berat untuk menentukan logam matriks dan persentase bahan penguat yang dibutuhkan, ditunjukkan pada Tabel 2.

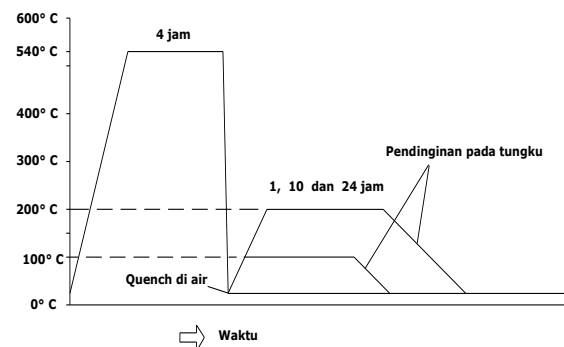
Tabel 2. Hasil perhitungan berat material

Kode sampel	Berat Al5Cu4Mg (gram)	Berat Al ₂ O ₃ (gram)	Fraksi Volume
CM5	1300	89.257	(5%)
CM10	1300	178.514	(10%)

Pembuatan komposit dilakukan dengan cara mencairkan Al5Cu4Mg pada tungku

krusibel, kemudian dimasukkan Al₂O₃ yang telah dipanaskan pada suhu 900°C pada tungku lain (Meier 2004). Pencampuran kedalam tungku krusibel tersebut dilakukan dengan cara memasukkan Al₂O₃ sedikit demi sedikit kedalam cairan matriks sambil diaduk dengan kecepatan aduk 500 rpm selama 5 menit dan diberi gas argon yang disemburkan di atas permukaan cairan (iner gas). Sewaktu cairan masih dalam keadaan kental (seperti bubur), kemudian dipindahkan ke atas landasan (*anvil*) dan ditempa dengan percepatan jatuhnya palu sekitar 2,39/detik dengan beban tempa 150 ton yang mempunyai jarak tempuh 34 cm.

Hasil tempa selanjutnya diproses laku panas T6 dengan suhu 540°C dan ditahan (*holding time*) selama 4 jam, kemudian di celup cepat (*quech*) ke dalam air yang bersuhu 26°C. Kemudian dilakukan proses *artificial ageing* dengan dua tingkat suhu yang berbeda, yaitu 100 dan 200°C dengan variasi waktu yang berlainan, yaitu: 1, 10 dan 24 jam. Untuk lebih memperjelas proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.

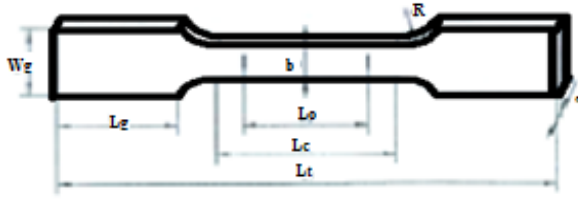


Gambar 2. Proses perlakuan panas komposit

Pengujian

Untuk mengetahui perubahan sifat mekanik dan fisik KML yang dibuat, dilakukan pengujian, antara lain adalah: analisis kimia, uji tarik, berat jenis, keausan, uji kekerasan, metalografi, SEM EDAX dan XR-D.

Pengujian analisis kimia dilakukan dengan menggunakan spectro analyzer, dimana ukuran sampel adalah 25x25 mm. Untuk pengujian tarik, ukuran benda uji diperlihatkan pada Gambar 3. (ISO-TTA 2 1997)



Specimen Type	a (mm)	Lt (mm)	R (mm)	Wg (mm)	Lg (mm)
1	3	100	12	12	25
Lc (mm)	Lo (mm)	b (mm)	Surface Finishing	Tolerance (mm)	
36	25	6	0,8	0.05	

Gambar 3. Ukuran spesimen uji komposit dengan penguat Al₂O₃ (Adams et al. 2001)

Pengujian berat jenis dan porositas pada sampel menggunakan standar ASTM C 20-00.

Pengujian keausan pada sampel, didasarkan pada *manualbook* mesin uji. Dimana spesimen digesekkan di atas cincin putar dengan kecepatan 650 rpm, dan pembebanan 1 kg dengan lama waktu putar 2 menit. Kertas ampelas yang digunakan adalah nomor 120, dengan jari-jari letak spesimen terhadap garis tengah (r)=90 mm, dan jarak luncur 650m(x). Hasil pengujian laju keausan (mm³/m) didapat berdasarkan persamaan berikut :

$$La = \frac{\text{Volume terabrasi}}{\text{keliling} \times \text{rpm} \times t}$$

La = laju keausan
r = jari-jari pengujian
t = waktu

Tinggi spesimen hasil abrasif diukur dan dibandingkan dengan tinggi spesimen sebelum di uji. Pengujian kekerasan spesimen untuk masing-masing perlakuan dan berbagai kondisi menggunakan standar ASTM 10-84, dengan metode Brinell, (HB₁₀ dan HB₃₀), pada lima titik, kemudian diambil rata-rata nya. Selanjutnya dilakukan pengamatan struktur mikro, untuk melihat fasa yang ada. Sedangkan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-ray Analysis* (EDAX) ini bertujuan untuk mengetahui struktur dengan pembesaran sampai 20.000x. Selanjutnya untuk pengujian *X-Ray Diffraction*

(XRD), yang bertujuan untuk mengetahui senyawa baru yang terbentuk dari sampel uji secara kualitatif. Sedangkan pengujian porositas pada komposit menggunakan standar ASTM C 20-00.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari percobaan dan pengujian pada sampel uji, kemudian dibahas sebagai berikut.

Analisis Kimia

Hasil pengujian kimia terhadap material matriks hasil cor yang dibuat ditunjukkan pada Tabel 3, dan karakteristik penguat Al₂O₃ pada Tabel 4. Hasil uji ingot matriks yang digunakan, kandungan alumuniumnya adalah 90,397 persen berat. Pada paduan alumunium ini, tembaga merupakan unsur paduan yang dominan. Dimana tembaga yang dikandung mencapai 5,025 sedangkan magnesium 4,127 persen berat.

Tabel 3. Komposisi Kimia Ingot matriks Hasil Cor (% berat)

Unsur, % berat					
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
0,112	0,142	5,024	0,001	4,128	0,169
Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
0,003	0,003	0,006	0,004	0,009	90,39

Tabel 4. Karakteristik Al₂O₃

Karakteristik	Nilai
Density, gr/cm ³	3,7076
Ukuran butir, μm / #	149 / -100
Warna	Putih

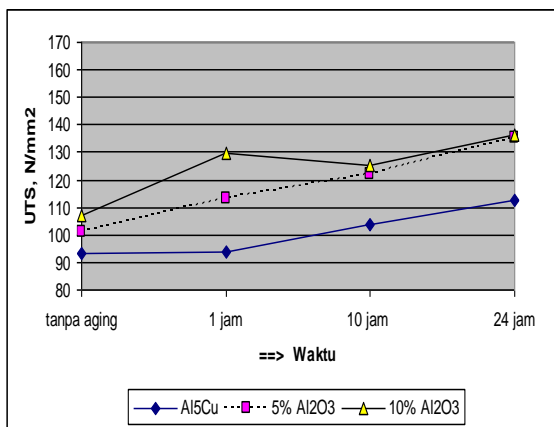
Penguat Al₂O₃ berat jenisnya adalah 3,7076 gr/cm³. Dari hasil pengayakan, partikel yang lolos tersebut adalah -100# atau bila dikonversikan dengan ukuran panjang <149 μm dengan warna putih.

Pengujian Tarik

Hasil pengujian kekuatan tarik pada percobaan ini terlihat adanya pengaruh partikel penguat Al₂O₃ pada suhu *aging* terhadap nilai kekuatan tarik. Untuk menentukan hasil tahanan tarik yield (σ_y), digunakan metode *offset* yang dilakukan terhadap semua hasil uji, karena batas dari σ_y nya tidak terlihat. Metode ini

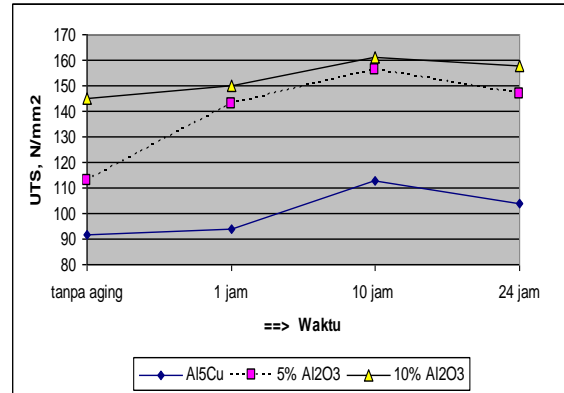
menggunakan 0,2% jarak dari titik mulai penarikan hingga titik di batas penarikan itu putus. Hasil pengujian yang dilakukan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Hasil uji matriks (AC) mempunyai kekuatan tarik 91,87 N/mm² dengan σ_y 65,33 N/mm². Nilai tarik tersebut terlihat naik dengan bertambahnya suhu dan waktu penahanan yang lebih lama (24 jam). Dari hasil uji tersebut, terlihat bahwa dengan ditambahkan penguat 10% Al₂O₃ (ALS2A10), maka hasil ujinya mencapai nilai tertinggi, yaitu 184.24 N/mm², dengan yield point mencapai 130,81 N/mm² dan nilai elongasi 7,8 %. Hal tersebut terjadi karena pada material matriks telah terjadi fasa yang disebut CuAl₂ sebagai fasa yang keras. Karena setelah perlakuan *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam dua faktor:

Pertama hasil perlakuan *solution heat treatment* akan meningkatkan kelarutan Cu dan Mg pada matriks dan hal tersebut merupakan proses penguatan larutan padat.



Gambar 4. Grafik hasil uji tarik penguat Al₂O₃ tanpa *aging* dan *aging* 100°C setelah *solution heat treatment* 540°C *quench* air (H₂O) pada suhu kamar.

Kedua, setelah proses *quenching* hasil perlakuan *solution heat treatment* akan menimbulkan kerapatan dislokasi yang tinggi di dalam matriks pada semua sampel komposit yang dibuat dan kemudian di-*aging* dimana akan terbentuk presipitat, sehingga menaikkan nilai dari kekuatan tarik komposit tersebut. Untuk komposit hasil coran (*as-cast*) tidak dilakukan pengujian tarik karena keropos.



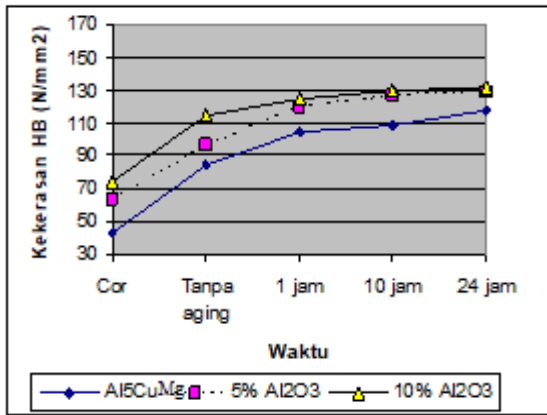
Gambar 5. Grafik hasil uji tarik penguat Al₂O₃ tanpa *aging* dan *aging* 200°C setelah *solution heat treatment* 540°C *quench* air (H₂O) pada suhu kamar.

Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Brinell untuk masing-masing sampel pada berbagai kondisi ditunjukkan mulai Gambar 6. dan Gambar 7. Hasil pengujian terhadap sampel cor, mempunyai harga kekerasan yang paling rendah dibanding dengan hasil tempa dan hasil dari proses *aging*. Kekerasan matriks hasil cor mencapai nilai 44 HB, sedangkan nilai kekerasan matriks hasil tempa, adalah 84 HB, harga ini naik bila dibandingkan dengan matriks hasil cor. Hal tersebut dikarenakan pada hasil pengecoran (*as-cast*) masih terdapat keropos, yang menyebabkan harga nilai kekerasannya rendah. Setelah diberi partikel penguat, harga kekerasan yang paling rendah adalah pada penambahan 5% Vf Al₂O₃, yaitu 63 HB sedangkan harga tertinggi dicapai oleh penambahan Al₂O₃ 10% Vf, yaitu mencapai harga 74 HB.

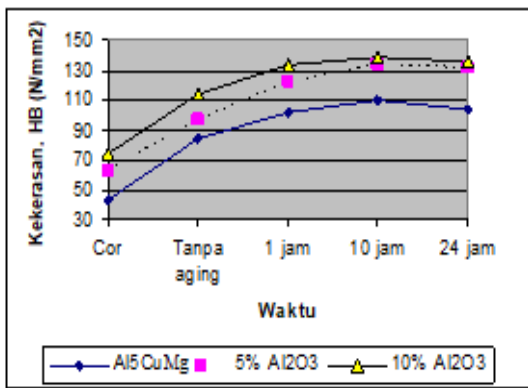
Harga kekerasan terendah dari matriks yang telah diproses *aging* adalah yang diproses selama 1 jam dengan suhu 100°C, dimana nilai kekerasannya adalah 104.65 HB, sedangkan untuk nilai kekerasan tertinggi dicapai oleh matriks yang telah di-*aging* selama 24 jam dengan suhu 200°C, dimana nilai kekerasannya mencapai 117.28 HB.

Matriks dengan penguat yang belum diproses *aging* nilai kekerasan terendah adalah 96.85 HB (5% Vf), sedangkan harga kekerasan tertinggi dicapai oleh penambahan penguat sebanyak 10% Vf, yaitu 114.25 HB.



Gambar 6. Grafik hasil uji keras penguat Al₂O₃ tanpa *aging* dan *aging* 100°C setelah *solution heat treatment* pada 540°C *quench* air (H₂O) pada suhu kamar.

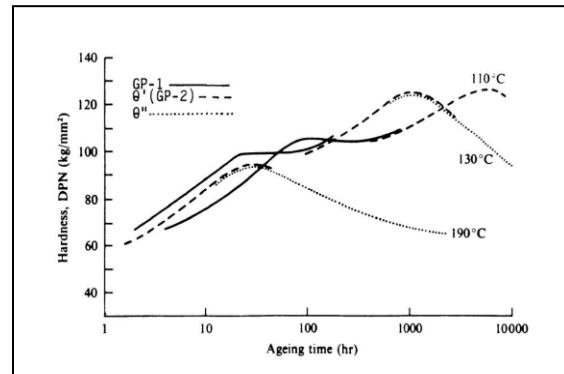
Matriks dengan penguat yang telah diproses *aging* dengan harga kekerasan terendah adalah pada penambahan 5% Vf Al₂O₃ yang di proses *aging* selama 1 jam pada suhu 100°C dengan nilai kekerasan 119.52 HB, sedangkan nilai kekerasan tertinggi adalah yang telah di *aging* selama 24 jam pada suhu 200°C dengan nilai kekerasannya mencapai 140.83 HB (Vf 10%).



Gambar 7. Grafik hasil uji keras penguat Al₂O₃ tanpa *aging* dan *aging* 200°C setelah *solution heat treatment* pada 540°C *quench* air (H₂O) pada suhu kamar.

Bila dibandingkan dengan hasil pengujian peneliti lain (Meier, 2004) dimana hasilnya ditunjukkan pada Gambar 8, yang menunjukkan

adanya pengaruh suhu *aging* terhadap harga kekerasan, hal tersebut terlihat setelah melewati rentang waktu *aging* selama 10 jam lebih dengan suhu *aging* 190°C, dimana nilai kekerasannya menurun. Untuk *aging* pada suhu 110°C memperlihatkan bahwa harga kekerasan tersebut meningkat hingga waktu *aging* sekitar 1000 jam lebih.



Gambar 8. Pengerasan presipitasi dari Al-4Cu: kekerasan dan struktur presipitasi versus waktu dengan variasi suhu (*solution treated*: 540°C selama 2 hari).

Pada percobaan pembuatan komposit yang dilakukan, terlihat bahwa terjadi penurunan kekerasan setelah proses *aging* 24 jam pada suhu 200°C, hal tersebut mendekati percobaan yang telah dilakukan oleh peneliti lain (Meier, 2004) pada suhu sekitar 190°C.

Pengujian Laju Keausan

Keausan logam adalah peristiwa lepasnya material dari suatu permukaan sehingga terjadi perubahan dimensi dan massa, yang dapat mengakibatkan terbatasnya umur atau daya guna suatu perkakas. Ketahanan aus akan bertambah dengan meningkatnya kekerasan.

Data hasil pengujian keausan dengan metode *abrasive* masing-masing sampel untuk berbagai kondisi percobaan yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Pengujian terhadap sampel cor, mempunyai harga laju keausan yang paling tinggi dibanding dengan hasil tempa dan hasil dari proses *aging*. Laju keausan matriks hasil cor mencapai harga 6.9972×10^{-4} mm³/mm, sedangkan hasil tempa nilainya adalah 4.6772×10^{-4} mm³/mm. Hal ini terjadi karena hasil

pegecoran biasanya mempunyai tingkat kepadatan yang rendah dibandingkan setelah ditempa.

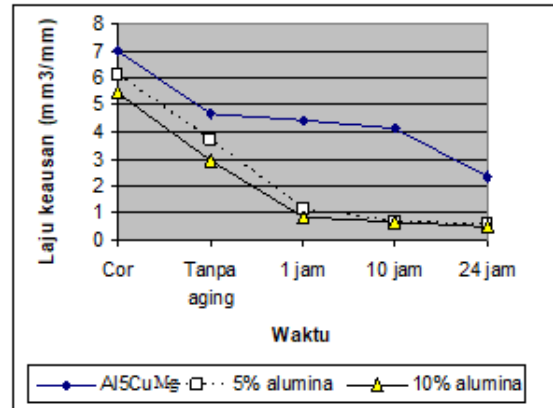
Dengan ditambahkan partikel penguat Al_2O_3 , laju keausan yang paling tinggi adalah pada matriks dengan penguat 5% Vf, yaitu $6.1087 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$, sedangkan yang terendah adalah pada penambahan 10% Vf, yaitu mencapai harga $5.4370 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$.

Nilai laju keausan matriks hasil tempa adalah $4.6772 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$, harga ini menurun sekitar 33% bila dibandingkan dengan matriks hasil cor.

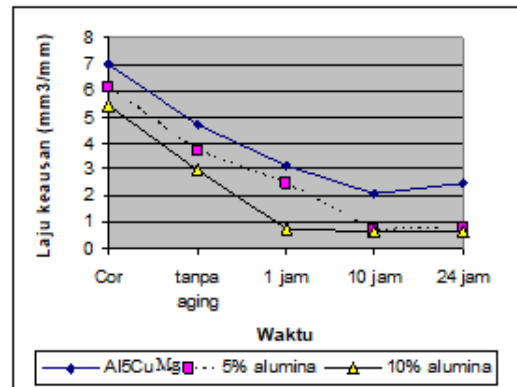
Hal tersebut dikarenakan pada hasil pengecoran (*as-cast*) masih terdapat mikro porositas yang menyebabkan harga nilai kekerasannya lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil tempa, dimana tingkat kepadatan pada hasil tempa akan lebih tinggi.

Harga laju keausan tertinggi dari matriks yang telah diproses *aging* adalah yang telah *diaging* selama 1 jam pada suhu 100°C (sampel ACS1A1) dimana nilai laju keausannya adalah $4.3882 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$, sedangkan untuk nilai laju keausan terendah adalah matriks yang telah *diaging* selama 24 jam dengan suhu 200°C (sampel ACS2A24), dimana nilai laju keausannya mencapai $2.4845 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$.

Matriks dengan penguat Al_2O_3 sebelum diproses *aging* nilai laju keausan tertinggi adalah $3.7046 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$ (5% Vf) sedangkan laju keausan terendah dicapai oleh penambahan penguat sebanyak 10% Vf, yaitu $2.9430 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$. Komposit yang telah diproses *aging* yang mempunyai harga laju keausan tertinggi dicapai oleh sampel yang telah *diaging* selama 1 jam dengan suhu 200°C dengan penguat Al_2O_3 5% Vf (AL5S2A1) yang mempunyai nilai laju keausan $2.4486 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$, sedangkan untuk nilai laju keausan terendah dicapai oleh komposit yang telah *diaging* selama 24 jam dengan suhu 100°C (AL10S2A10), dimana nilai laju keausannya mencapai angka $0.4869 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$.



Gambar 9. Grafik hasil uji aus penguat Al_2O_3 tanpa *aging* dan *aging* 100°C setelah *solution heat treatment* pada 540°C *quench* air (H_2O) pada suhu kamar.



Gambar 10. Grafik hasil uji aus penguat Al_2O_3 tanpa *aging* dan *aging* 200°C setelah *solution heat treatment* pada 540°C *quench* air (H_2O) pada suhu kamar.

Kekerasan pada material yang mengandung penguat Al_2O_3 terutama setelah diproses *aging*, menjadikan material tersebut lebih keras dibandingkan dengan material yang mengandung penguat tetapi belum diproses *aging*.

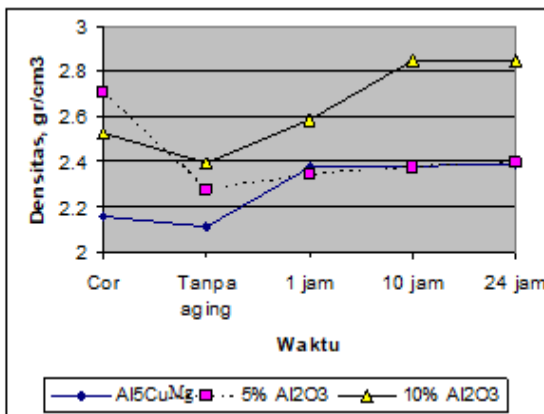
Hal ini terjadi karena pada material tersebut terjadi presipitasi pada matriks, yaitu adanya endapan CuAl_2 yang mengakibatkan terjadinya peningkatan harga kekerasan, dimana hal tersebut ditandai dengan kecilnya nilai laju keausan yang dicapai (Meier 2004).

Secara keseluruhan, material komposit hasil cor (*as-cast*) yang kemudian dilakukan proses tempa dan perlakuan panas *aging* setelah dilakukan *solution heat treatment* pada 540°C dan

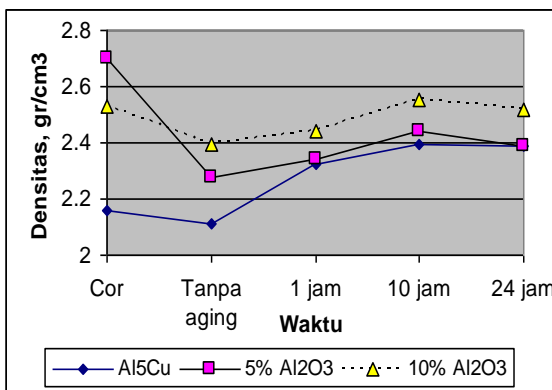
di *quench* dengan media air (H_2O) pada suhu kamar, dapat dikatakan bahwa sampel AL-10S2A10 mempunyai ketahanan aus yang baik dibanding seluruh sampel.

Pengujian Berat Jenis dan Porositas.

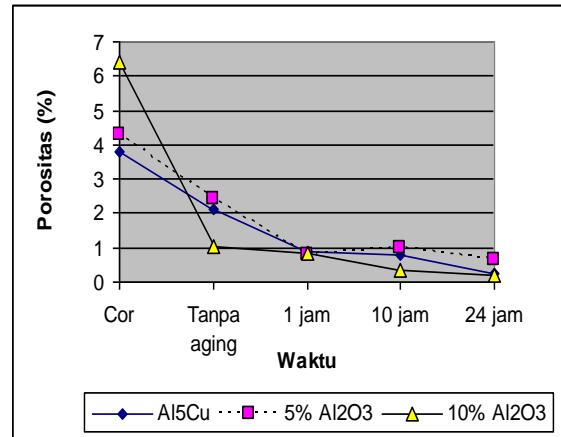
Hasil pengujian densitas untuk semua kondisi ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12, sedangkan untuk pengujian porositas yang dilakukan pada sampel ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14.



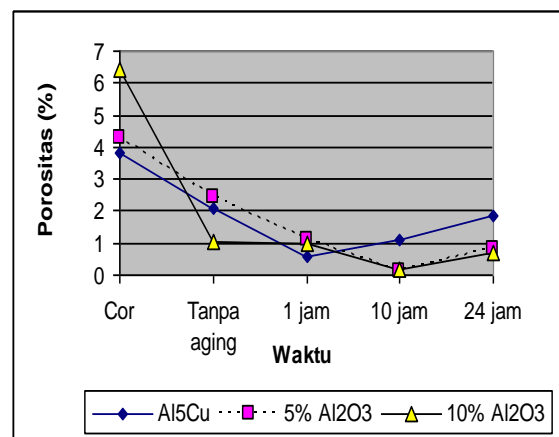
Gambar 11. Grafik hasil uji densitas penguat Al_2O_3 tanpa *aging* dan *aging* $100^\circ C$ setelah *solution heat treatment* pada $540^\circ C$ *quench* air (H_2O) pada suhu kamar.



Gambar 12. Grafik hasil uji densitas penguat Al_2O_3 tanpa *aging* dan *aging* $200^\circ C$ setelah *solution heat treatment* pada $540^\circ C$ *quench* air (H_2O) pada suhu kamar.



Gambar 13. Grafik hasil uji porositas penguat Al_2O_3 tanpa *aging* dan *aging* $100^\circ C$ setelah *solution heat treatment* pada $540^\circ C$ *quench* air (H_2O) pada suhu kamar.



Gambar 14. Grafik hasil uji porositas penguat Al_2O_3 tanpa *aging* dan *aging* $200^\circ C$ setelah *solution heat treatment* pada $540^\circ C$ *quench* air (H_2O) pada suhu kamar.

Matriks tanpa penguat dan tanpa proses perlakuan panas hasil cor (COR) nilai densitasnya adalah 2.1568 gr/cm^3 dengan persentase porositas 3.7982 . Sedangkan hasil tempa (AC), nilai densitasnya mencapai nilai 2.1147 gr/cm^3 dengan persentase porositas 2.1085 %. Dari hasil nilai tersebut terlihat bahwa densitas dan persentase porositas pada material terjadi penurunan, hal ini disebabkan bahwa dengan dilakukannya proses tempa terhadap hasil cor, mengakibatkan

terjadinya pemadatan pada material (Putu, Suarsana, dan Putri K. K 2018).

Hasil pengujian densitas terhadap komposit hasil cor dengan penguat, yang tidak ditempa, terlihat bahwa nilai yang paling tinggi dimiliki oleh komposit dengan penguat Al_2O_3 5% Vf (CM5), yaitu 2.7014 g/cm^3 dengan porositas 4.2884 %. Hasil tempa 2.2745 porositas 3.9247 %. Hal ini disebabkan karena pada hasil pengecoran kondisi penguatnya tidak merata sehingga sampel yang diuji mempunyai kerapatan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan komposit hasil coran yang lainnya dan hasil tempa.

Matriks yang telah diproses *aging* harga densitas terendah adalah 2.3778 gr/cm^3 dengan tingkat porositas 1.1008 %, sedangkan nilai yang tertinggi dicapai komposit ACS1A24, yaitu 2.3856 gr/cm^3 dengan tingkat porositasnya mencapai 0,8601 %. Dari grafik pengujian matriks dengan penguat Al_2O_3 sebelum diproses *aging* nilai densitas terendahnya adalah 2.2745 gr/cm^3 sedangkan yang tertinggi mencapai 2.8486 gr/cm^3 .

Jika kedua grafik tersebut dijadikan satu dan dihubungkan antara persentase dari penguat yang ditambahkan, proses *aging* setelah *solution heat treatment* pada 540°C dan di *quech* pada air. Terlihat bahwa berat jenis (densitas yang paling tinggi dimiliki oleh matriks dengan penambahan alumina mencapai 10%. Hal ini dimungkinkan dengan terjadinya reaksi yang semakin tinggi suhu dari proses *aging*, maka ikatan antara penguat dengan matriks semakin membaik, sehingga terjadi tingkat kepadatan yang tinggi karena suhu *aging*nya 240°C dengan lama penahanan (*holding time*) 24 jam, dimana antara matriks dengan penguat terjadi interaksi yang lebih baik bila dibandingkan dengan kondisi yang lainnya.

Matriks hasil tempa tanpa penguat yang telah diproses *aging* dengan harga porositas terendah mencapai 0.0087 % (ACS2A1) sedangkan yang tertinggi adalah 1.1008 % (ACS1A1). Matriks dengan penguat Al_2O_3 nilai porositas terendahnya adalah 0,1003 % (AL10S1A10) sedangkan yang tertinggi adalah 6,3993 % (COR10AL).

Matriks hasil tempa tanpa penguat yang telah diproses *aging* dengan harga porositas terendah mencapai 0.0087 % (ACS2A1) sedangkan yang tertinggi adalah 1.1008 % (ACS1A1). Matriks dengan penguat Al_2O_3 nilai

porositas terendahnya adalah 0,1003 % (AL10S1A10) sedangkan yang tertinggi adalah 6,3993 % (COR10AL).

Komposit hasil pengujian porositas dengan metode Archimedes nilai terendahnya adalah 0,2217% (AL-10S2A24), sedangkan yang tertinggi adalah 6,3993 % (COR10AL).

Adanya porositas tersebut terjadi karena pada waktu proses pengecoran banyak udara yang terjebak didalamnya meskipun telah “diusir” oleh gas argon, tetapi sewaktu dipindahkan udara tersebut bisa masuk.

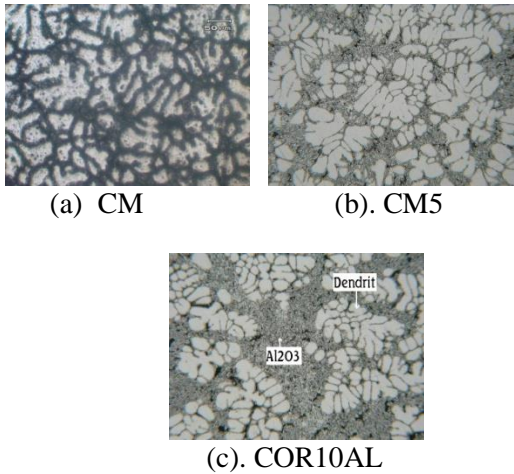
Hasil proses tempa, porositas tersebut masih ada karena pada proses sebelumnya, yaitu pada proses pengecoran porositas tersebut masih tersisa, sehingga sewaktu proses tempa dilakukan porositas tersebut tidak hilang sama sekali, tetapi hanya berkurang.

Hasil pengujian berat jenis dari seluruh material komposit yang dibuat mempunyai nilai berkisar antara 2,0394 hingga $2,8486 \text{ gr/cm}^3$. Dari data tersebut kemungkinan pada material tersebut masih ada mikro porositas, dimana hal ini perlu diteliti lebih lanjut.

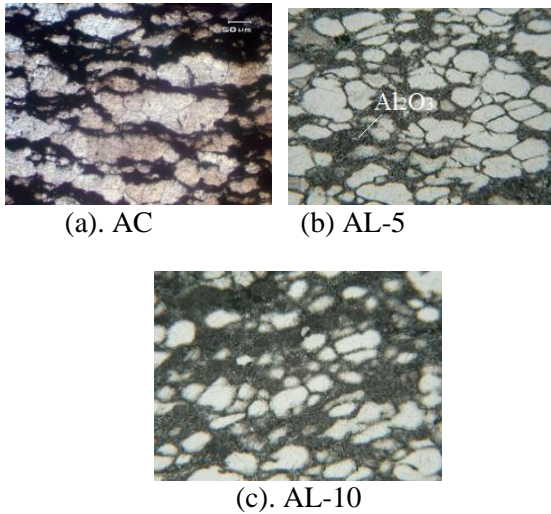
Pengamatan Metalografi.

Pada pengamatan metalografi yang telah dilakukan terhadap semua sampel percobaan dapat diketahui seperti yang tertera pada Gambar 15 - 19, dimana akan dibahas sebagai penunjang hasil pengujian yang lainnya. Pada sampel hasil pengecoran (*as cast*) terlihat pada gambar hasil pemotretan bahwa bentuk fasanya masih ada dendrit, dimana hal ini terjadi karena kecepatan pendinginan yang tinggi pada proses pembekuan yang juga merupakan ciri dari hasil pengecoran (Gambar 15.a). Sampel matriks dengan penambahan 5% Vf Al_2O_3 , ditunjukkan pada Gambar 15.b. Sedangkan untuk matriks dengan penambahan 10% Vf Al_2O_3 , ditunjukkan pada Gambar 15.c, dimana terlihat fasa dendrit dan sebaran partikel Al_2O_3 yang mengelompok.

Hasil dari produk pengecoran yang kemudian ditempa ditunjukkan pada Gambar 16.a. terlihat bahwa bentuk butir dendrit adalah pipih. Hal ini terjadi karena hasil pengecoran dengan bentuk butiran bulat berubah bentuk karena adanya pukulan yang dihasilkan dari kecepatan tinggi palu tempa terhadap benda kerja di atas landasan.



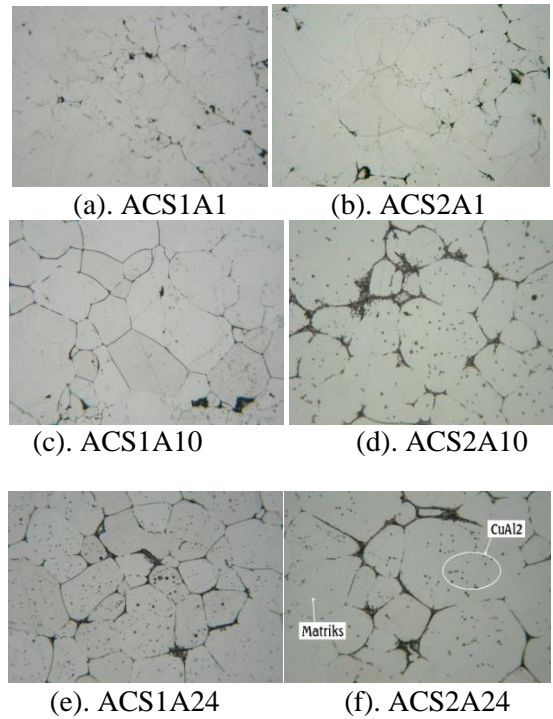
Gambar 15. Metalografi sampel hasil cor, *as cast* (a) tanpa penguat. (b) 5% Al_2O_3 , (c) 10% Al_2O_3 , Etsa: *Keller reagent*.



Gambar 16. Metalografi sampel hasil tempa (a) tanpa penguat. (b) 5% Al_2O_3 , (c) 10% Al_2O_3 . Etsa: *Keller reagent*

Pada matriks yang telah ditambahkan serbuk penguat Al_2O_3 , baik 5% Vf (Gambar 16.b) maupun 10% Vf (Gambar 16.c.) hasil dari proses tempa, terlihat bahwa matriks hasil pengecoran tersebut mempunyai bentuk dendrit dengan sebaran Al_2O_3 yang berada di sekitar batas butir yang sebagian besar mengelompok. Pada Gambar 17.a sampai dengan 17.f. yang merupakan hasil metalografi untuk keadaan matriks hasil proses tempa tanpa adanya penguat, memperlihatkan fasa θ' (CuAl_2) yang timbul akibat dari proses *aging* pada suhu 100°C atau pada 200°C sesudah proses

solution heat treatment pada suhu 540°C kemudian di *quench* pada air pada suhu 26°C .

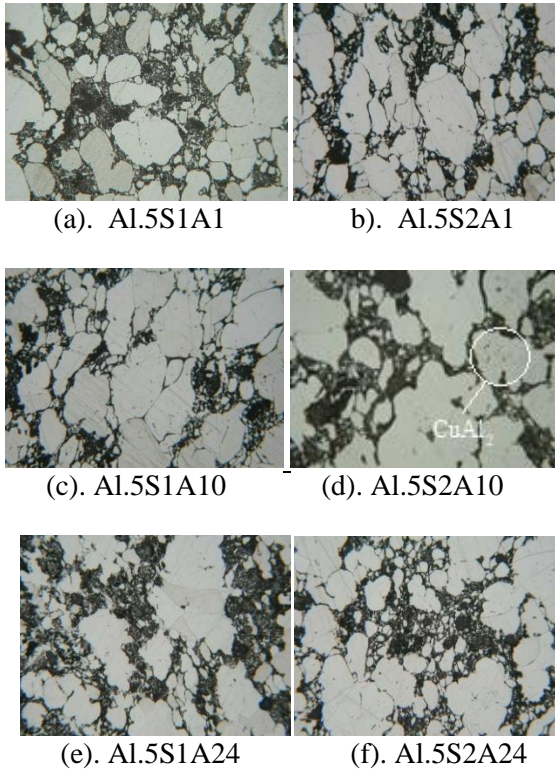


Gambar 17. Metalografi matriks hasil tempa tanpa penguat, proses *solution treatment* 540°C hold 4 jam kemudian di *aging* dengan rentang waktu dan suhu yang berbeda. Etsa: *Keller reagent*.

Jumlah fasa bulat tersebut yang tampak pada gambar akan bertambah banyak dengan bertambahnya waktu pemanasan dan tingginya suhu yang digunakan. Semakin tinggi suhu dan semakin lamanya waktu penahanan, mengakibatkan terlihat lebih banyak partikel presipitat (CuAl_2).

Dengan semakin banyaknya presipitat yang terjadi, maka nilai kekerasannya meningkat dan nilai dari laju keausanpun akan menurun, hal ini dapat terlihat dari hasil pengujian kekerasan dan keausan yang dilakukan. Terlihat pada Gambar 17.e. yang menunjukkan bahwa matriks tersebut mempunyai kekerasan yang tinggi dan tingkat laju keausan yang rendah karena terlihat pada hasil metalografi tersebut bahwa presipitasi yang terjadi lebih banyak daripada kondisi lainnya. Kondisi ini dicapai oleh matriks yang telah mengalami proses *solution heat treatment* 540°C selama 4 jam, yang

selanjutnya di-*quench* pada media air kemudian di-*aging* pada suhu 100°C dengan rentang waktu selama 24 jam. Jadi pada kondisi ini nilai kekerasannya tinggi mencapai 117 HB, yaitu sampel ACS1A24.

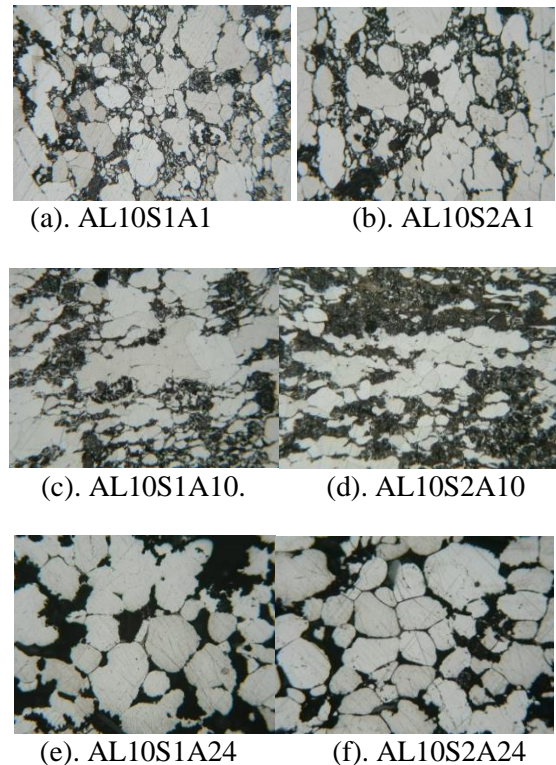


Gambar 18. Metalografi matriks dengan penguat Al_2O_3 5% Vf hasil proses *solution treatment* 540°C hold 4 jam kemudian di *aging* dengan rentang waktu dan suhu yang berbeda. Etsa: *Keller reagent*.

Pada Gambar 18. menunjukkan bahwa komposit dengan penguat Vf 5% Al_2O_3 setelah diproses *solution treatment* kemudian di *aging* dengan rentang waktu selama 24 jam pada suhu 200°C terlihat adanya titik-titik presipitasi (18.f.) yang lebih banyak bila dibandingkan dengan kondisi lainnya. Hal inilah yang mengakibatkan kekuatan mekanik dari material tersebut naik. Bila dibandingkan dengan kondisi yang telah di *aging* dengan suhu 200°C selama 1 jam terlihat pada gambar hasil metalografi tersebut, bahwa jumlah presipitasi lebih sedikit.

Untuk sampel hasil *solution heat treatment* kemudian di *aging* pada sampel yang berpenguat

Al_2O_3 baik dengan Vf 5% maupun Vf 10% ditunjukkan pada Gambar 19.a sampai 19.f, memperlihatkan adanya pengelompokan partikel penguat di sekitar batas butir. Pada pemanasan dengan suhu 200°C dan rentang waktu 24 jam memperlihatkan butirnya menjadi lebih besar dan batas butirnya banyak diisi oleh partikel Al_2O_3 .



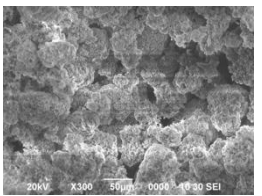
Gambar 19. Metalografi matriks dengan penguat Al_2O_3 10 % Vf hasil proses *solution treatment* 540°C hold 4 jam kemudian di *aging* dengan rentang waktu dan suhu yang berbeda. Etsa: *Keller reagent*.

Pengujian SEM dan EDS

Pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM), EDS dan mapping dilakukan terhadap Al_2O_3 dan sampel hasil kondisi cor, hasil tempa dan *aging*, tetapi tidak semuanya hanya merupakan perwakilan saja. Hasil-hasil dari pengujian tersebut ditampilkan mulai Gambar 20-24.

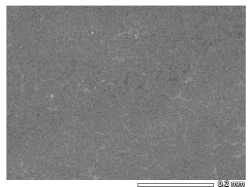
Pada hasil pengujian SEM/EDS untuk Al_2O_3 menunjukkan bahwa kandungannya mencapai 100%, yang terdiri dari 47,38 % berat Oksigen dan 52,62 % berat Aluminium. Ukuran

partikel $Al_2O_3 < 149 \mu m$ dinamakan hal tersebut dapat dilihat pada skala yang tercantum pada foto hasil uji SEM (ditunjukkan pada Gambar 20)

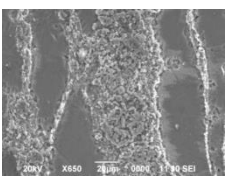
	Unsur	berat (%)	% Atom
	O	47,38	60,3
	Al	52,62	39,7

Gambar 20. Al_2O_3 hasil SEM dan EDS.

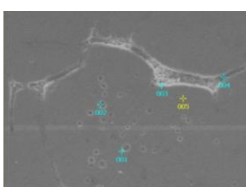
Pada matriks hasil proses tempa tersebut terlihat adanya unsur-unsur yang dominan, yaitu: Al, Cu dan Mg dimana hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 21. pada pengujian EDS. Unsur dengan peak intensitas yang tinggi adalah aluminium dengan persen berat adalah 91,95, sedangkan berikutnya adalah Cu dan Mg dengan persentase berat mencapai 4,04 dan 4,01

	Unsur	Wt (%)	% Atom
	Mg	4,01	4,7
	Al	91,95	92,94
	Cu	4,04	2,87

Gambar 21. Sampel AC hasil SEM dan EDS

	Unsur	Wt (%)	% atom
	Al	97,61	98,97
	Cu	2,39	1,03

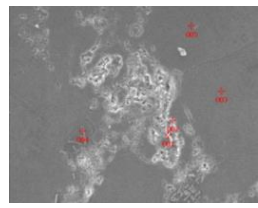
Gambar 22. SEM dan EDS sampel AL5

	Unsur	Berat (%)	% Atom
	Mg	5,86	6,52
	Al	92,20	92,68
	Cu	1,84	0,78

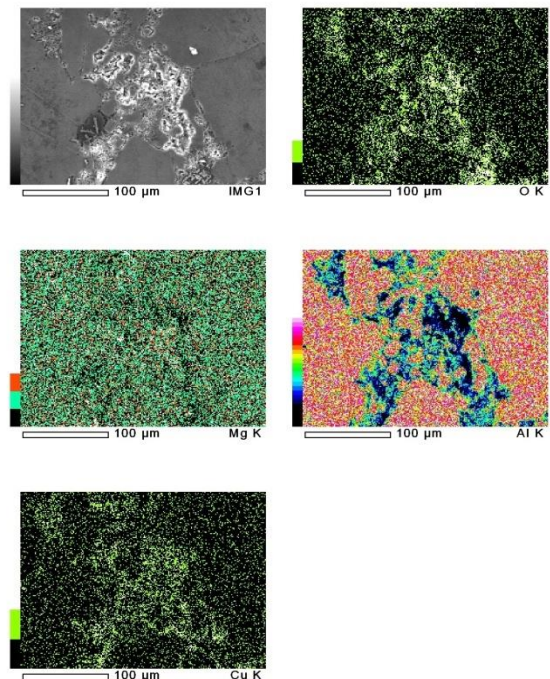
Gambar 23. SEM dan EDS sampel ACS2A24

Komposit dengan kandungan penguat 5% Vf Al_2O_3 yang ditunjukkan pada Gambar 22. terlihat pada bagian yang gelap merupakan matriks (Al5Cu4Mg) dengan penguat Al_2O_3 berada mengelompok. Dimana pada daerah matriks tersebut unsur kandungan yang dominan

adalah Al dengan puncak intensitas tertinggi dan adanya unsur Cu.

	Unsur	Berat (%)	% atom
	O	14,14	23,03
	Mg	9,19	9,85
	Al	62,25	62,03
	Cu	12,41	5,09

Gambar 24. SEM dan EDS sampel AL5S2A24



Gambar 25. Mapping sampel AL5S2A24, unsur: karbon, oksigen, magnesium, aluminium, silikon dan tembaga.

Daerah abu-abu dimana daerah ini adalah daerah yang mendekati butiran penguat, memperlihatkan bahwa didaerah tersebut ada unsur-unsur yang dominan, yaitu: O, Al dan Cu (tanda panah nomor 2). Sedangkan pada daerah yang berwarna putih dimana daerah ini merupakan batas antara butiran penguat dengan matriks (tanda panah nomor 3) memperlihatkan adanya unsur-unsur O, Mg, Al dan Cu.

Untuk *mapping* pada matriks hasil dari proses tempa yang kemudian di-*aging* pada suhu $200^\circ C$ dengan rentang waktu pemanasan selama 24 jam yang ditunjukkan pada Gambar 23., memperlihatkan bahwa pada matriks hasil penempaan tersebut telah terjadi fasa yang

berbentuk bulat, dimana dari hasil EDS menunjukkan bahwa daerah bulat bagian tepi tersebut mengandung unsur-unsur Al, Mg dan Cu. Persentase yang paling besar pada unsur tersebut adalah unsur aluminium. Pada bagian tengah dari bulatan tersebut unsur yang dominan adalah aluminium dengan beberapa kandungan unsur lainnya, yaitu: C, O, Mg dan Cu. Adanya unsur karbon yang terdeteksi ini muncul pada waktu proses pengadukan.

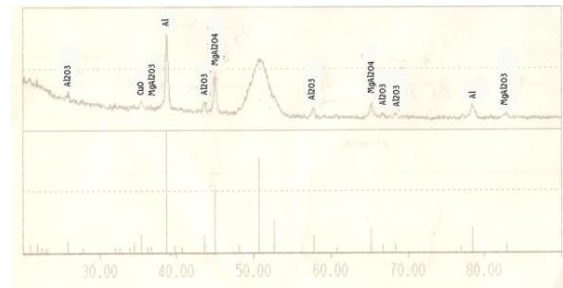
Sewaktu pengadukan dilakukan pada proses pembuatan komposit tersebut, pengaduk yang digunakan untuk mengaduk aluminium dan penguatnya dilakukan pada keadaan panas dengan suhu sekitar 660°C menggunakan batang grafit, sehingga ada partikel grafit yang terlepas dan masuk diantara celah-celah aluminium. Mengakibatkan pada daerah matriks hasil EDS (Gambar 22) terlihat bahwa unsur yang dominan adalah Al, Mg dan Cu yang merupakan unsur utama pada komposit yang dibuat dimana unsur dominan dari hasil analisis kimia adalah Al-5%Cu dan 4%Mg.

Pengujian XRD

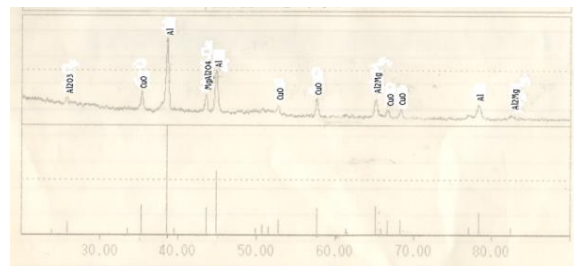
Hasil pengujian XRD sampel AL5 (matriks dengan penguat 5% Vf), ditampilkan pada Gambar 26 dan Gambar 27. Didukung oleh hasil pengujian XRD (Gambar 26.) dimana pada grafik tersebut tercantum unsur yang baru, yaitu $MgAl_2O_4$, maka jelas bahwa unsur antara tersebut adalah merupakan senyawa baru dari hasil pengadukan dan pemanasan pembuatan KML yang dibuat, yaitu *spinel*. Dimana spinel adalah merupakan senyawa yang berada diantara butiran penguat dengan matriks (Soulton 2006).

Komposit dengan penguat 5% Vf Al_2O_3 pada suhu *aging* 200°C dengan rentang waktu pemanasan selama 24 jam (AL5S2A24) pada daerah antara penguat dengan matriks menunjukkan adanya unsur-unsur dominan antara lain: O, Mg, Al dan Cu yang bila diperhatikan menunjukkan bahwa unsur-unsur ini merupakan unsur pada senyawa baru, hal ini didukung dengan hasil pengujian XRD yang memperlihatkan pada grafik tersebut adanya senyawa $MgAl_2O_4$ (spinel) yang ditunjukkan pada Gambar 27. Senyawa produk yang terbentuk dalam proses pembuatan komposit tersebut adalah Al_2O_3 , $MgAl_2O_4$, MgO, SiO. *Peak* intensitas dari Al- Al_2O_3 komposit matriks logam tersebut menunjukkan bahwa *peak*

Al lebih dominan, yang menyatakan bahwa matriks dari komposit tersebut adalah aluminium dengan Al_2O_3 sebagai penguatnya.

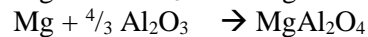
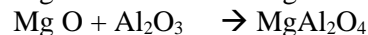
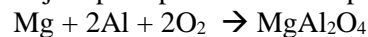


Gambar 26. Hasil pengujian XRD sampel AL5.



Gambar 27. Hasil pengujian XRD sampel AL5S1A24

Peak $MgAl_2O_4$ yang terbentuk merupakan suatu hasil reaksi produk pembasahan dari Al- Al_2O_3 dengan magnesium sebagai dopan, yaitu interface Al- Al_2O_3 . Reaksi yang diperkirakan terjadi pada pembuatan komposit ini, adalah:



Mekanisme pembentukan spinel adalah serbuk Mg teroksidasi oleh udara membentuk MgO ini terjadi sebelum suhu *melting* aluminium tercapai. Reaksi interdifusi antara MgO juga terbentuk dengan lapisan Al_2O_3 pada permukaan aluminium berubah dari MgO layer menjadi spinel. Lapisan spinel ini tidak protektif oleh sebab itu dengan mudah dibasahi oleh aluminium akibat infiltrasi aluminium dengan mekanisme reaksi dan pembentukan reaksi produk seperti yang telah diuraikan dalam tinjauan pustaka.

Hasil pengujian XRD dari beberapa sampel yang didapat, sebagai perwakilan untuk analisis dapat dilihat pada Tabel.5 dimana senyawa yang dominan dan mempunyai nilai besar saja yang ditampilkan.

Tabel. 5 Hasil Pengujian XRD Pada Sebagian Sampel Uji.

Kode Sampel	Senyawa yang ada
AL5	Al ₂ O ₃ , CuO, Mg Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₄ dan Al
AL5S1A24	Al ₂ O ₃ , CuO, Al, Mg Al ₂ O, Al ₂ Mg dan AlMg

Unsur-unsur yang ada tersebut antara lain adalah: Al₂O₃, CuO, MgAl₂O₃, Al, Al₂O₃, MgAl₂O₄, Al₂Mg, AlMg, MgO, Cu₄O₃, Al, Al₂Cu₄, FeO, AlCu, Al₂Mg.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada pembuatan Komposit Matriks Logam Al5Cu4Mg dengan penambahan penguat Al₂O₃, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekerasan material matriks hasil cor dibandingkan dengan hasil tempa naik sekitar 90,9 %, yaitu dari 44 menjadi 84 HB, sedangkan keausannya menurun 33,15%, yaitu dari 6.9972×10^{-4} (mm³/mm) menjadi 4.6772×10^{-4} (mm³/mm), menunjukkan bahwa dengan proses tempa terjadi pemadatan.
2. Semakin besar % fraksi volume Al₂O₃ akan meningkatkan sifat mekanik, nilai tertinggi dicapai pada penambahan penguat 10% Vf dengan nilai kekerasannya adalah 114 HB, kekuatan tarik (UTS) 106.89 N/mm², σ_y mencapai nilai 70,09 N/mm² dengan nilai laju keausan terendah yang dicapai adalah $2,9430 \cdot 10^{-4}$ (mm³/mm).
3. Pada penambahan % Vf Al₂O₃ setelah proses SHT 540°C, *quench* dengan media air (suhu 25°C) dan *aging*, terjadi peningkatan sifat mekanik, dengan nilai tertinggi dicapai pada penambahan penguat 10% Vf dan *aging* pada suhu 200°C selama 10 jam. Kekuatan tariknya (σ_u) adalah 184,24 N/mm² sedangkan σ_y adalah 130,81 N/mm². sedangkan nilai kekerasan mencapai 141 HB dengan nilai keausan terendah mencapai $0,4869 \cdot 10^{-4}$ (mm³/mm).
4. Dari hasil pengamatan yang dilakukan dengan analisis X-ray Diffraction, ditemukan adanya senyawa MgAl₂O₄ (*spinel*) pada antar muka matriks-partikel yang terbentuk dari hasil reaksi produk wetting antara Al5Cu-Al₂O₃ dengan Mg sebagai *dopan*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, R. C., Suresh Advani, David Alman, Finn Andersen, dan Keith Armstrong. 2001. *ASM Handbook - Volume 21 Composites*. ASM International. Vol. 21. ASM International. https://www.asminternational.org/search/-/journal_content/56/10192/06781g/publication.
- Cocomazzi, Roberto. n.d. "High Temperature Mechanical Characterization of Aluminum Based Particulate Reinforced Composites." University of Bologna V. Fontanelle, Forli, Italy.
- ISO-TTA 2. 1997. *Tensile tests for discontinuously reinforced metal matrix composites at ambient temperatures*. ISO. <https://www.iso.org/standard/27598.html>.
- Jumiadi. 2000. "Pengaruh Lama Pengadukan dan Fraksi Volume terhadap Karakterisasi Komposit Matriks Logam Al6063+ Al2O3+ 10% Mg Hasil Proses Stir Casting." Universitas Indonesia.
- Meier, Mike. 2004. "Heat Treatment of Aluminium Alloys." University of California, Davis.
- Putu, Dw Gd Eka Perdana, Ketut Suarsana, dan Cok Istri Putri K. K. 2018. "Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Matrik Aluminium Berpenguat Sicw / Al2O3 Dengan Wetting Agent Terhadap Densitas, Porositas, dan Kekerasan." *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika* 7 (1): 7–12.
- Soulton, M Fauzi. 2006. "Pengaruh temperatur pengadukan dan % volum fraksi al2o3 terhadap sifat mekanik paduan al + 10 % mg hasil stir-casing." Universitas Indonesia.
- Wong, Choon Weng, Manoj Gupta, dan Li Lu. 1999. "Effect of variation in physical properties of the metallic matrix on the microstructural characteristics and the ageing behaviour of Al-Cu/SiC metal matrix composites." *Journal of Materials Science* 34 (7): 1681–89. <https://doi.org/10.1023/A:1004549221595>.