

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>**METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal**

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

## Pengaruh Media Pendingin pada Perlakuan Panas T6 terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Komposit Al6061-Pasir pantai

Hafidh Rawi Mufti<sup>a</sup>, Hammar Ilham Akbar<sup>b</sup>, Eko Surojo<sup>a\*</sup>, Wibowo<sup>a</sup>, Teguh Triyono<sup>a</sup>, Sukmaji Indro Cahyono<sup>a</sup>, Nurul Muhayat<sup>a</sup>, Triyono<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta 57126, Indonesia

<sup>b</sup> Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta 57126, Indonesia

## INFORMASI ARTIKEL

*Sejarah Artikel:*

Diterima Redaksi: 18 Juli 2021

Revisi Akhir: 3 Oktober 2021

Diterbitkan *Online*: 21 Oktober 2021

## KATA KUNCI

Al6061

Sea sand

Stir casting

Quenching

## KORESPONDENSI

E-mail: [esurojo@ft.uns.ac.id](mailto:esurojo@ft.uns.ac.id)

## A B S T R A C T

Al6061-sea sand composite was manufactured using the stir casting method and its mechanical properties were improved by heat treatment. The T6 heat treatment used to improve the mechanical properties of the composite consists of the following processes: solution heat treatment, quenching, and artificial aging. The solution heat treatment process was carried out at a temperature of 540°C for 6 hours. The quenching process was carried out with different quenching agents (water, oil, and 10% brine). The difference in quenching agents resulted in different cooling rates. After quenching, an artificial aging process was carried out at a temperature of 200 °C for 4 hours. The difference in cooling rate affects the hardness and tensile strength of the specimen. The high cooling rate results in an increase in the tensile strength of the specimen. This is due to the increase in cooling speed, the Mg<sub>2</sub>Si precipitates formed are smaller in size and located in the grains. The highest tensile strength of specimen (206.67 MPa) is obtained by using brine quenching agent.

### 1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi industri yang semakin maju, kebutuhan akan material yang canggih, unggul, dan murah semakin meningkat [1]. Pada berbagai bidang industri seperti industri otomotif, dirgantara, kendaraan taktis militer, dan manufaktur memerlukan keterbaruan material yang ringan, biaya operasional rendah, dan memiliki performa yang unggul [2]. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka saat ini banyak dikembangkan material komposit bermatrik aluminium [3].

*Aluminum matrix composite* (AMC) merupakan bagian dari metal matrix composite (MMC). Material AMC memiliki keunggulan untuk berbagai aplikasi pada berbagai bidang karena memiliki sifat unggul dalam hal kekuatan, ketahanan aus, kekerasan, dan ketangguhan serta biaya produksi yang sangat rendah [4], [5]. Pembuatan AMC pada umumnya menggunakan partikel keramik seperti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, SiO<sub>2</sub>, TiB<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>C dan grafit sebagai penguat [6].

Penggunaan partikel keramik menghasilkan sifat mekanik yang bagus, namun biaya produksinya

mahal. Untuk menekan biaya produksi namun tetap mempertahankan sifat mekaniknya maka para peneliti telah mengembangkan penguat komposit yang tersedia di alam seperti abu dasar batubara [7], karet alam [8], bubuk cangkang telur [9], abu daun bambu [10], dan pasir pantai [11]. Pasir pantai dapat digunakan sebagai penguat pada AMC yang menggantikan partikel keramik karena kandungan mineral oksidanya seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{TiO}_2$  [12].

Pada komposit AMC, sifat mekanik dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas [13]. Tujuan dari perlakuan panas adalah dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik seperti kekuatan, kekerasan keuletan, ketangguhan dan ketahanan aus dari komposit matriks logam [14]. Salah satu perlakuan panas yang paling umum untuk aluminium adalah T6. Jenis perlakuan panas ini adalah perlakuan panas yang meliputi *solution heat treatment*, *quenching*, dan *artificial aging* [15].

Berbagai jenis media pendingin dapat digunakan di dalam proses *quenching*. Hasil penelitian Akbar *et al.* menunjukkan bahwa penggunaan larutan garam sebagai medium *quenching* menghasilkan kekerasan Al6061- $\text{Al}_2\text{O}_3$ /T6 yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan oli dan air [16]. Laju pendinginan pada saat proses *quenching* berpengaruh terhadap kekerasan hasil *aging* dimana semakin cepat laju pendinginan menghasilkan kekerasan dan kekuatan tarik yang semakin meningkat [17].

Senyawa  $\text{Mg}_2\text{Si}$  terbentuk dari kombinasi paduan Mg-Si berperan penting dalam peningkatan sifat mekanik aluminium paduan [18]. Laju pendinginan berpengaruh terhadap pembentukan presipitat yang selanjutnya akan mempengaruhi sifat mekanik material [19]. Sharma *et al.* meneliti tentang perlakuan panas T4 dan T6 pada komposit aluminium LM40-*silimate* dimana hasilnya menunjukkan bahwa perlakuan panas T6 dan waktu *aging* selama 4 jam menghasilkan nilai kekerasan tertinggi [20]. Susanto *et al.* dalam penelitiannya mengatakan bahwa waktu proses *aging* berpengaruh terhadap perubahan ukuran butir [7]. Pada penelitian sebelumnya memperlihatkan

pengaruh medium pendingin pada perlakuan panas terhadap sifat mekanik komposit Al6061 berpenguat keramik, namun belum pernah diteliti pengaruh perlakuan panas terhadap komposit Al6061-pasir pantai. Untuk itu maka perlu untuk mengetahui media pendingin yang optimum sehingga dapat menghasilkan sifat mekanik yang maksimal pada komposit Al6061-pasir pantai.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Fabrikasi Komposit

Matriks yang digunakan adalah aluminium Al6061 dengan penguat pasir pantai yang didapatkan dari Pantai Samas, Yogyakarta, Indonesia. Komposisi kimia Al6061 dan pasir pantai ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi kimia Al 6061

| Senyawa    | Mg   | Si   | Fe   | Cu   | Al      |
|------------|------|------|------|------|---------|
| Jumlah (%) | 0,63 | 0,98 | 0,19 | 0,18 | Balance |

Tabel 2. Komposisi kimia pasir pantai

| Senyawa    | $\text{SiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | Unsur lainnya |
|------------|----------------|-------------------------|---------------|
| Jumlah (%) | 51,2           | 48,2                    | 0,6           |

Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *stir casting*. Pasir pantai yang digunakan sebagai penguat diberikan perlakuan *electroless coating* terlebih dahulu dengan tujuan untuk meningkatkan *wettability* pada saat proses *stir casting*. Proses *electroless coating* dilakukan dengan cara memasukkan 40 ml  $\text{HNO}_3$  68%, 40 gram serbuk pasir pantai ukuran 150 mesh, 0,5 gram Al *fine powder*, dan 0,1 gram Mg *powder* ke dalam gelas ukur lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* yang dipanaskan pada temperatur 80°C selama 30 menit. Hasil proses *electroless coating* dilakukan pemanasan dengan tahapan pemanasan di dalam *furnace* pada temperatur 200°C selama 60 menit, pemanasan pada 400°C selama 120 menit, dan kemudian didinginkan pada suhu ruang.

Proses *stir casting* dilakukan dengan cara meleburkan Al6061 di dalam krusibel pada temperatur 750°C. Setelah logam Al6061 melebur, 4%wt pasir pantai yang telah diberi perlakuan

*electroless coating* dan 1%wt serbuk Mg dimasukkan ke dalam Al6061 cair, dan kemudian dilakukan proses pengadukan menggunakan *four blade impeller* yang sudah dilapisi TiO<sub>2</sub> pada kecepatan 600 rpm selama 10 menit. Hasil *stir casting* dituang ke dalam cetakan permanen yang sebelumnya sudah dipanaskan di dalam *furnace* pada temperatur 500°C.

**2.2. Perlakuan Panas**

AMC yang dihasilkan dari tahap sebelumnya selanjutnya diberi perlakuan panas T6 yang meliputi proses *solution heat treatment*, *quenching*, dan *artificial aging*. Pada tahapan proses *solution heat treatment*, spesimen dipanaskan di dalam *furnace* pada temperatur 540°C selama 6 jam. Proses *quenching* menggunakan 3 variasi media *quenching*, yaitu air, oli, dan larutan garam 10%. Spesimen yang telah didinginkan dengan cepat (*quenching*) kemudian dilakukan proses *artificial aging* yaitu spesimen dipanaskan kembali ke dalam *furnace* pada temperatur 200°C selama 4 jam. Selanjutnya, spesimen dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan pada temperatur ruang. Tabulasi spesimen ditunjukkan oleh Tabel 3.

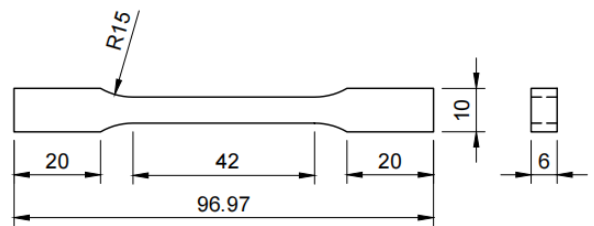
Tabel 3. Kode spesimen komposit

| Kode spesimen | Perlakuan                               | Media pendingin   | Jumlah spesimen |
|---------------|---|-------------------|-----------------|
| Pure          | Tanpa penguat dan tanpa perlakuan panas | -                 | 7               |
| NHT           | Tanpa perlakuan panas                   | -                 | 7               |
| HT-O          | Perlakuan panas                         | Oli               | 7               |
| HT-W          | Perlakuan panas                         | Air               | 7               |
| HT-B          | Perlakuan panas                         | Larutan garam 10% | 7               |

**2.3. Pengujian Tarik**

Pengujian kekuatan tarik mengacu pada standar JIS Z2201. Alat yang digunakan adalah mesin *servo-hydraulic universal testing machine* (UTM) yang diproduksi oleh SANS Testing Machine Co., LTD. tipe SHT 4106 dengan kapasitas pembebanan

maksimal 1000 kN. Bentuk spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen uji Tarik

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Pengujian Kekuatan Tarik**

Pada pengujian tarik dihasilkan beberapa data seperti terlihat pada Tabel 4. Hasil pengujian kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*), kekuatan luluh (*yield strength*), dan elongasi masing-masing disajikan dalam bentuk diagram dengan membandingkan tiap variasi media pendingin ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

Tabel 4. Data hasil uji tarik komposit

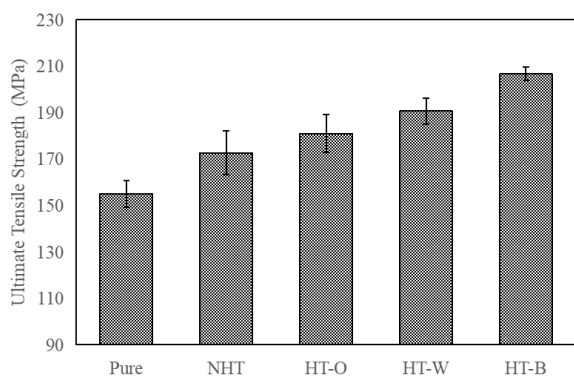
| Keterangan   | Pure   | NHT    | HT-O   | HT-W   | HT-B   | Al6061-T6 [31] |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| YS (MPa)     | 112,06 | 114,85 | 124,11 | 131,43 | 132,77 |                |
| UTS (MPa)    | 155,01 | 172,67 | 181,00 | 190,67 | 206,67 | 217,33         |
| Elongasi (%) | 3,34   | 3,15   | 3,05   | 2,95   | 2,26   |                |

Nilai kekuatan tarik pada Gambar 2 menunjukkan tren yang meningkat. Pada spesimen HT-B memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar 206,67 MPa, urutan berikutnya adalah spesimen HT-W yang memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 190,67 MPa, dan spesimen HT-O sebesar 181 MPa. Dan sebagai kontrol yaitu spesimen NHT yang memiliki kekuatan tarik sebesar 172,67 MPa dan spesimen Pure sebesar 155,01 MPa.

Kekuatan tarik komposit yang mengalami proses perlakuan panas T6 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa proses perlakuan panas. Hal tersebut disebabkan karena pada spesimen dengan perlakuan panas T6 menghasilkan presipitat-presipitat yang berukuran lebih kecil

dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Banyaknya jumlah presipitat halus yang terbentuk mengakibatkan nilai kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan [7].

Spesimen dengan media pendingin larutan garam (*brine*) memiliki nilai kekuatan tarik yang paling tinggi. Hal itu dikarenakan *brine* memiliki laju pendinginan lebih tinggi dibandingkan dengan air dan oli [21]. Semakin tinggi laju pendinginan, nilai kekuatan tarik semakin meningkat. Laju pendinginan yang lebih tinggi mempengaruhi jumlah presipitasi  $Mg_2Si$  yang berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit Al6061-pasir pantai [16]. Akan tetapi, kekuatan tarik spesimen HT-B lebih rendah dibandingkan dengan Al6061-T6 karena adanya porositas di dalam komposit.

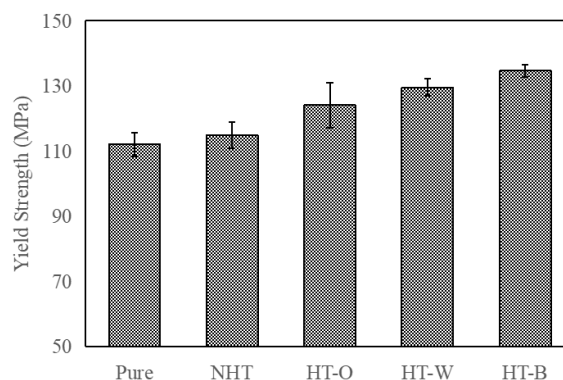


Gambar 2. Kekuatan tarik (UTS) komposit Al6061-pasir pantai

Nilai kekuatan luluh yang ditunjukkan pada Gambar 3 memiliki tren yang meningkat. Pada spesimen kontrol yaitu spesimen Pure dan NHT masing-masing memiliki nilai kekuatan luluh sebesar 112,06 MPa dan 114,85 MPa. Kemudian pada spesimen HT-O memiliki nilai kekuatan luluh sebesar 124,11 MPa, dan spesimen HT-W sebesar 129,56 MPa. Nilai kekuatan luluh tertinggi dihasilkan pada spesimen HT-B yaitu sebesar 134,64 MPa. Nilai kekuatan luluh komposit memiliki tren yang sama dengan nilai kekuatan tarik komposit.

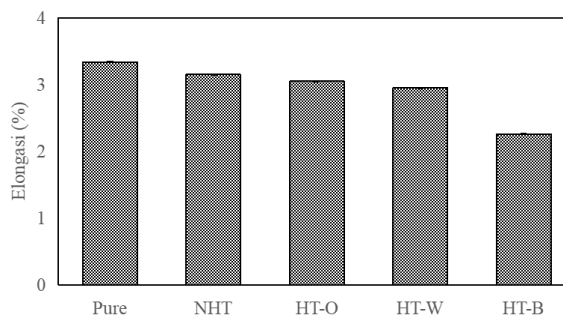
Elongasi adalah besaran dari keuletan bahan logam, yaitu sifat yang menunjukkan kemampuan bahan logam untuk terdeformasi plastis ketika diberi

beban atau gaya tarik [22]. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai elongasi komposit Al6061-Pasir pantai mengalami tren yang menurun di setiap variasi media pendingin ditunjukkan pada Gambar 4. Pada spesimen komposit Al6061 tanpa penguat memiliki nilai elongasi sebesar 3,34%, dan pada spesimen komposit tanpa perlakuan panas (NHT) adalah sebesar 3,15%. Nilai elongasi terendah diperoleh dengan media pendingin *brine* (HT-B) yaitu sebesar 2,26%, selanjutnya diikuti oleh media air (HT-W) yaitu sebesar 2,95%, dan dengan media oli (HT-O) yaitu sebesar 3,05%.



Gambar 3. Kekuatan luluh komposit Al6061-pasir pantai

Nilai elongasi komposit Al6061-Pasir pantai memiliki grafik tren yang berbanding terbalik dengan kekuatan tariknya seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Penurunan nilai elongasi ini disebabkan karena sifat material yang semakin kuat maka material tersebut semakin getas sehingga keuletannya semakin rendah [22].

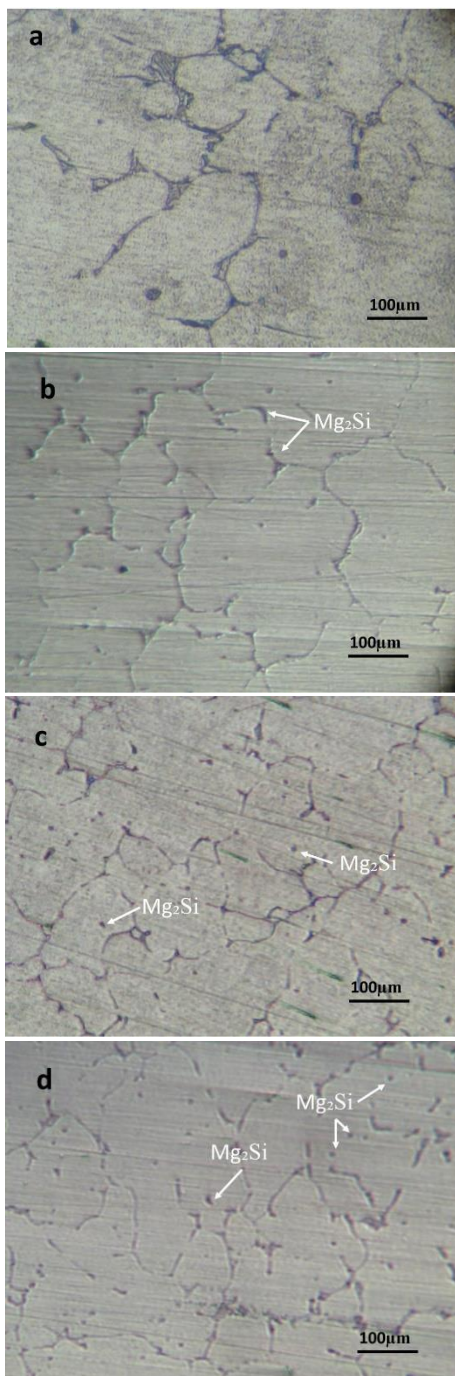


Gambar 4. Nilai elongasi komposit Al6061-Pasir pantai

### 3.2. Pengamatan Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro pada Gambar 5 menunjukkan pengaruh perlakuan panas dengan

variasi media quenching pada komposit Al6061-Pasir pantai. Laju pendinginan pada proses quenching berpengaruh terhadap proses pembentukan  $Mg_2Si$  ketika proses aging [16].



Gambar 5. Pengamatan struktur mikro dengan media *quenching*: (a) tanpa perlakuan panas; (b) oli; (c) air; (d) larutan garam (*brine*)

Pengamatan struktur mikro pada spesimen NHT dapat dilihat pada Gambar 5 (a). Pada spesimen NHT dapat diketahui bahwa adanya presipitat  $Mg_2Si$  yang sudah terbentuk di batas butir. Struktur

mikro pada spesimen HT-O dengan media pendingin oli ditunjukkan pada Gambar 5 (b). Pada spesimen HT-O menunjukkan bahwa adanya presipitat  $Mg_2Si$  yang terbentuk di batas butir dan dengan ukuran yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan kekuatan komposit menurun. Fenomena ini terjadi karena oli memiliki laju pendinginan yang lambat [16].

Pengamatan struktur mikro pada spesimen HT-W dengan media pendingin air ditunjukkan pada Gambar 5 (c). Pada spesimen HT-W ditemukan presipitat  $Mg_2Si$  yang terbentuk di tengah butir dan berukuran besar, pembentukan presipitat  $Mg_2Si$  ditengah butir mengakibatkan peningkatan sifat mekanik komposit karena pembentukan presipitat didalam butir memberikan efek penguatan pada aluminium paduan Mg-Si [16]. Pada Gambar 5 (d) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen HT-B dengan media pendingin larutan garam (*brine*). Pada spesimen HT-B terbentuk presipitat  $Mg_2Si$  di dalam butir yang berukuran lebih halus dibandingkan dengan media quenching oli dan air. Pembentukan presipitat yang lebih halus ini dikarenakan laju pendinginan *brine* merupakan yang paling tinggi. Semakin tinggi laju pendinginan maka presipitat yang terbentuk akan semakin halus dan berada di dalam butir, sehingga memberikan efek penguatan pada material [16]. Selain keberadaan presipitat, perbedaan media *quenching* juga berpengaruh terhadap rata-rata diameter butir yang terbentuk, seperti ditunjukkan Tabel 5. Semakin tinggi laju pendinginan, maka ukuran butir yang terbentuk akan semakin halus, hal ini juga berpengaruh terhadap kekuatan komposit Al6061-pasir pantai

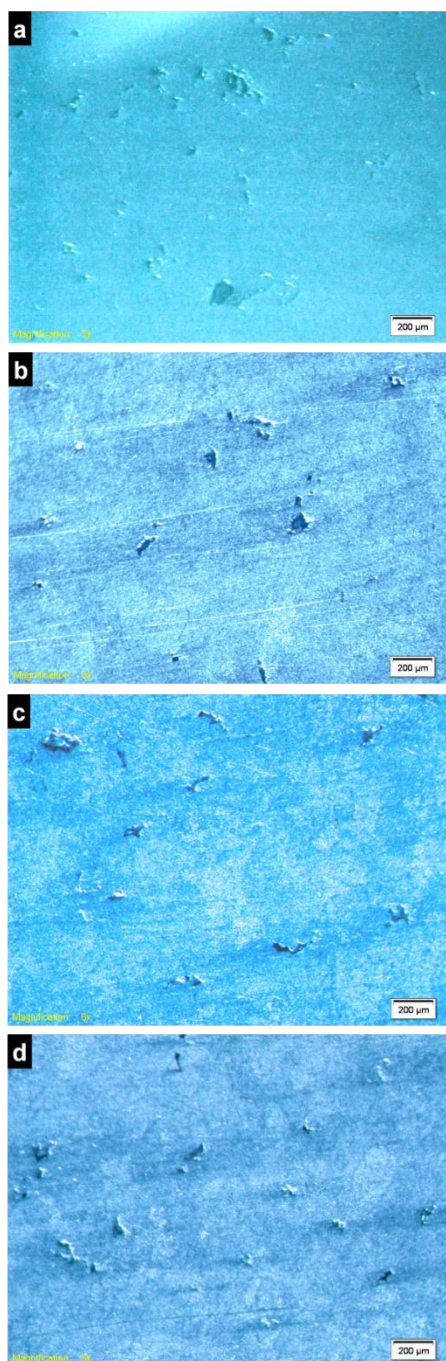
Tabel 5. Rata-rata diameter butir

| Quenchant         | NHT    | Oli    | Air | Brine |
|-------------------|--------|--------|-----|-------|
| Ukuran butir (µm) | 221,68 | 236,22 | 183 | 157,1 |

### 3.3. Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro dilakukan dengan cara menghaluskan permukaan spesimen (tanpa proses etsa) sehingga dapat dibedakan antara matriks aluminium dan penguat pasir pantai. Pengamatan

makro pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada setiap variasi spesimen memiliki distribusi penguat pasir pantai yang hampir sama. Fenomena tersebut



Gambar 6. Hasil pengamatan foto makro; (a) tanpa perlakuan panas (b) oli (c) air (d) larutan garam (*brine*)

menunjukkan bahwa proses perlakuan panas dengan variasi media *quenching* tidak berpengaruh pada distribusi dan ukuran partikel penguat pasir pantai pada komposit Al6061-Pasir pantai. Hal ini dikarenakan spesimen merupakan hasil dari hasil

coran (ingot) yang sama, yang kemudian dilakukan proses pemésinan untuk membentuk spesimen uji tarik sehingga distribusi partikel antar spesimen relatif seragam.

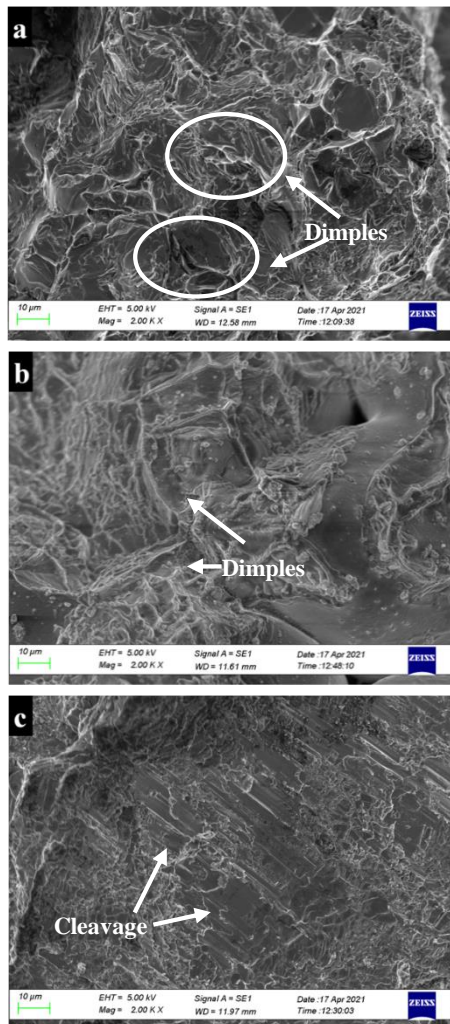
### 3.4. Pengamatan Foto Patahan SEM

Pengamatan foto SEM (*scanning electron microscope*) pada patahan tarik komposit Al6061-Pasir pantai tanpa perlakuan panas ditunjukkan pada Gambar 7 (a). *Dimple* terlihat jelas pada permukaan sampel tanpa perlakuan panas. Kombinasi rongga mikro (*micro-voids*) yang mengendap di daerah regangan lokal (partikel kaya zat terlarut sekunder, dislokasi batas butir, kekosongan) menghasilkan pembentukan *dimple* [23]. Patahan partikel presipitat, *interface debonding*, dan retak matriks adalah mode kegagalan utama yang menyebabkan terbentuknya *dimples* yang tidak seragam [24]. Patahan ulet komposit dicirikan oleh ukuran *dimple* yang lebih homogen dan lebih dalam [25]. Gambar 7 memperlihatkan *dimple* yang dalam dengan tampilan sarang lebah menunjukkan sampel mengalami kegagalan patah ulet [26], [27].

Hasil foto SEM patahan tarik komposit dengan variasi media *quenching* oli ditunjukkan pada Gambar 7 (b). Ciri-ciri patah getas dan ulet muncul secara bersamaan. Ini adalah tipikal bahan polifase, di mana komponen struktur mikro memiliki sifat mekanik yang berbeda. Karakteristik *dimples* yang terbentuk memiliki bentuk yang memanjang [28]. Penurunan yang cukup besar dalam kepadatan *dimple* diamati pada sampel *quenching* dengan oli dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan panas. Pada daerah yang terlokalisir, patahan dapat disebabkan oleh robekan atau geser, yang mengakibatkan terbentuknya *dimple* yang memanjang [23].

Gambar 7c menunjukkan foto SEM patahan tarik komposit Al6061-Pasir pantai dengan variasi media *quenching brine*. *Dimple* yang lebih sedikit dan lebih dangkal mengindikasikan keuletan yang rendah [29]. *Dimple* yang dangkal terlihat pada permukaan sampel dengan media *quenching brine* yang menunjukkan kegagalan patah getas [26].

Proses patahan getas yang terjadi dalam bentuk patah pembelahan (*cleavage*) meliputi slip yang disebabkan oleh retakan pada beberapa partikel getas, perambatan retakan mikro pada batas partikel/matriks, dan pertumbuhan retakan besar secara transgranular [30].



Gambar 7. Foto SEM patahan tarik; (a) tanpa perlakuan panas, (b) oli, (c) *brine*

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas T6 dengan media pendingin oli, air, dan *brine* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik pada komposit Al6061-Pasir pantai. Presipitat  $Mg_2Si$  yang terbentuk setelah proses perlakuan panas mengakibatkan terjadinya perubahan sifat mekanik komposit. Laju pendinginan yang lebih tinggi

menghasilkan presipitat-presipitat  $Mg_2Si$  yang berukuran kecil dan terletak di dalam butir sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan juga semakin tinggi. Laju pendinginan yang lebih rendah, presipitat  $Mg_2Si$  yang terbentuk cenderung berukuran lebih besar dan terletak di batas butir. Proses quenching yang menggunakan media pendingin *brine* menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan media pendingin air dan oli.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh RKAT PTNBH Universitas Sebelas Maret Tahun Anggaran 2021 melalui skema penelitian hibah grup riset (Penelitian HGR-UNS) dengan Nomer Kontrak: No. 260/UN27.22/HK.07.00/2021.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Shinde, S. G. Kulkarni, and S. S. Kulkarni, "Manufacturing of Aluminium Matrix Composite Processing of Amc ' S : Stir Casting ;," *Int. J. Innov. Eng. Res. Technol. [IJIERT]*, vol. 2, no. 5, pp. 1–6, 2015.
- [2] S. Dhanesh, K. S. Kumar, N. K. M. Fayiz, L. Yohannan, and R. Sujith, "Recent developments in hybrid aluminium metal matrix composites: A review," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020.
- [3] R. G. Bhandare and P. M. Sonawane, "Preparation of Aluminium Matrix Composite by Using Stir Casting Method," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 61–65, 2013.
- [4] S. Gopalakrishnan and N. Murugan, "Production and wear characterisation of AA 6061 matrix titanium carbide particulate reinforced composite by enhanced stir casting method," *Compos. Part B Eng.*, vol. 43, no. 2, pp. 302–308, 2012.
- [5] A. S. Negi and T. Shanmugasundaram, "Hybrid particles dispersion strengthened aluminum metal matrix composite processed by stir casting," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020.
- [6] V. Chak, H. Chattopadhyay, and T. L. Dora, "A review on fabrication methods, reinforcements and mechanical properties of

- aluminum matrix composites,” *J. Manuf. Process.*, vol. 56, pp. 1059–1074, 2020,
- [7] J. Susanto, H. Seputro, and E. Santoso, “Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Waktu Aging Pada Perlakuan Panas T6 Terhadap Struktur Mikro,” *J. Has. Penelit. LPPM Untag Surabaya*, vol. 01, no. 02, pp. 227–238, 2016.
- [8] V. S. Vinod, S. Varghese, and B. Kuriakose, “Degradation behaviour of natural rubber-aluminium powder composites: Effect of heat, ozone and high energy radiation,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 75, no. 3, pp. 405–412, 2002.
- [9] G. S. balan, “Investigations on egg shell powder and glass fiber reinforced aluminium matrix composite,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020.
- [10] B. P. KUMAR and A. K. BIRRU, “Microstructure and mechanical properties of aluminium metal matrix composites with addition of bamboo leaf ash by stir casting method,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 27, no. 12, pp. 2555–2572, 2017.
- [11] H. I. Akbar, E. Surojo, and D. Ariawan, *Effect of Sea Sand Content on Hardness of Novel Aluminium Metal Matrix Composite AA6061/Sea Sand*. Springer Singapore, 2020.
- [12] Alimin, Maryono, and S. E. Putri, “Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Losari Kota Makassar Menggunakan XRF dan XRD,” *J. Fak. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam Univ. Negeri Makassar*, pp. 19–23, 2013.
- [13] A. M. El-Sabbagh, M. Soliman, M. A. Taha, and H. Palkowski, “Effect of rolling and heat treatment on tensile behaviour of wrought Al-SiCp composites prepared by stir-casting,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 10, pp. 1669–1681, 2013.
- [14] K. Rajkumar, P. Rajan, and J. M. A. Charles, “Microwave heat treatment on aluminium 6061 alloy-boron carbide composites,” *Procedia Eng.*, vol. 86, pp. 34–41, 2014.
- [15] S. K. Tiwari, S. Soni, R. S. Rana, and A. Singh, “Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Aluminium alloy-Fly ash Metal Matrix Composite,” *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 3458–3465, 2017.
- [16] H. I. Akbar, E. Surojo, D. Ariawan, and A. R. Prabowo, “Experimental study of quenching agents on Al6061–Al2O3 composite: Effects of quenching treatment to microstructure and hardness characteristics,” *Results Eng.*, vol. 6, no. December 2019, p. 100105, 2020.
- [17] B. Benjunior, A. H. Ahmad, M. M. Rashidi, and M. S. Reza, “Effect of Different Cooling Rates Condition on Thermal Profile and Microstructure of Aluminium 6061,” *Procedia Eng.*, vol. 184, pp. 298–305, 2017.
- [18] J. Mulyanti, “Pengaruh Temperatur Proses Aging Terhadap Karakteristik Material Komposit Logam Al-Sic Hasil Stircasting,” *J. Kompetensi Tek.*, vol. 2, no. 2, pp. 95–104, 2011.
- [19] S. Y. Chen, K. H. Chen, G. S. Peng, X. Liang, and X. H. Chen, “Effect of quenching rate on microstructure and stress corrosion cracking of 7085 aluminum alloy,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 22, no. 1, pp. 47–52, 2012.
- [20] S. Sharma, T. Nanda, and O. P. Pandey, “Investigation of T4 and T6 heat treatment on the wear properties of sillimanite reinforced LM30 aluminium alloy composites,” *Wear*, vol. 426–427, no. December 2018, pp. 27–36, 2019.
- [21] H. I. Akbar, E. Surojo, and D. Ariawan, “Effect of quenching agent on dimension stability of Al 6061-Al2O3 composite,” *MATEC Web Conf.*, vol. 159, pp. 1–6, 2018.
- [22] W. D. Callister Jr, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 7th ed., vol. 26, no. 14. Utah: John Wiley & Sons Inc, 1991.
- [23] M. Engineering and S. Issn, “Tensile fractography of artificially aged Al6061-B4C composites Sathyashankara,” *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 12, no. 3, pp. 3866–3875, 2018.
- [24] A. Hossain and A. S. W. Kurny, “Effect of Cu and Ni on the mechanical properties and fracture behavior of Al – Si – Mg cast alloys,” vol. 7, no. 2014, pp. 154–159, 2015.
- [25] A. Malekan, M. Emamy, J. Rassizadehghani, and A. R. Emami, “The effect of solution temperature on the microstructure and tensile properties of Al – 15 % Mg 2 Si composite,” *Mater. Des.*, vol. 32, no. 5, pp. 2701–2709, 2011.
- [26] N. T. Aboulkhair, I. Maskery, C. Tuck, I. Ashcroft, and N. M. Everitt, “The microstructure and mechanical properties of selectively laser melted AlSi10Mg: the effect of a conventional T6-like heat treatment,” pp. 1–21.



- [27] H. Reza and J. Nodooshan, "Microstructure and Tensile Properties of Al-15wt % Mg<sub>2</sub>Si Composite after Hot Extrusion and Heat Treatment," *Key Eng. Materials*, vol. 471-472, pp. 1171-1176, 2011.
- [28] N. Nasiri, M. Emamy, A. Malekan, and M. H. Norouzi, "Materials Science & Engineering A Microstructure and tensile properties of cast Al – 15 % Mg<sub>2</sub> Si composite : Effects of phosphorous addition and heat treatment," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 556, pp. 446–453, 2012.
- [29] G. N. Ma, D. Wang, Z. Y. Liu, B. L. Xiao, and Z. Y. Ma, "An investigation on particle weakening in T6-treated SiC/Al–Zn–Mg–Cu composites," *Mater. Charact.*, vol. 158, no. September, 2019.
- [30] T. Zhang *et al.*, "Heat treatment simulation investigation on the mechanical performance of the inter-critical heated affected zone (ICHAZ) in ship plate steel weld joint," *Appl. Ocean Res.*, vol. 101, no. June, p. 102237, 2020.
- [31] J. Sidik, M. Sholihin, R. Arthur, "Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas Aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium AA 6061", *Traksi: Majalah Ilmiah Teknik Mesin.*, Vol. 19 No. 1 hlm. 1-8, 2019