

## ANALISIS KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO ADC12 HASIL PENGECORAN SEMI SOLID DENGAN *PRECIPITATION HARDENING*

Muas M<sup>1)</sup>, Syaharuddin Rasyid<sup>1)</sup>, Anwar M<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

Aluminum and its alloys are quite important types of material due to their high technological value and wide application. In the automotive industry, the problems surrounding the use of fuel and weight reduction of the components used, have made the use of aluminum alloys in this industry growing. By reducing the weight of the components used, energy consumption in terms of fuel consumption and exhaust emissions can also be reduced. Of the various types of aluminum alloys, ADC12 aluminum alloy is the most commonly used alloy in the automotive industry. In recent years, the use of aluminum alloys has increased, especially in the automotive industry, which uses secondary recycled aluminum in the form of various components such as pistons, cylinder heads, wheels, load floor suspensions (1), crank cases and manifolds (2). However, the Al-Si-Cu alloy from casting still has low mechanical properties (3) so that another process is needed to increase its strength. One way is through a heat treatment process. In general, this research aims to optimize the hardness and microstructure of aluminum alloy ADC12 through precipitation hardening process. In particular, to analyze the effect of variations in quenching temperature (10, 30, and 50°C), aging temperature (170, 180, and 190°C), and aging time or artificial aging (0, 1, 3, 5, 7, and 9 hours) on hardness and grain size of ADC12 aluminum alloy. The research method used is literature study, ADC12 ingot material preparation, semi-solid casting process, hardness and microstructure testing, precipitation hardening process, hardness and microstructure testing, microstructure analysis with Image J, and test result data using statistical methods (Design of Expert). The conclusions of this study are: 1). There is an increase in the hardness of ADC12 aluminum alloy after going through solution treatment and aging, 2) The optimal hardness value for aging temperature 170°C is 83.0 HB at 10°C coolant medium temperature specimen and 7 hours aging time, 3). The optimal hardness value for the aging temperature of 180°C is 84.1 HB in the specimen with a cooling medium temperature of 10°C and an aging time of 5 hours, and 3). The optimal hardness value for the aging temperature of 190°C was 83.3 HB in the specimen with a coolant medium temperature of 10°C and an aging time of 3 hours, and 4). Heat treatment (precipitation hardening) on aluminum alloy ADC 12 increases the hardness value due to the peroidisation of the eutectic silicon phase containing CuAl<sub>2</sub> which acts as a precipitate in the matrix.

Keywords: *ADC12, Semi Solid Casting, Precipitation Hardening.*

### 1. PENDAHULUAN

Aluminium dan paduannya merupakan jenis material yang cukup penting dikarenakan nilai teknologinya yang tinggi dan aplikasinya yang luas. Dalam industri otomotif, permasalahan seputar pemakaian bahan bakar dan pengurangan berat dari komponen yang digunakan, telah membuat penggunaan paduan aluminium dalam industri ini semakin berkembang. Dengan mengurangi berat dari komponen yang digunakan maka konsumsi energi dalam hal penggunaan bahan bakar dan emisi gas buangnya juga dapat dikurangi [1].

Paduan aluminium memiliki densitas yang rendah yaitu 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Dengan densitas yang rendah, penggunaan aluminium sebagai komponen otomotif dapat mereduksi berat keseluruhan kendaraan lebih dari 300 kg untuk kendaraan berukuran medium (1400 kg). Dimana setiap pengurangan berat sebesar 100 kg, akan mengurangi konsumsi bahan bakar yang diperlukan sebesar 0.3-0.6 liter per 100 km sehingga dapat menurunkan emisi gas buangan sebanyak 20% [1]. Dari berbagai jenis paduan aluminium, paduan aluminium Al-Si-Cu merupakan paduan yang paling umum digunakan dalam industri otomotif. Dalam beberapa tahun belakangan ini, penggunaan paduan aluminium tersebut meningkat, terutama di industri otomotif yang menggunakan secondary aluminum hasil recycling dalam bentuk berbagai komponen seperti piston, cylinder head, wheel, load floor suspension [2], crank case dan manifold [3]. Namun paduan Al-Si-Cu hasil pengecoran masih memiliki sifat mekanis yang rendah [4] sehingga diperlukan proses lain untuk meningkatkan kekuatannya. Salah satu caranya yaitu melalui proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas tersebut bertujuan untuk mengubah struktur mikro paduan sehingga sifat mekaniknya dapat berubah. Dalam penelitian ini proses perlakuan panas yang dipilih adalah proses perlakuan panas T6 yang meliputi proses solution heat treating, quenching dan proses artificial aging. Proses artificial aging umumnya dilakukan pada temperatur rendah dan dalam waktu yang cukup lama, bervariasi antara 5-48 jam [5]. Pemilihan dalam jangka waktu berapa proses tersebut seharusnya dilakukan haruslah diperhitungkan secara cermat. Hal itu disebabkan karena waktu dilakukannya proses aging

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Syaharuddin Rasyid, Telp 081354933670, syaharuddinrasyid@poliupg.ac.id

dapat menyebabkan perbedaan pada jenis, fraksi volume, ukuran dan distribusi partikel endapan, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi struktur akhir dan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda [5]. Al-Si-Mg dengan solution treatment pada suhu 540°C selama 10 menit dan setelah beberapa jam maka dicapai kekuatan tarik puncak 90%. Kenaikan waktu tahan solution treatment sampai 30 menit maka cukup waktu untuk mikrostruktur berubah mencapai nilai elongasi 90% [6]. Paduan yang sama (Shivkumar et.al. [7]) mengatakan bahwa kenaikan temperatur solution treatment akan mengurangi waktu tahan. Untuk mencapai puncak kekuatannya tarik maka dengan solution treatment pada suhu 550°C hanya perlu waktu tahan 50 menit.

Paduan aluminium silikon (Al-Si) pada umumnya digunakan dalam industri mesin karena sifatnya yang unggul seperti; ringan, konduktivitas panas yang baik, sifat mampu tuang yang baik, dan sifat mampu las yang baik [8]. Aluminium die casting 12 (ADC12) adalah salah satu jenis paduan Al-Si dengan penambahan unsur Cu, Fe, Mn, Mg, Zn, Ti, Cr, Ni, Pb, dan Sn. Unsur silikon pada paduan ADC12, sangat dekat dengan titik eutektik pada diagram fasa Al-Si dan daerah dua fasa cair dan padat sangat tipis. Meskipun telah banyak dipublikasikan teknik semi solid dengan bahan paduan aluminium, namun penelitian menggunakan bahan paduan aluminium ADC12 dengan teknik semi solid masih sangat kurang.

Penelitian yang berkaitan dengan pengecoran semi solid pada bahan aluminium ADC12 telah banyak dilaporkan oleh beberapa peneliti ([9], [10], [11], [12], [8], [9], [15]). Teknik persiapan slurry ADC12 yang digunakan pada penelitian mereka adalah teknik Gas Induced Semi-Solid (GISS), Strain Induced Melt Activation (SIMA), Mechanical Rotation Barrel (MRB), dan Mechanical Stirrer (MS). Metode penelitian dengan sifat mekanik (kekerasan) paduan aluminium ADC12 yang terendah dari metode mechanical stirrer yang dilakukan oleh Rasyid dkk.

Berdasarkan hasil penelitian pengecoran semi solid dengan metode mechanical stirrer ([12]-[13]-[14]-[15]) pada paduan aluminium ADC12 diperoleh sifat kekerasan paduan aluminium ADC12 masih rendah. Dengan demikian masih dimungkinkan dilakukan penelitian lebih lanjut melalui proses perlakuan panas (heat treatment) dan penuaan buatan (artificial aging) untuk meningkatkan sifat kekerasan.

Secara umum penelitian ini bertujuan mengoptimalkan kekerasan dan struktur mikro paduan aluminium ADC12 melalui proses precipitation hardening. Secara khusus untuk menganalisis pengaruh variasi suhu quenching (10, 30, dan 50°C), suhu aging (170, 180, dan 190°C), dan waktu penuaan atau artificial aging (0, 1, 3, 5, 7, dan 9 jam) terhadap kekerasan dan ukuran butir aluminium paduan ADC12.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan paduan aluminium ADC12. Berdasarkan hasil pengujian komposisi paduan aluminium ADC12 diperoleh data pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi paduan aluminium ADC12.

Paduan Aluminium ADC12	Weight %											
	Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
	9.55	2.01	0.91	0.16	0.22	1.31	0.03	0.02	0.14	0.11	0.02	85.49

Berdasarkan hasil pengujian komposisi ini dapat diketahui bahwa prosentasi unsur Si yang terbesar, sehingga suhu tuang minimum berdasarkan diagram fasa Al-Si adalah 600°C, namun berdasarkan ASM Handbook [5], suhu cair paduan aluminium ADC12 adalah 516 - 582°C. Suhu tuang yang digunakan pada penelitian ini adalah 565, 570, dan 575°C.

Parameter pengujian adalah peleburan ingot aluminium ADC12 sampai suhu 600°C, slurry diaduk dengan pengaduk model pelat lurus selama 20 detik. Slurry dituang pada suhu 580°C. Spesimen ADC12 hasil pengecoran dipanaskan dalam tungku listrik pada suhu 500°C selama 120 menit. Selanjutnya spesimen dikeluarkan dalam tungku dan diquenching (media pendingin air) pada temperatur media pendingin 10, 30, dan 50°C. Spesimen dipanaskan kembali pada suhu 170, 180, dan 190°C dengan waktu penahanan (holding time) selama 1, 3, 5, 7, dan 9 jam).

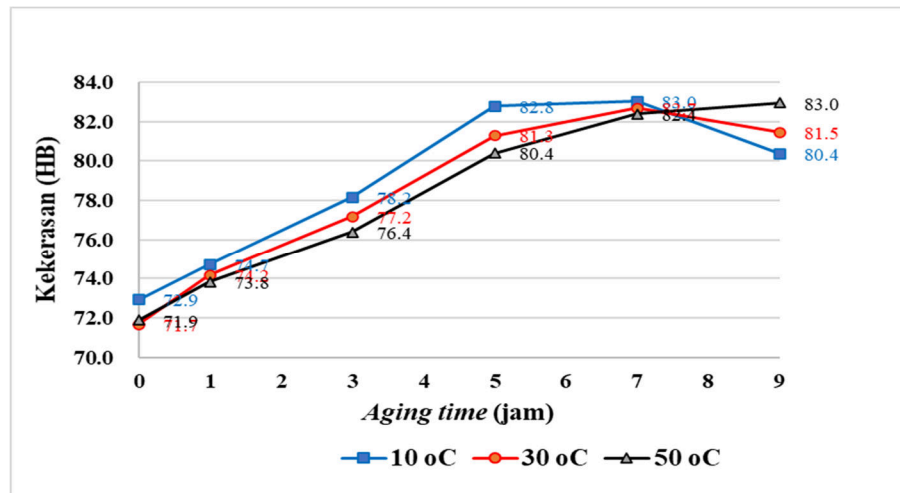
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian komposisi pada paduan aluminium ADC12 diketahui unsur tembaga sebesar 2,01 wt % dan masih berada dalam rentang nilai yang terdapat pada standar JIS H 5302 yaitu antara 1,5 - 3,5 wt %. Begitu juga dengan unsur silikon yang mana pada data spesifikasi tertera nilai sebesar 9,55 wt % dan nilai tersebut sedikit berada di bawah nilai standar yaitu antara 9,6 - 12 wt %. Dimana besar kecilnya

kandungan unsur tembaga dan silikon akan mempengaruhi secara langsung terhadap karakteristik dari spesimen ADC 12.

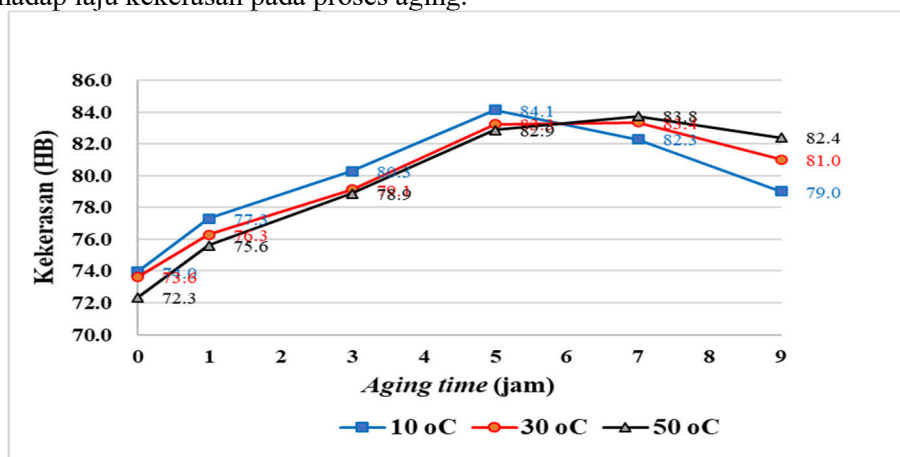
Unsur tembaga mempunyai peranan dalam meningkatkan kekerasan dari material dengan membentuk presipitat, memperbaiki kekuatan tarik dari material, dan mempermudah proses pengerjaan dengan mesin. Sedangkan unsur silikon memegang peranan dalam meningkatkan sifat mampu alir dari material, mempermudah proses pengecoran, meningkatkan daya tahan terhadap korosi, menurunkan penyusutan hasil cor, dan menurunkan keuletan bahan terhadap beban kejut jika kandungan silikon terlalu tinggi.

Pada penelitian ini dianalisa pengaruh suhu media *quenching*, temperatur *aging*, dan waktu *aging* terhadap kekerasan paduan aluminium ADC12. Gambar 1-3 menunjukkan nilai kekerasan paduan aluminium ADC12 hasil *solution treatment* dan *aging*.



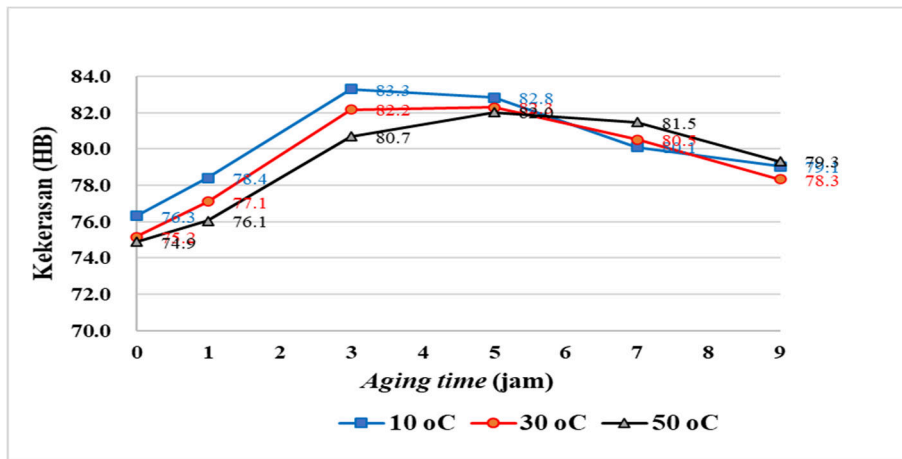
Gambar 1. Kekerasan paduan aluminium ADC12 setelah di-aging pada suhu aging 170°C

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 1 diketahui bahwa semakin lama waktu penuaan (*aging time*) maka nilai kekerasan aluminium paduan ADC12 semakin tinggi dan mencapai puncak kekerasan pada *aging time* 7 jam untuk suhu media pendingin 10°C dan 30°C. Untuk suhu media mendingin 50°C, puncak kekerasan terjadi pada *aging time* 9 jam. Hal ini menunjukkan bahwa media pendingin pada *solution treatment* berpengaruh terhadap laju kekerasan pada proses *aging*.



Gambar 2. Kekerasan paduan aluminium ADC12 setelah di-aging pada suhu aging 180°C

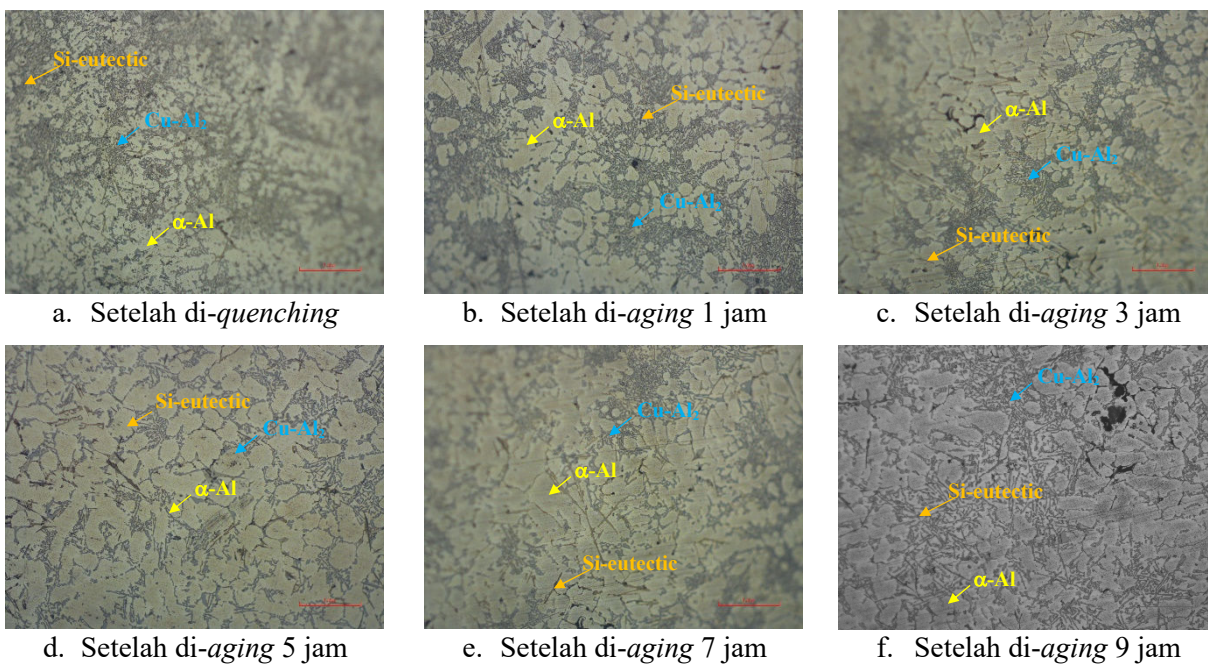
Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 2 diketahui bahwa semakin lama waktu penuaan (*aging time*) maka nilai kekerasan aluminium paduan ADC12 semakin tinggi dan mencapai puncak kekerasan pada *aging time* 5 jam untuk suhu media pendingin 10°C. Untuk suhu media mendingin 30°C dan 50°C, puncak kekerasan terjadi pada *aging time* 7 jam.



Gambar 3. Kekerasan paduan aluminium ADC12 setelah di-aging pada suhu aging 190°C

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 3 diketahui bahwa semakin lama waktu penuaan (aging time) maka nilai kekerasan aluminium paduan ADC12 semakin tinggi dan mencapai puncak kekerasan pada aging time 3 jam untuk suhu media pendingin 10°C. Untuk suhu media mendingin 30°C dan 50°C, puncak kekerasan terjadi pada aging time 5 jam.

Pada penelitian ini juga dianalisa struktur mikro paduan aluminium ADC12 setelah di-quenching dan di-aging selama 1, 3, 5, 7, dan 9 jam. Gambar 4 memperlihatkan sampel foto struktur mikro paduan aluminium ADC12 setelah di-quenching dan di-aging pada temperatur 180°C.



Gambar 4. Struktur mikro paduan aluminium ADC12 setelah di-quenching, di-aging pada suhu 180°C selama 1, 3, 5, dan 7 jam.

Pada struktur mikro *as cast* (Gambar 4.a) terdapat silikon eutektik yang berbentuk memanjang dan berukuran kecil-kecil dengan jarak yang rapat antar silikon eutektiknya. Kondisi ini berbeda jika dibandingkan dengan struktur mikro yang terbentuk ketika spesimen diberikan perlakuan panas (*precipitation hardening*). Hal ini menandakan bahwa banyak dari unsur silikon yang terlarut pada saat proses perlakuan panas berlangsung.

Pada Gambar 4 (b, c, d, e, dan f) dapat dilihat bahwa pada satu variasi temperatur terbentuknya silikon eutektik akan semakin membesar sejalan dengan bertambahnya *holding time* yang diberikan pada saat proses *aging*. Hal ini juga mengakibatkan terbentuknya silikon eutektik akan semakin membesar jika temperatur

*solution treatment* juga semakin bertambah. Pada silikon eutektik terjadi perubahan ukuran dan perubahan jarak antar silikon eutektik dengan bertambahnya *holding time*. Silikon eutektik juga semakin renggang jika terjadi penambahan pada temperatur *solution treatment*.

Pada penambahan *holding time*, partikel silikon yang tersperoidisasi akan semakin besar ukurannya. Selain itu, adanya jarak antar partikel silikon tersperoidisasi akan semakin bertambah pula. Seiring naiknya temperatur *solution treatment*, pecahnya partikel silikon akan semakin sedikit, sehingga jarak antar partikel silikon akan semakin besar (renggang) dan ukuran partikel silikon tersebut juga akan membesar.

Gambar 4 menunjukkan perubahan morfologi dendritik seiring dengan peningkatan waktu aging. Terjadinya perubahan morfologi dalam bentuk pengkasaran (*coarsening*) fase merupakan fenomena yang umum terjadi pada tahap akhir dari evolusi struktur mikro [16]. Dengan meningkatnya waktu aging pada temperatur tertentu, dalam hal ini 180°C, akan menyebabkan fase yang berukuran lebih kecil, akan larut dan berdifusi kedalam matrik  $\alpha$ -Al. Partikel dari fase kedua yang lebih besar, cenderung untuk terus tumbuh saat proses pengkasaran fase dengan cara atom-atom terlarut pada matrik disekelilingnya. Semakin lama, suatu difusi terjadi dan menghasilkan peningkatan ukuran rata-rata dari partikel fase kedua tersebut, namun diiringi dengan penurunan jumlah partikel [16].

Pada penambahan *holding time*, juga menyebabkan proses *coarsening* berlangsung dalam waktu yang lebih lama. Partikel silikon sferoid dengan diameter yang lebih besar dari diameter kritisnya akan mengalami proses *coarsening*, sementara partikel silikon sferoid dengan diameter yang lebih kecil dari diameter kritisnya akan larut dan bergabung dengan partikel silikon sferoid yang lebih besar. Hal ini menyebabkan bertambahnya jarak antar partikel silikon sferoid seiring bertambahnya *holding time*. [17]

Presipitat  $\text{CuAl}_2$  dapat juga meningkatkan kekerasan. Presipitat yang terbentuk karena adanya peristiwa aging dari paduan aluminium ADC12 pada saat proses perlakuan panas ikut larut dan terkandung dalam silikon yang tersperoidisasi.

Jika dihubungkan antara faktor struktur mikro dan data grafik pada Gambar 1-3, maka dengan bertambahnya temperatur *solution treatment*, maka akan meningkatkan nilai kekerasan paduan aluminium ADC12. Jika *holding time* bertambah, maka akan terjadi peningkatan nilai kekerasan juga hingga mencapai nilai maksimal. Namun, setelah itu akan terjadi penurunan nilai kekerasan sejalan dengan bertambahnya *holding time*. Kenaikan temperatur *solution treatment* akan menyebabkan bertambahnya ukuran silikon sferoid menjadi diameter yang lebih besar dari diameter kritisnya. Dalam hal ini *rate of coarsening* berperan besar, dimana *rate of coarsening* akan meningkat seiring naiknya temperatur *solution treatment*. Peningkatan *rate of coarsening* akan mengakibatkan peningkatan diameter partikel tersperoidisasi [17].

Pada Gambar 4.d dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan temperatur aging 180°C dan *holding time* selama 5 jam memiliki jumlah presipitat yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan yang lain dan tersebar merata, sehingga dengan banyaknya presipitat yang terbentuk ini dapat meningkatkan kekerasan pada spesimen ini. Ukuran dan persebaran dendrit dan eutectic Si yang optimum pada spesimen ini juga berpengaruh besar dalam menyumbang nilai kekerasannya. Nampak jelas ukuran dan persebaran eutectic Si yang tersebar merata pada spesimen ini. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya [18] yang menyatakan bahwa terdapat kondisi *under aging*. Serta kekerasan tertinggi terdapat pada saat spesimen mengalami *critical aging* dengan fasa  $\Theta''$ . Dimana setelah itu nilai dari kekerasan cenderung turun dikarenakan material mengalami *over aging*.

#### 4. KESIMPULAN

Nilai kekerasan paduan aluminium ADC12 yang dibuat dengan teknologi pengecoran semi-solid menggunakan pengadukan mekanis, *solution treatment* dengan variasi suhu media pendingin, dan variasi suhu dan waktu aging telah dipelajari. Berdasarkan hasil analisis kekerasan, maka dapat disimpulkan: 1). Terdapat peningkatan kekerasan pada paduan aluminium ADC12 setelah melalui *solution treatment* dan aging, 2) Nilai kekerasan optimal untuk aging temperatur 170°C adalah 83,0 HB pada spesimen suhu media pendingin 10°C dan aging time 7 jam, 3). Nilai kekerasan optimal untuk aging temperatur 180°C adalah 84,1 HB pada spesimen suhu media pendingin 10°C dan aging time 5 jam, 3). Nilai kekerasan optimal untuk aging temperatur 190°C adalah 83,3 HB pada spesimen suhu media pendingin 10°C dan aging time 3 jam, dan 4). Perlakuan panas (*precipitation hardening*) pada paduan aluminium ADC 12 meningkatkan nilai kekerasan disebabkan oleh tersperoidisasinya fasa silikon eutektik yang mengandung  $\text{CuAl}_2$  yang berperan sebagai presipitat dalam matrik.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASM International. 2004. Aluminum Alloy Casting (Properties, Processes, and Application)
- [2]. Rios, C. Triveno dan Caram, R., 2003. Intermetallic Compound in The Al-Si-Cu System, (online), <http://www.sbmm.org.br/actar/trabalhos/14>.
- [3]. J.S. Association, et al. JIS Hand Book Non-Ferrous Metal and Metallurgy. JSA Japan hal, 1973, 36.
- [4]. Altenpohl, D. 1982. Aluminum Viewed from Within. Aluminum-Verlag GmbH. German.
- [5]. ASM Handbook. Volume 4. Heat Treating. ASM International. USA. 1991.
- [6]. Zhang, D., Zheng, L., and John, D. St. 2002. Effect of a Short Solution Treatment Time on Microstructure and Mechanical Properties of Modified Al- 7wt.% Si- 0.3wt.%Mg Alloy, *Journal of Light Metals*, 2, pp. 27–36, 2002
- [7]. Shivkumar, S., et al. Effect of solution treatment parameters on tensile properties of cast aluminum alloys. *Journal of Heat Treating*, 1990, 8.1: 63-70.
- [8]. Chiang, KT., Liu, NM., and Tsai, TC. 2009. Modeling and analysis of the effects of processing parameters on the performance characteristics in the high pressure die casting process of Al-Si alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* volume 41, pages1076–1084.
- [9]. Janudom, S. Rattanochaikul, T. Burapa, R. Wisutmethangoon, S. Wannasin, J. 2010. Feasibility of semi-solid die casting of ADC12 aluminum alloy. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 20(2010) 1756–1762
- [10]. Wang, Zhen-yu, Zesheng Ji, Maoliang Hu, Hongyu Xu. 2011. Evolution of the Semi-Solid Microstructure of ADC12 Alloy in a Modified SIMA Process. *Materials Characterization* 62 (2011) 925–930.
- [11]. Hu, Z., Wu, G., Zhang, P., Liu, W., Song, P., Zhang, L. 2016. Primary Phase Evolution of Rheo-Processed ADC12 Aluminum Alloy. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 26(2016) 19–27
- [12]. Rasyid, S., Arif, E., I., Arsyad, H, dan Syahid, M. 2018. Effect of mechanical stirrer and pouring temperature on semi solid rheocasting of adc12 al alloy: mechanical properties and microstructure. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* Volume 13, No. 6.
- [13]. Rasyid, S., Arif, E., Arsyad, H., dan Syahid, M. 2018. Effects of stirring parameters on the rheocast microstructure and mechanical properties of aluminum alloy ADC12. *MATEC Web of Conferences*. Vol. 197. EDP Sciences.
- [14]. Rasyid, S., Arif, E., Renreng, I., Arsyad, H, dan Syahid, M. 2019. Optimization of pouring temperatures and stirrer speed parameters on a semi-solid slurry of ADC12 Al alloy prepared by mechanical stirring. *Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, Vol. 676. No. 1.
- [15]. Rasyid, S., Arif, E., Renreng, I., Arsyad, H, dan Syahid, M. 2019. Optimization of stirring parameters on the rheocast microstructure and mechanical properties of aluminum alloy ADC12. *Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, Vol. 619. No. 1.
- [16]. S.P. Ringer and K. Hono, "Microstructural evolution and age hardening in aluminium alloys: atom probe field-ion microscopy and transmission electron microscopy studies." *Materials characterization* 44.1-2 (2000): 101-131.
- [17]. I.G.B.A Paramartha, "Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6 dengan Variasi Holding Time Dan Temperatur Solution Treatment Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12. Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [18]. B.T. Mazda, "Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Holding Time dan Temperatur Aging pada Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6 terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12. 2016. PhD Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [19]. F.W. Smith, "Material Science and engineering". (second edition). New York: Mc Graw- Hill inc. 1995

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada: 1). Pimpinan Politeknik Negeri Ujung Pandang atas dukungan dana melalui DIPAPNUP sesuai dengan SK Dirketur tentang tim Penelitian Penugasan N.B/472/PL10.PT.01.05/2020, 2). Ketua, sekretaris, dan staf Pusat Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat PNUP atas arahan dan kepercayaan yang diberikan, dan 3). Tim pelaksana penelitian atas kerjasamanya dalam menyelesaikan penelitian ini.