

Pengaruh Natural dan Artificial Aging Pada Velg Bahan A356.0 Centrifugal Casting Dengan Variasi Putaran Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis

Emin Haris^{1,2} dan Priyo Tri Iswanto²

¹Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Indramayu

Jl.Raya Lohbener Lama No.8 Indramayu (0234) 7063555

² Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik

Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2 Yogyakarta

Email: eminharis@gmail.com

Abstrak

Pesatnya pasar otomotif di dalam negeri ditandai dengan meningkatnya konsumen kendaraan bermotor baik sepeda motor maupun mobil, untuk meningkatkan produk velg lokal adalah dengan mengubah teknik pengecoran gravity yang selama ini dipakai, karena proses gravity casting adalah proses pengecoran yang sederhana dibandingkan dengan centrifugal casting karena dari kualitas hasil pengecoran maka proses sentrifugal casting lebih baik, daripada proses gravity casting, putaran mould yang digunakan pada penelitian ini adalah 300rpm, 500rpm, 700rpm, 900 rpm, 1000rpm dan 1000rpm+AlTiB. Adanya inokulan Al-Ti-B ini diharapkan dapat berfungsi sebagai inisiasi dan membatasi pertumbuhan butir, sehingga ukuran butir yang dihasilkan menjadi lebih halus. Semakin halus ukuran butir yang dihasilkan, maka sifat mekanik juga akan semakin baik. Proses perlakuan panas T6 adalah salah satu metode untuk meningkatkan sifat mekanis paduan aluminium. Pada penelitian ini paduan A356.0 diberikan perlakuan solid solution heat treatment dengan temperatur 535°C ditahan selama 4 jam selanjutnya perlakuan natural aging dan artificial aging dengan temperatur 100°C, 125°C, 175°C dan 200°C ditahan selama 3 jam, kemudian dilakukan uji impak, uji tarik, uji kekerasan dan struktur mikro. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat mekanik dari A356 naik akibat adanya penambahan suhu artificial aging. Nilai kekerasan optimum di dapat pada suhu artificial aging 200°C mempunyai nilai kekerasan naik rata-rata 14,27 %, nilai UTS naik rata-rata 11%, tetapi nilai ketangguhan mengalami penurunan rata-rata 7%. Hasil pengamatan struktur mikro setelah proses perlakuan panas T6 terlihat adanya perbedaan morfologi pada batas butir matrik aluminium, yaitu terbentuknya presipitat yang diduga senyawa Mg₂Si.

Kata kunci: centrifugal casting, artificial aging, heat treatment T6, Al-TiB, 356

1. PENDAHULUAN

Pesatnya pasar otomotif di dalam negeri ditandai dengan meningkatnya konsumen kendaraan baik sepeda motor maupun mobil, bahkan sekarang ini sebagian besar produsen kendaraan bermotor berasal dari luar negeri, baik itu dari Jepang, Eropa, Amerika hingga yang terbaru dari Cina dan India, sedangkan produk dalam negeri kurang diminati oleh konsumen Indonesia karena sebagian besar masyarakat kita lebih mempercayai kualitas produk dari luar negeri walaupun harga produk luar jauh lebih mahal dari pada produk lokal.

Salah satu komponen otomotif yang telah di produksi oleh Industri Kecil dan Menengah (IKM) lokal adalah velg sepeda motor, karena

modifikasi motor yang terus berkembang sehingga berbagai model velg sepeda motor banyak beredar di pasaran dan produk velg lokal harus bersaing dengan produk pabrikan dalam negeri maupun dari luar negeri, sehingga perlu adanya peningkatan kualitas dari produk velg hasil produksi IKM supaya bisa bersaing di pasaran.

Untuk meningkatkan produk velg lokal adalah dengan mengubah teknik pengecoran gravity yang selama ini dipakai, karena proses gravity casting adalah proses pengecoran yang sederhana dan mudah dilakukan, dengan centrifugal casting karena jika dibandingkan dari kualitas hasil pengecoran maka proses sentrifugal casting lebih baik, daripada proses gravity casting, dan dari segi biaya untuk perlengkapan proses sentrifugal

casting juga tidak terlalu mahal, sehingga bisa terjangkau oleh IKM.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Proses pembentukan logam sudah dikenal sejak lama, berbagai teknik pengecoran telah dikembangkan hingga sekarang ini, dan salah satu teknik pengecoran yang tidak membutuhkan banyak alat adalah *centrifugal casting*, pada beberapa penelitian sebelumnya menyatakan bahwa teknik pengecoran *centrifugal casting* dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis dari produk cor aluminium alloy (Bambang, 2010; Bintoro, 2010) dan perbandingan antara teknik *gravity* dan *centrifugal* adalah bahwa teknik *centrifugal casting* dapat meningkatkan sifat mekanis dari bahan Al-Si, dengan teknik *centrifugal* dapat meningkatkan *rupture strength* hingga 50% dan *rupture strain* hingga 300%, begitu juga dengan *young modulus* naik hingga 20% jika dibandingkan dengan *gravity casting* (Chirita.*et.al*, 2008). Karena bahan aluminium A356.0 bersifat *heat treatable* sehingga perlu dilakukan proses lanjutan pasca pengecoran *sentrifugal* sehingga produk velg nantinya bisa meningkatkan sifat fisis dan mekanisnya, seperti halnya telah diungkapkan pada penelitian sebelumnya (Möller.*et.al*, 2007) yang juga meneliti tentang paduan aluminium A356. Penelitian ini bertujuan untuk melihat respon kandungan Mg pada proses *semi solid metal Al-Mg-Si* paduan aluminium A356 terhadap *natural* dan *artificial aging*. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Mg ini dapat memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap perilaku *natural* dan *artificial aging* paduan aluminium, yaitu diperolehnya indeks kualitas optimum menggunakan *short solution heat treatment* selama 1 jam pada temperatur 540°C. Kemudian meningkatnya kandungan Mg pada paduan aluminium menghasilkan kenaikan indeks kualitas untuk semua studi tentang perlakuan panas T6. (Gwózdź.*et.al*, 2008) dalam penelitiannya tentang pengaruh proses *aging* terhadap mikrostruktur dan sifat mekanis pada paduan aluminium-silikon. Dalam penelitian ini spesimen diperlakukan sesuai dengan perlakuan panas T6. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju pembekuan memberikan pengaruh yang besar terhadap sifat mekanis dengan mengontrol struktur mikro, hal ini dapat dilihat dari *Yield's Strength* yang dihasilkan, dimana untuk paduan Al-Cu-Si sebesar 197 MPa,

sedangkan paduan Al-Mg-Si sebesar 243 MPa. Dan perbandingan antara bahan A356.0 yang diberikan perlakuan panas T6 yang tidak diberikan perlakuan panas, telah diungkap oleh (Masy'ari, 2011) dalam hasil penelitiannya menyatakan bahwa Proses perlakuan panas T6 terhadap hasil coran dapat meningkatkan angka kekerasan naik hingga rata-rata 37,42%, kekuatan tarik 39,94% dan ketangguhan 17,01% dibandingkan dengan produk velg A356.0 yang tanpa perlakuan panas T6, (Djarmiko.dkk, 2007) dalam hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sifat mekanik dari Al-Mg-Si, naik akibat adanya penambahan suhu saat perlakuan panas T6, sifat mekanik optimum diperoleh ketika pemanasan pada suhu 210°C, pada kondisi ini paduan mempunyai nilai kekerasan 93,30 HVN dan kekuatan impak 5,13 J/mm² dan telah memenuhi standart JIS H 5201, dan dari pengamatan struktur mikro menunjukkan terbentuknya struktur *hypoeutektik* yang terdiri dari *dendrite aluminium primer* dan campuran *eutektik Al-Mg-Si*

2.2 Perlakuan Panas (Heat Treatment)

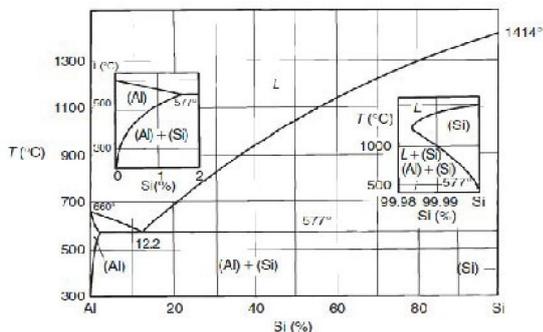
Aluminium Paduan

Perlakuan panas atau heat treatment adalah suatu proses mengubah struktur logam dengan cara memanaskan spesimen pada tungku atau oven, pada temperatur rekristalisasi selama periode tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam terutama sifat mekaniknya sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam tersebut disamping komposisi kimianya, contoh suatu aluminium paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda ketika terjadi perubahan struktur mikronya berubah karena suatu proses perlakuan panas.

Perlakuan panas merupakan suatu proses kombinasi antara pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu, untuk mendapatkan hal tersebut maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan, sifat-sifat bahan logam perlu diketahui secara baik karena bahan logam tersebut dipakai pada berbagai kepentingan dan dalam keadaan sesuai dengan fungsinya, tapi kadang sifat-sifat bahan logam ternyata kurang sesuai dengan fungsinya ataupun kurang maksimal ketika dipakai menjadi suatu produk, sehingga diperlukan suatu usaha untuk dapat meningkatkan

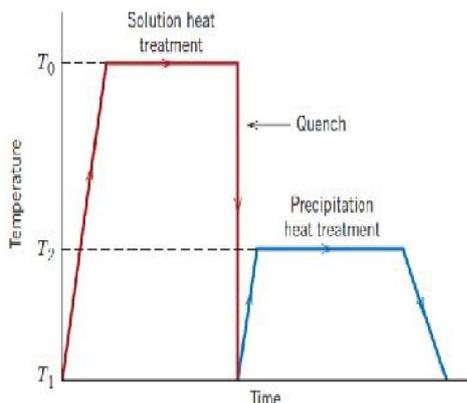
atau memperbaiki sifat-sifat logam tersebut. Salah satu perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan precipitation hardening adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium cor, seperti A356.0 (Al-Si-Mg) yang bersifat heat treatable, dengan cara perlakuan panas.

Karena hasil proses pengerasan endapan dihasilkan dari pertumbuhan sebuah partikel phase baru, maka untuk mempermudah penjelasan tentang prosedur perlakuan panas digunakan diagram phase. Walaupun, dalam prakteknya banyak paduan pengeras endapan mengandung dua atau lebih unsur paduan, pembahasan ini kemudian disederhanakan dengan mengacu pada sistem biner.



Gambar 1. Diagram phase Al-Si (Zolotarevsky, dkk, 2007)

Adapun prosedur dan siklus pemanasan pengerasan endapan, dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Skema siklus pemanasan selama precipitation hardening (Callister, 2007)

3. METODOLOGI

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah mempersiapkan bahan aluminium A356 yang akan di cor, kemudian bahan A356 di lebur dengan temperatur 750°C, selanjutnya *mold centrifugal casting* dilakukan *pre heating* dengan temperatur 250°C (Bintoro,2010), cairan coran di tuang ke dalam mold dengan putaran 300 rpm, 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm, 1000 rpm dan 1000 rpm dengan ditambahkan inokulan Al-TiB sebesar 0,08%, setelah produk coran jadi kemudian dibuat spesimen untuk uji impak, uji tarik, uji kekerasan dan struktur mikro, selanjutnya specimen di *heat treatment* T6 dengan temperatur solid solution 535°C ditahan selama 4 jam, berikutnya dilakukan *aging*, dengan beberapa variasi *aging* yaitu *natural aging*, *artificial aging* 100°C, 125°C, 175°C, 200°C.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pembuatan *specimen* hasil pengecoran *centrifugal casting* dengan beberapa variasi kecepatan putar dan proses perlakuan *artificial aging* dan *natural aging*, selanjutnya dilakukan uji sifat fisis dan mekanis. Uji sifat fisis dan mekanis meliputi uji tarik, uji impak uji kekerasan, dan struktur mikro.

4.1. Tarik

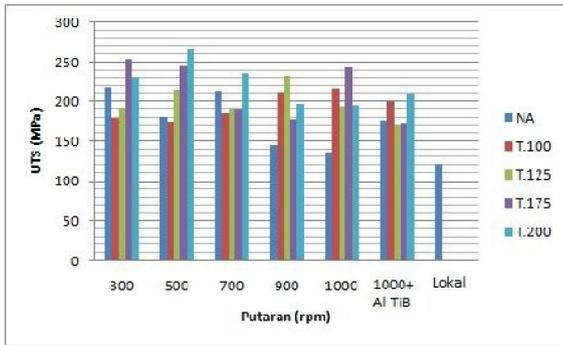
Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Fakultas Teknik Universitas Gadjad Mada, dan nilai kekuatan tarik maksimum yang dapat ditahan benda uji dihitung berdasarkan pada beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji tarik. Hubungan *ultimate tensile strength* (UTS) dengan tiap variasi putaran dengan variasi *aging* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Rekapitulasi hasil pengujian Tarik

Putaran (rpm)	UTS (MPa)				
	NA	T.100°C	T.125°C	T.175°C	T.200°C
300	217,75	179,60	192,77	253,47	231,23
500	180,48	174,02	214,80	245,22	265,00
700	213,38	185,25	188,90	189,05	235,57
900	144,56	212,54	232,92	178,28	196,52
1000	135,77	216,97	193,35	242,78	195,51
1000+Al-TiB	176,61	199,85	170,58	172,83	208,38

Secara umum nilai UTS mengalami fluktuasi dengan kenaikan kecepatan putar dan kenaikan temperatur *artificial aging*. Nilai UTS naik secara keseluruhan mengalami kenaikan secara signifikan

di bandingkan tanpa perlakuan panas T6 pada penelitian Masyari (2011) 216,56 MPa.



Gambar 3 Pengaruh kecepatan putar dan aging terhadap UTS

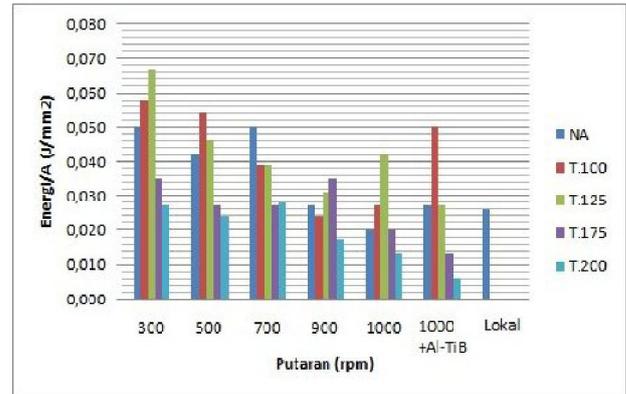
Sementara itu, hasil perlakuan panas T6 menunjukkan peningkatan nilai UTS seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. lebih tinggi dibandingkan produksi lokal yang hanya 121,62 MPa (Kuncahyo, 2010). Hal ini kemungkinan selama proses *aging* unsur paduan Si dan Mg berubah menjadi presipitat Mg₂Si yang terdispersi secara merata disekitar batas butir. Presipitat presipitat tersebut kemudian menyebabkan susunan antar atom aluminium menjadi lebih rapat dan menimbulkan ikatan antar atom aluminium menjadi lebih kuat. Berdasarkan data hasil pengujian juga menunjukkan bahwa benda uji yang telah mengalami proses *aging* mempunyai kenaikan nilai UTS yang hampir merata untuk semua putaran.

4.2. Impak

Pengujian ini menggunakan metode charpy dengan beban 8,5 kg. Hasil pengujian impak ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 4. Ketangguhan benda uji cenderung mengalami penurunan dengan kenaikan putaran mesin centrifugal casting. Penurunan ini dapat disebabkan karena material yang cenderung keras akan lebih mudah patah jika diberi beban atau gaya secara mendadak,

Tabel 2 Rekapitulasi hasil pengujian Impak

Putaran (rpm)	Energi/A (J/mm ²)				
	NA	T.100°C	T.125°C	T.175°C	T.200°C
300	0,050	0,058	0,067	0,035	0,027
500	0,042	0,054	0,046	0,027	0,024
700	0,050	0,039	0,039	0,027	0,028
900	0,027	0,024	0,031	0,035	0,017
1000	0,020	0,027	0,042	0,020	0,013
1000+Altib	0,027	0,050	0,027	0,013	0,006



Gambar 4 Pengaruh kecepatan putar dan Aging terhadap ketangguhan

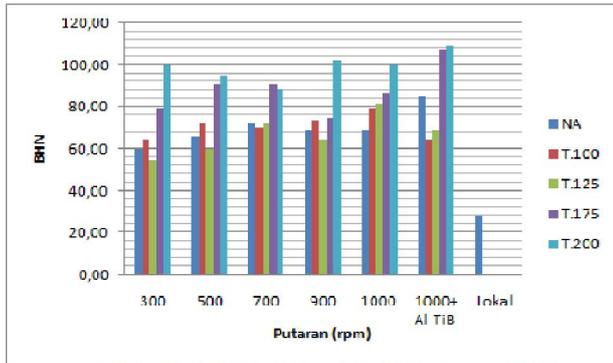
Hasil pengujian menunjukkan nilai ketangguhan tertinggi terjadi pada putaran 300 rpm dengan perlakuan *artificial aging* 125°C sebesar 0,067 J/mm², sedangkan terendah pada putaran 1000 rpm yang ditambahkan inokulan Al- TiB, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. hasil pengujian ini rata-rata masih di atas *velg* lokal yang hanya mencapai 0,026 J/mm² (Kuncahyo, 2010),

4.3. Kekerasan

Perbandingan angka kekerasan pada tiap variasi putaran dan *aging* dapat dilihat pada Tabel3 dan Gambar 5 Berdasarkan hasil uji kekerasan semakin tinggi kecepatan putar *mold velg* sepeda motor kekerasan semakin tinggi. Kenaikan kekerasan ini disebabkan karena semakin tinggi kecepatan putar akan menyebabkan waktu pembekuan lebih cepat. Pembekuan dengan waktu yang lebih cepat akan menyebabkan laju pertumbuhan inti lebih besar dari laju pertumbuhan butir, sehingga didapat struktur butir yang halus (Tjitro, 2004).

Tabel 3 Rekapitulasi hasil pengujian kekerasan Brinell

Putaran (rpm)	BHN				
	NA	T.100°C	T.125°C	T.175°C	T.200°C
300	60,11	64,91	54,78	79,58	99,52
500	66,20	71,71	60,11	90,77	95,00
700	71,71	70,28	71,71	90,77	88,75
900	68,88	73,92	64,91	74,72	101,90
1000	68,88	79,58	81,30	86,81	99,52
1000+Altib	84,91	64,91	68,88	106,92	109,56



Gambar 5 Pengaruh kecepatan putar dan aging terhadap kekerasan Brinell .

Pada putaran 1000 rpm menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan variasi putaran yang lebih rendah. Angka kekerasan ini telah melebihi kekerasan *velg* hasil pabrikan yaitu sebesar 64.85 kg/mm² dan hasil penelitian Bintoro (2010) 60.85 kg/mm², dan *velg* produksi lokal yang hanya 27,72 kg/mm, angka kekerasan tertinggi pada putaran 1000 rpm yang ditambahkan inoculan Al-TiB dengan *artificial aging* 200°C dengan nilai 109,56 kg/mm².

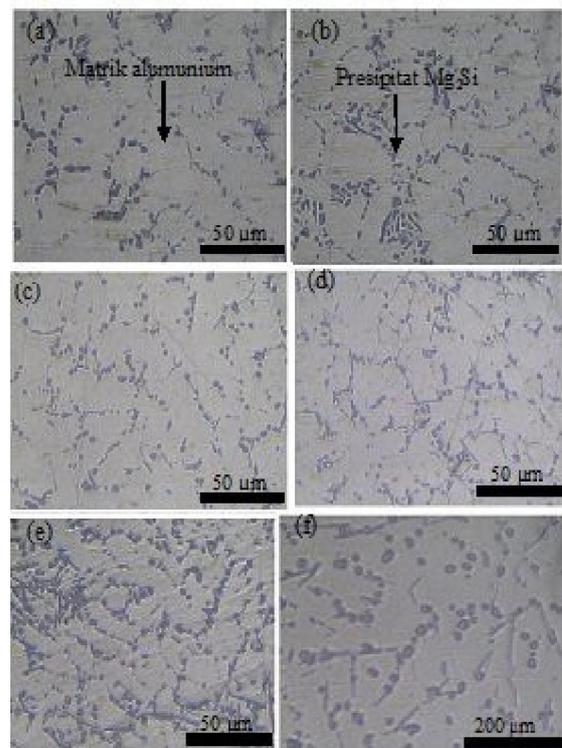
Hasil perlakuan panas T6 juga ditunjukkan pada Gambar 4.1. Dari hasil perlakuan panas T6 angka kekerasan naik rata-rata sekitar 14,27 % pada setiap putaran dan variasi *aging*. Angka kekerasan tertinggi terjadi pada putaran 1000 rpm yang ditambahkan inoculan Al-TiB dan telah memenuhi standar ASM Handbook, 2000. Peningkatan angka kekerasan ini diduga karena selama proses *aging* pada paduan A356 (Al-Mg-Si) terbentuk presipitat Mg₂Si yang terdispersi secara merata di batas butir, sehingga gaya yang diperlukan untuk mendeformasi semakin besar, yang berarti menaikkan kekerasan. Gambaran presipitat Mg₂Si hasil proses *aging* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

4.4. Struktur Mikro

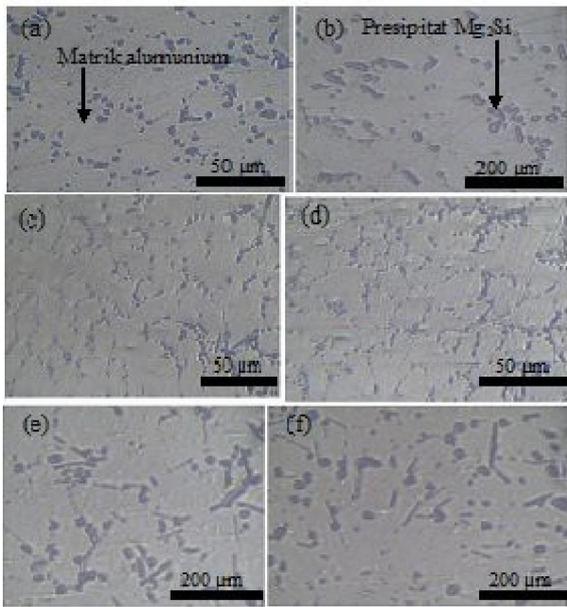
Gambar 6 menunjukkan foto struktur mikro setelah dietsa untuk beberapa variasi putaran dan variasi *aging*. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan adanya perbedaan bentuk dan ukuran butir antara putaran rendah dan tinggi. Semakin tinggi kecepatan putar bentuk dan ukuran butir terlihat semakin kecil dan *spheroid*. Perubahan ini disebabkan pendinginan yang cepat sesaat sesudah cairan logam dituang ke dalam cetakan yang berputar. Hal ini menyebabkan butir cenderung menjadi lebih halus karena tidak sempat berkembang ditambah adanya gaya desak akibat gaya centrifugal. Jadi dapat dikatakan

dengan meningkatnya laju pembekuan, pertumbuhan butir juga terhambat.

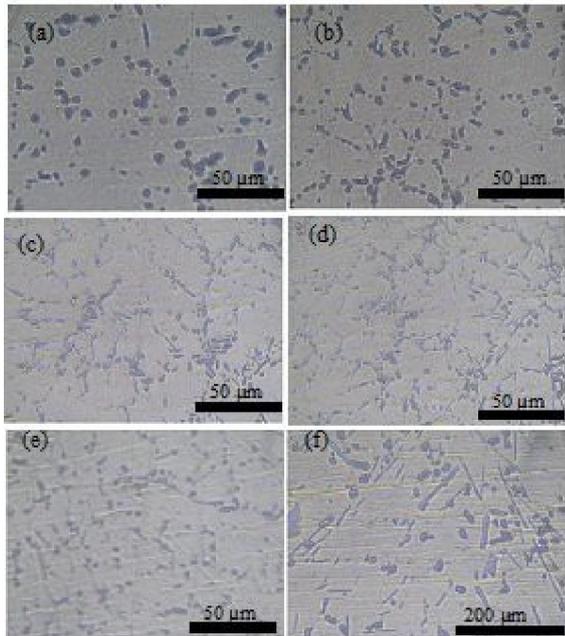
Namun pada putaran 1000 rpm yang ditambahkan inoculan 0.008% Al-TiB, terjadi perubahan bentuk butiran. Penambahan inoculan tersebut diduga belum memberikan pengaruh terhadap ukuran butir, tetapi mengubah bentuk butiran menjadi lebih tajam seperti jarum dan kasar. Hasil pengamatan juga menunjukkan paduan Si berwarna kehitam-hitaman banyak terdapat pada batas butir matrik aluminium, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 Khusus untuk pengamatan struktur mikro pada Gambar 7 terlihat adanya perbedaan morfologi setelah perlakuan panas T6. Pada batas butir matrik aluminium unsur paduan Si membentuk presipitat yang diduga adalah senyawa Mg₂Si. Presipitat-presipitat tersebut kemungkinan terbentuk selama proses *aging*, hal ini dapat dilihat dari adanya peningkatan hasil uji sifat mekanis. Namun ini perlu pembuktian yang lebih lanjut untuk memastikan bahwa presipitat yang terbentuk adalah Mg₂Si.



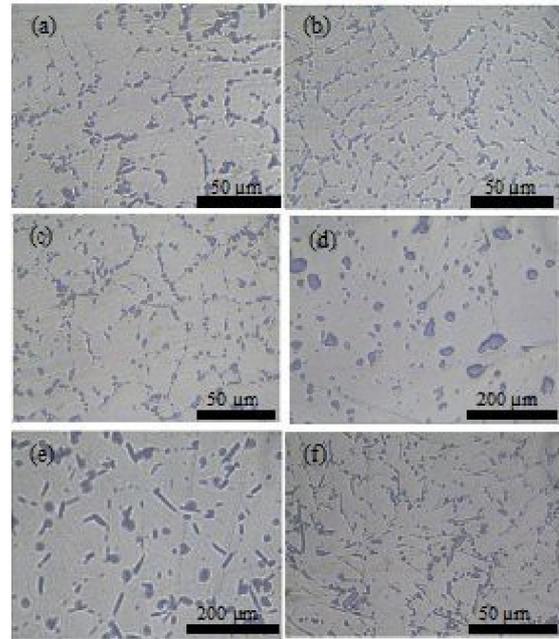
Gambar 6. Foto struktur mikro hasil centrifugal casting dengan perlakuan Natural Aging (a) 300 rpm, (b) 500 rpm, (c) 700 rpm, (d) 900 rpm, (e) 1000 rpm dan (f) 1000 rpm+Al-TiB



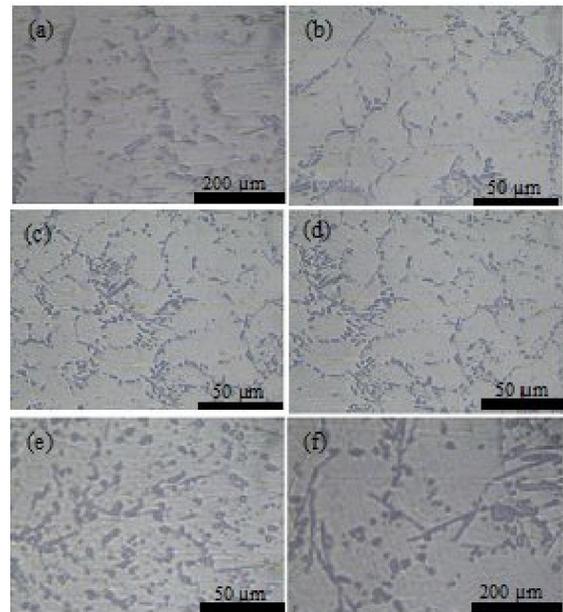
Gambar 7. Foto struktur mikro hasil *centrifugal casting* dengan perlakuan *Artificial Aging* 100°C (a) 300 rpm, (b) 500 rpm, (c) 700 rpm, (d) 900 rpm, (e) 1000 rpm dan (f) 1000 rpm+Al-TiB



Gambar 8. Foto struktur mikro hasil *centrifugal casting* dengan perlakuan *Artificial Aging* 125°C (a) 300 rpm, (b) 500 rpm, (c) 700 rpm, (d) 900 rpm, (e) 1000 rpm dan (f) 1000 rpm+Al-TiB



Gambar 9. Foto struktur mikro hasil *centrifugal casting* dengan perlakuan *Artificial Aging* 175°C (a) 300 rpm, (b) 500 rpm, (c) 700 rpm, (d) 900 rpm, (e) 1000 rpm dan (f) 1000 rpm+Al-TiB



Gambar 10. Foto struktur mikro hasil *centrifugal casting* dengan perlakuan *Artificial Aging* 200°C (a) 300 rpm, (b) 500 rpm, (c) 700 rpm, (d) 900 rpm, (e) 1000 rpm dan (f) 1000 rpm+Al-TiB

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang pengaruh kecepatan putar, perlakuan *aging* dan penambahan inoculan Al- TiB pada *centrifugal casting* terhadap sifat fisis dan mekanis paduan aluminium cor A356 *velg* sepeda motor, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Kekerasan dan kekuatan tarik hasil coran secara umum mengalami peningkatan dengan kenaikan kecepatan putar mold *velg* sepeda motor tetapi nilai ketangguhannya menurun.
2. Proses perlakuan natural *aging* dapat meningkatkan sifat mekanis hasil coran pada semua variasi putaran, dapat menjadi pilihan dengan biaya yang lebih efisien dibandingkan artificial *aging*.
3. Proses perlakuan artificial *aging* pada temperatur 100°C dan 125°C tidak signifikan menaikkan sifat mekanis hasil coran jika dibandingkan dengan natural *aging* dengan nilai yang fluktuatif .
4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat mekanik dari A356 naik akibat adanya penambahan suhu artificial *aging*. Nilai kekerasan optimum di dapat pada suhu artificial *aging* 200°C mempunyai nilai kekerasan naik rata-rata 14,27 % , nilai UTS mengalami penurunan rata-rata 7% .
5. Penambahan inoculan Al-TiB pada paduan aluminium cor sebesar 0.008% dengan perlakuan natural dan artificial *aging* dapat memberikan pengaruh terhadap sifat mekanis hasil coran.
6. Setelah proses perlakuan panas T6 terlihat adanya perbedaan morfologi pada batas butir matrik aluminium, yaitu terbentuknya presipitat yang diduga adalah senyawa Mg₂Si.
7. Penambahan inoculan Al-TiB belum memberikan pengaruh terhadap ukuran butir, tetapi mengubah bentuk butiran menjadi lebih tajam seperti jarum dan kasar.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, 2008, "Volume 15 Casting", ASM International.
- ASM Handbook, 2000, "Introduction to Aluminum Alloys and Tempers", ASM

International.

- ASTM Standard, 2004, "Standard Practice for Heat Treatment of Aluminum-Alloy Castings from All Processes".
- Apelian, D., 2009, "Aluminium Cast Alloys: Enabling Tools for Improved Performance", NADCA.
- Bambang, U., 2010, "Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada *Centrifugal Casting Aluminium Alloy Velg Sepeda Motor*", Thesis S2 Jurusan Teknik Mesin dan Industri, UGM, Yogyakarta
- Bintoro W.M., 2010, "Pengaruh Temperatur Cetakan, Bentuk Produk dan Inoculan Ti-B pada Proses Pengecoran Sentrifugal Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Aluminium", Thesis S2 Jurusan Teknik Mesin dan Industri, UGM, Yogyakarta
- Brown, J.R., 1999, "Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook", 11th edition, Butterworth Heinemann.
- Callister, Jr., William, D., 2007, "Materials Science and Engineering an Introduction", 7 ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Concise Desktop Reference 2 ed., Springer.
- Chirita, G., Soares, D., Silva, S., 2006, "Advantages Of The Centrifugal Casting Technique for the Production of Structural Components With Al-Si Alloys", *Guimardes Portugal Materials And Design*, 29, 20, 27. www.elsevier.com/locate/matdes.
- Gwózdź, M., and Kwapisz, K., 2008, "Influence of Ageing Process on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium-Silicon Cast Alloys - Al-9%Si-3%Cu and Al-9%Si-0.4%Mg". Bachelor Thesis Department Of Mechanical Engineering Component Tecnology-Casting Jonkoping University Sweden.
- JIS handbook, 1991, "Ferrous Material And Non Ferrous Materials", Japanese Standard Association

- Djarmiko, Budiarto, 2007 “pengaruh perlakuan panas T6 terhadap kekerasan dan strukturmikro pada paduan Al-Mg-Si” Thesis S2 Jurusan teknik Mesin Universitas Pancasila.
- Kashyap, K.T., and Chandrashekar, T., 2001, “Effects and Mechanisms of Grain Refinement in Aluminium Alloys”. Indian Academy of Sciences ,Bull. Mater. Sci., Vol. 24, No. 4, pp. 345–353.
- Kunahyo, 2010, “Sifat Fisis Dan Mekanis Velg Kendaraan Roda Dua 14” Poduksi Lokal Dan Produksi Pabrikan” Skripsi S-1 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
- Möller, H., Govender, G., and Stumpf, W.E., 2007, “Natural and Artificial Aging Response of Semi Solid Metal Processed Al-Si-Mg Alloy A356”. International journal of cast metal research, Vol 20 (6)
- Mallapur, D.G., Udupa, K.R., Kori, S.A., 2010, “Influence of Grain Refiner and Modifier on The Microstructure and Mechanical Properties of A356 Alloy”, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol 2(1).
- Masy’ari, 2011, “Pengaruh Kecepatan Putar dan Perlakuan Panas T6 pada Centrifugal Casting terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Aluminium A356.0 Velg Sepeda Motor”, Thesis S2 Jurusan Teknik Mesin dan Industri, UGM, Yogyakarta
- Smith, F. William. 1995. *Material Science and engineering. (second edition)* New York: Mc Graw- Hill inc.
- Suhariyanto, 2010, “ Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC” Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- Zolotarevsky, V.S., Belov, N.A., and Galzoff, M.V., 2007, “Casting Aliminum Alloys”, ISBN-13: 978-0-08-045370-5, Elsevier Ltd.