

**PENGARUH VARIASI SUHU *ARTIFICIAL AGING* 150, 175 DAN 200 °C
PADA SIKLUS PERLAKUAN PANAS T6 *VELG* PADUAN ALUMINIUM SEKRAP
HASIL PENGECORAN SENTRIFUGAL TERHADAP *QUALITY INDEX*, KEKUATAN IMPAK
DAN PERUBAHAN MORFOLOGI STRUKTUR MIKRO**

WIDYATMOKO, A.¹ dan ISWANTO, P.T.²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Pratama Mulia, Haryo Panular 18 a, Surakarta 57149, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Grafika 2,
Yogyakarta, 55281, Indonesia
widya_politama@yahoo.co.id

Abstrak

Material yang banyak digunakan untuk proses pengecoran *velg* sepeda motor di industri pengecoran lokal adalah paduan aluminium sekrap yang didapatkan dari hasil *remelting velg* mobil dengan proses pengecoran gravitasi. Penggunaan paduan aluminium sekrap dilakukan dengan berbagai pertimbangan antara lain ringan, warnanya menarik, ketersediaan *raw material* yang cukup banyak dan proses pengecoran gravitasi relatif mudah dan murah. Sifat mekanik yang bisa dicapai masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil produk pabrikan maupun standar yang ada. Dari hasil penelitian terdahulu upaya-upaya yang dilakukan untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanis agar mendekati sifat dari paduan aluminium A 356 adalah penggunaan metode pengecoran sentrifugal, penambahan unsur penghalus butiran TiB dan perlakuan panas (*heat treatment*) T6. Material yang digunakan dalam penelitian ini dikondisikan untuk upaya peningkatan sifat fisis dan mekanis yaitu *remelting* pada suhu *pouring* 750° C, variasi pemanasan awal cetakan (*moulding*) 250° C dan 300° C, variasi penambahan inokulan penghalus butiran 0; 4; 5; 7,5 gram Al-TiB, penggunaan metode pengecoran sentrifugal pada putaran 1000 rpm dan pemberian perlakuan panas T6. Siklus perlakuan panas T6 dilakukan dengan siklus sebagai berikut : *solution heat treatment* pada suhu 540° C, waktu tahan 4 jam, *water quenching* dan *artificial aging* dengan 3 variasi suhu 150° C, 175° C, 200° C, waktu tahan 3 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi kenaikan sifat fisis dan mekanis paduan aluminium sekrap akibat adanya perlakuan panas T6. Kenaikan optimum terjadi pada material yang diproduksi dengan suhu *remelting* 750 °C, metode pengecoran sentrifugal pada putaran 1000 rpm, suhu *moulding* 300° C dan penambahan 4 gr Al-TiB serta diproses perlakuan panas T6 dengan siklus perlakuan *solution heat treatment* pada suhu 540° C, waktu tahan 4 jam, *water quenching* pada suhu kamar dan *artificial aging* pada suhu 175° C, waktu tahan 3 jam, meliputi *Quality Index (QI)* = 447.49 M.Pa., kekuatan impak (*IS*) = 13,8 J/cm² seiring dengan terjadinya perubahan morfologi struktur mikro dari bulat ke bulat memanjang (lonjong) dan timbulnya presipitat Mg₂Si pada matrik α -aluminium. Kenaikan sifat mekanis lainnya adalah kekuatan tarik (*UTS*) = 267,2 Mpa, elongasi (ϵ) = 15,92 % dan kedua sifat mekanis tersebut telah melampaui dari nilai standar ASM Internasional (2000).

Kata kunci : paduan aluminium sekrap, pengecoran sentrifugal, *solution heat treatment*, *water quenching*, *artificial aging*.

Pendahuluan

Industri komponen otomotif saat ini banyak menggunakan metode pengecoran dengan bahan paduan aluminium misalnya untuk pembuatan blok mesin, kepala silinder atau *velg*. Paduan aluminium yang biasa disebut *Aluminium alloy* merupakan bahan Aluminium murni yang dipadu dengan logam-logam lainnya seperti tembaga, magnesium, silikon, mangan dan atau seng dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan aluminium murni. Paduan aluminium dengan unsur paduan utama silikon dan magnesium sering digunakan pada suku cadang sepeda motor diantaranya adalah blok mesin, piston dan pelek (*castwheel*), seiring dengan peningkatan kebutuhan

suku cadang tersebut telah memacu industri pengecoran lokal yang ada di wilayah Yogyakarta menggunakan metode pengecoran gravitasi dengan memanfaatkan bahan *velg* aluminium mobil (sekrap) untuk dicairkan ulang (*remelting*) dan dibentuk kembali menjadi *velg* sepeda motor. Pemilihan metode tersebut dengan pertimbangan mudah dan murah, sedangkan beberapa metoda pengecoran lainnya yang banyak digunakan di industri besar adalah *centrifugal casting* dan *high pressure dies casting*.

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Bambang (2010) menyatakan bahwa kualitas hasil pengecoran gravitasi lebih rendah dibandingkan

dengan hasil pengecoran sentrifugal. Sedangkan penelitian yang telah dilakukan oleh Bintoro (2011) dimulai dengan proses pengecoran paduan aluminium hasil pencairan velg mobil produk Jepang pada suhu *pouring* 750°C, dilanjutkan pemberian perlakuan cairan dengan 4 variasi penambahan unsur penghalus butiran Al-TiB : 0 gr, 4 gr, 5 gr dan 7,5 gram, dituang kedalam cetakan sentrifugal dengan putaran 1000 rpm dan 2 variasi suhu awal cetakan (*moulding*) 250°C dan 300°C, dengan bentuk cetakan *velg* serta kecepatan putaran cetakan 1000 rpm. Hasil uji komposisi diperoleh komposisi material sebagai berikut Al 92,43 %w, Si 6,95 %w, Mg 0,2683 %w, Cu 0,03 %w, Fe <0,1474 %w, Ti 0,1329 %w, Zn 0,0326 %w, Mn 0,0036 %w, unsur lain 0,0098 %w. Nilai capaian sifat mekanis dapat dilihat pada tabel I, terlihat bahwa sifat mekanis masih belum mencapai standar yang ada.

Tabel I. Nilai Capaian Sifat Mekanis (Bintoro, 2011)

+ Al-TiB (gr)	Suhu mould 250 ⁰ C		
	UTS (MPa)	ε (%)	IS (J/cm ²)
0	195	4	5
4	193,89	4,4	5,6
5	193,33	4,8	5,9
7,5	209,44	4,8	7,8

+ Al-TiB (gr)	Suhu mould 300 ⁰ C		
	UTS (MPa)	ε (%)	IS (J/cm ²)
0	120,22	5	2,7
4	153,64	5,4	3,4
5	155,22	5,8	2,5
7,5	130,72	5,4	2,1

Oleh karenanya masih memerlukan berbagai upaya untuk menaikkan kualitas hasil pengecoran, agar kualitasnya menyamai atau bahkan melampaui hasil pengecoran industri besar atau pabrikan. Upaya yang dapat dilakukan untuk peningkatan sifat fisis dan mekanis pada paduan aluminium adalah dengan penambahan unsur inokulan Ti-B (Brown, 1999), penggunaan metode pengecoran sentrifugal (Chirita, dkk., 2006) dan pemberian perlakuan panas (*heat treatment*) T6 (Pio, 2011). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *artificial aging* 150, 175 dan 200 °C pada siklus perlakuan panas T6 terhadap *Quality Index*, kekuatan impak dan morfologi struktur mikro. Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah untuk mendapatkan material paduan aluminium sekrap cor untuk *velg* yang mempunyai kualitas sama dengan material hasil industri besar atau pabrikan dan dapat memberikan masukan sebagai bahan perbaikan bagi industri pengecoran lokal dalam proses pembuatan *velg* cor yang menggunakan material

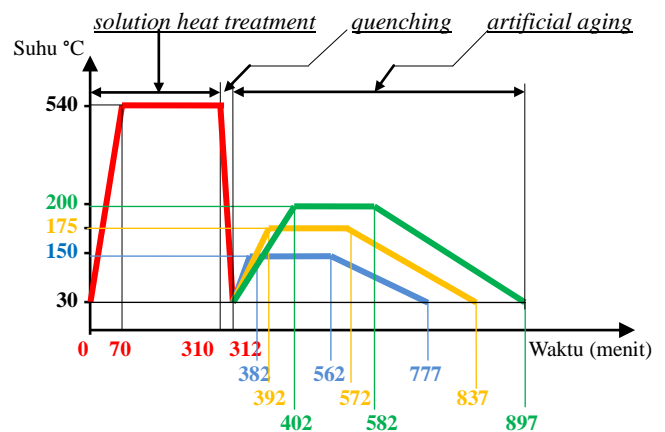
paduan aluminium sekrap. Dari hasil uji komposisi, material uji bisa dikategorikan kedalam material paduan aluminium A 356 cor, sedangkan berdasarkan standar ASM Handbook (2000), sifat mekanik paduan aluminium A 356 cor tercantum pada tabel II.

Tabel II. Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.0 *Permanen Mould* (ASM Handbook, 2000).

Property	Value
<i>Casting Process & Temper</i>	T6
<i>Ultimate Strength</i> (MPa)	262
<i>Tension Yield Strength</i> (MPa)	185
<i>Elongation</i> (in 5 D, %)	12
<i>Shearing Strength</i> (MPa)	205
<i>Brinell Hardness</i> (500 kg load on 10 mm ball)	80

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Proses pada siklus perlakuan panas T6 dilakukan dengan metode pengerasan dengan pengendapan (*precipitation hardening*) yang secara garis besar terdiri dari 3 langkah yaitu panas pelarutan (*solution heat treatment*), pendinginan cepat (*quenching*) dan proses penuaan buatan (*artificial aging*) (Anzip, dkk, 2006). Pada penelitian ini suhu dan waktu siklus perlakuan panas T6 yang dilakukan terlihat gambar 1.



Gambar 1. Suhu dan Waktu Siklus Perlakuan Panas T6

- Langkah pertama : perlakuan panas pelarutan (*solution heat treatment*). Pada langkah ini spesimen dimasukkan kedalam *furnace* pada suhu kamar dan dipanaskan sampai mencapai suhu 540 °C, kemudian ditahan selama 4 jam.
- Langkah kedua : pendinginan cepat (*quenching*). Untuk mendapatkan larutan padat lewat jenuh (*supersaturated*) yang merupakan fasa tidak stabil meskipun pada temperatur biasa dan cenderung untuk terjadi presipitasi fasa kedua. Media *quenching* adalah air pada suhu kamar. Operasi ini dinamakan perlakuan pelarutan.
- Langkah ketiga : proses penuaan buatan (*artificial*

aging). Setelah langkah *solution heat treatment* dan *quenching*, langkah berikutnya adalah *aging* (penuaan), dimana penuaan yang dilakukan adalah penuaan buatan, pada langkah ini spesimen dimasukkan kembali ke *furnace* pada suhu kamar dan dipanaskan sampai suhu yang dikehendaki sesuai variasi suhu *artificial aging* masing-masing pada kelompok spesimen yaitu 150°C, 175°C dan 200°C dengan waktu tahan 3 jam dan didinginkan dengan pendinginan udara (lambat).

Pengujian yang dilakukan berdasarkan standar ASTM meliputi pengujian (analisa) struktur mikro sesuai ASTM E-3, uji tarik sesuai ASTM E-8M, dan uji impak sesuai ASTM E-23. Pengujian dilaksanakan di laboratorium Bahan, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, UGM dengan mesin dan alat yang digunakan *Universal Testing Machine*, Alat uji Impak *Charpy* dan Mikroskop.

Quality Index merupakan korelasi antara nilai kekuatan tarik dengan penambahan nilai prosentase dari elongasi serta kontribusi dari bentuk mikrostruktur yang berbeda (Khomamazadeh dkk.,2004), untuk paduan aluminium A 356 dapat ditentukan dengan rumus

$$QI = UTS \text{ (MPa)} + k \cdot \log (\% \text{ elongasi}) \text{ MPa}$$

dimana k (konstanta) untuk A 356 = 150 MPa

Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian sifat mekanik yang meliputi uji tarik, elongasi dan kekuatan impak, apat dilihat pada table berikut :

Tabel III. Sifat Mekanik Hasil Pengujian Suhu *Artificial Aging* 150°C Perlakuan Panas T6

+ Al-TiB (gr)	Suhu mould 250 ^o C		
	UTS (MPa)	ε (%)	IS (J/cm ²)
0	140,8	4,92	2,5
4	207,2	7,67	3,8
5	220,8	11,83	7,5
7,5	222,4	10,75	8,1

+ Al-TiB (gr)	Suhu mould 300 ^o C		
	UTS (MPa)	ε (%)	IS (J/cm ²)
0	138,4	2,58	2,5
4	216,0	8,08	8,8
5	180,0	5,17	5,6
7,5	164,8	3,17	3,8

Tabel IV. Sifat Mekanik Hasil Pengujian Suhu *Artificial Aging* 175°C Perlakuan Panas T6

+ Al-TiB (gr)	Suhu mould 250 ^o C		
	UTS (MPa)	ε (%)	IS (J/cm ²)
0	207,2	9	6,3
4	209,6	9,50	3,8
5	246,4	14,5	7,5
7,5	253,6	15,25	7,5

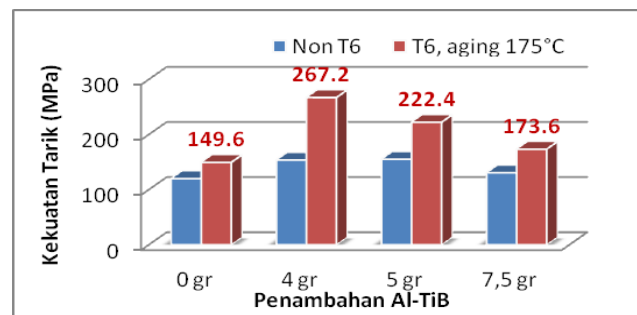
+ Al-TiB (gr)	Suhu mould 300 ^o C		
	UTS (MPa)	ε (%)	IS (J/cm ²)
0	149,6	3	3,8
4	267,2	15,92	13,8
5	222,4	9,50	3,6
7,5	173,6	3,83	3,1

Tabel V. Sifat Mekanik Hasil Pengujian Suhu *Artificial Aging* 200°C Perlakuan Panas T6

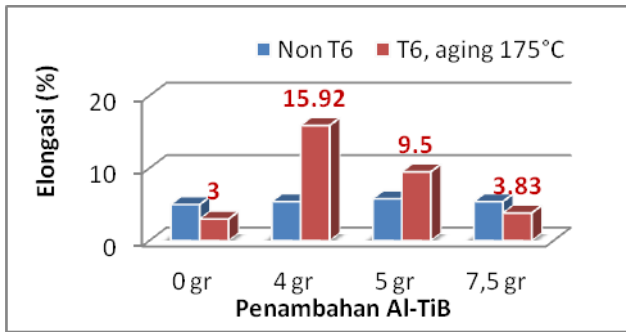
+ Al-TiB (gr)	Suhu mould 250 ^o C		
	UTS (MPa)	ε (%)	IS (J/cm ²)
0	189,6	5,75	5
4	227,2	12,33	3,8
5	256,8	15,33	8,8
7,5	248,8	15,17	5,6

+ Al-TiB (gr)	Suhu mould 300 ^o C		
	UTS (MPa)	ε (%)	IS (J/cm ²)
0	158,4	4,83	2,5
4	240,8	9,42	4,4
5	192,8	8,67	2,5
7,5	160,8	2	6,3

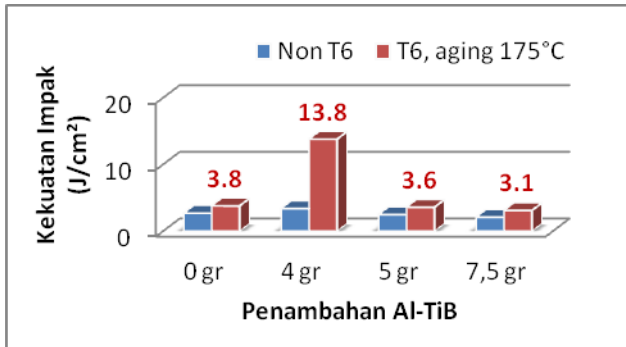
Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa adanya peningkatan sifat mekanik pada material uji setelah diberikan perlakuan panas T6 dibandingkan dengan tanpa perlakuan panas T6, terlihat pada gambar dan tabel dibawah ini, dimana peningkatan sifat mekanik tersebut juga telah melampaui standard ASM Internasional (2000).



Gambar 1. Perbandingan Kekuatan Tarik Non T6 Dengan T6 (suhu mould 300°C)



Gambar 2. Perbandingan Elongasi Non T6 Dengan T6 aging 175°C (suhu mould 300°C)



Gambar 3. Perbandingan Kekuatan Impak Non T6 Dengan T6 aging 175°C (suhu mould 300°C)

Peningkatan sifat mekanik yang meliputi kekuatan tarik (gambar 1.), elongasi (gambar 2.) dan kekuatan impak (gambar 3.) terjadi pada material uji yang menerima perlakuan panas T6 dengan siklus *solution heat treatment* pada suhu 540°C waktu tahan 4 jam, *water quenching* dan *artificial aging* pada suhu 175°C waktu tahan 3 jam. Dimana siklus perlakuan panas T6 tersebut efektif untuk kondisi awal material dengan suhu *pouring* 750°C, suhu *mould* 300°C, penambahan unsur Al-TiB sebesar 4 gram dan pengecoran sentrifugal dengan kecepatan putaran 1000 rpm. Hal tersebut diperkuat dengan nilai *Quality Index* pada tabel VI dibawah ini :

Tabel VI. Perbandingan *Quality Index* Antara Material Non T6 Dengan T6 Aging 175°C (suhu mould 300°C)

+ Al-TiB (gr)	<i>Quality Index</i> (MPa)	
	Non T6	T6, aging 175°C
0	225.07	221.17
4	263.50	447.49
5	269.73	369.06
7,5	240.58	261.08

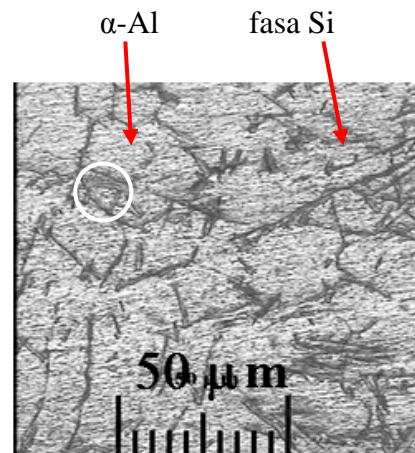
Beberapa faktor yang mempengaruhi peningkatan sifat mekanik tersebut yaitu unsur penghalus butiran Al-TiB dimana unsur titanium dan boron mengakibatkan butiran kristal menjadi lebih kecil dan

merata serta berbentuk bulat (gambar 4). Dari gambar terlihat bahwa karena adanya penambahan unsur penghalus butiran Al-TiB, morfologi butir kristal pada kondisi tanpa perlakuan panas T6 berbentuk bulat dan butiran kecil merata.

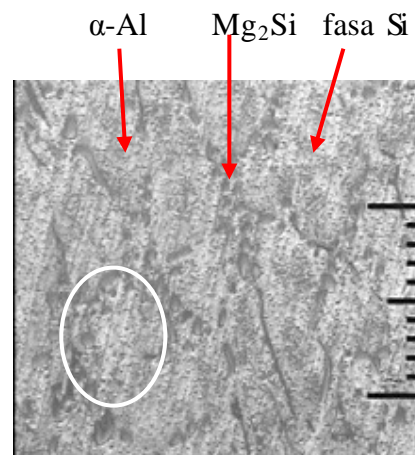
Tabel VII. Rangkuman Sifat Mekanik Non T6, T6 aging 175°C dan Standar ASM

<i>Treatment</i>	UTS (MPa)	ϵ (%)	QI (MPa)	IS (J/cm²)
Non T6	158,4	4,83	263.50	2,5
T6 aging 175°C	267,2	15,92	447.49	13,8
ASM Int'l	262	12	-	-

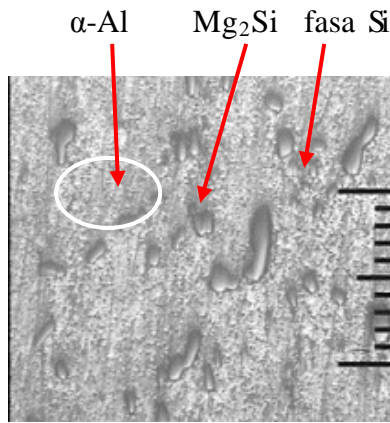
Setelah perlakuan panas T6 terjadi perubahan morfologi butiran kristal dari bulat merata menjadi bulat memanjang (gambar 5.), perubahan morfologi ini menjadi salah satu faktor pendorong peningkatan sifat mekanis.



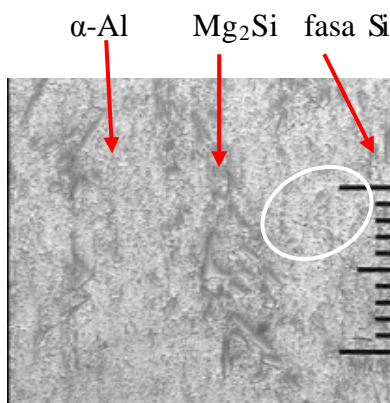
Gambar 4. Struktur Mikro Material Non T6 Suhu Mould 300°C, 4 gr Al-TiB (perbesaran 200 x)



Gambar 5. Struktur Mikro Material T6 aging 150°C Suhu Mould 300°C, 4 gr Al-TiB (perbesaran 200 x)



Gambar 6. Struktur Mikro Material T6 aging 175°C
Suhu Mould 300°C, 4 gr Al-TiB (perbesaran 200 x)



Gambar 7. Struktur Mikro Material T6 aging 200°C
Suhu Mould 300°C, 4 gr Al-TiB (perbesaran 200 x)

Dari gambar 4. dan 6. terlihat bahwa struktur pada material non T6 terdiri dari fase Al dan fase Si, setelah *solution treated* pada suhu 540 °C waktu tahan 4 jam, *quenching* dan *artificial aging* pada suhu 150 °C, 175 °C dan 200 °C waktu tahan 3 jam, menjadi struktur yang terdiri dari fase α -Al, fase Mg_2Si dan fase Si. Fase Mg_2Si mengalami diskontinu sepanjang batas butir dan berbentuk bulat melingkar serta *solution heat treatment* mengakibatkan Mg_2Si larut kedalam matrik α -Al. Setelah proses *quenching* atom-atom terlarut dalam kondisi larutan lewat jenuh dan ada kecenderungan timbulnya presipitat Mg_2Si selama proses *aging*, sehingga suhu dan waktu *aging* akan berpengaruh terhadap jumlah atau volume timbulnya presipitat Mg_2Si (Kuntongkom, dkk., 2008)

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan yaitu untuk mengetahui pengaruh suhu *artificial aging* pada siklus perlakuan panas T6 terhadap sifat fisis mekanis untuk material paduan aluminum skrap hasil proses pengecoran velg pada putaran 1000 rpm, suhu *pouring* 750 °C, suhu *mould* 250 °C dan 300 °C, penambahan 0 gr; 4 gr; 5 gr; 7,5 gr Al-TiB, maka

dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Siklus perlakuan panas T6 yang memberikan hasil paling maksimal adalah *solution heat treatment* pada suhu 540 °C dengan waktu tahan 4 jam, *quenching* air pada suhu kamar dan dilanjutkan *artificial aging* pada suhu 175 °C dengan waktu tahan 3 jam.
2. Siklus perlakuan panas T6 tersebut efektif untuk kondisi material hasil pengecoran sentrifugal dengan $n = 1000$ rpm, suhu *pouring* 750 °C, suhu *mould* 300 °C dan penambahan inokulan Al-TiB seberat 4 gram.
3. Tingkat capaian peningkatan sifat mekanis dengan perlakuan panas T6 tersebut, untuk nilai kekuatan tarik mencapai 73,9 %, nilai elongasi mencapai 194,8 % dan nilai kekuatan impak mencapai 305,9 % terhadap nilai sifat mekanis untuk material non T6.
4. Pengaruh perlakuan panas T6 terhadap struktur mikro adalah terjadi perubahan morfologi butir dari bulat menjadi bulat memanjang (lonjong) dan perubahan struktur dari α -Al dan fase Si menjadi α -Al, Mg_2Si dan fase Si serta perubahan struktur ini menjadi faktor utama terjadinya peningkatan sifat mekanis.
5. Pencapaian *kekuatan tarik* = 267,20 MPa, elongasi (ϵ) = 15,92 % telah melampaui nilai standar ASM Internasional *Handbook* ($UTS = 262$ MPa, $\epsilon = 12$ %).

Referensi

- Annual Book of ASTM Standards, 1998, Section 3, Volume 3.1, ASTM.
- Ashby, M.F., Jones, D. R. H, 1998, “*Engineering Materials 2-An Introduction to Microstructures, Processing and Design*”, 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Oxford.
- ASM International, 2, Volume 2, 2004, “*Properties and Selection : Non Ferrous Alloys and Special Purpose*” Handbook
- ASM International, 24, Volume 15, 2004, “*Casting*” Handbook
- ASM International, Volume 9, 2004, “*Metallography and Microstructures*” Handbook.
- Bambang, U, 2010, “Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada *Centrifugal Casting Aluminium Alloy Velg Sepeda Motor*”, Tesis S-2, Teknik Mesin, UGM.
- Bintoro, W. M, 2010, “Pengaruh Temperatur Cetakan , Bentuk Produk dan Inokulan Al-Ti-B Pada Proses Pengecoran Sentrifugal Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Paduan Aluminium”, Tesis S-2, Teknik Mesin, UGM.
- Brown JR., 1999, “*Foseco- Non Ferrous Foundryman’s Hand Book*”, Butterworth Heinemann, 11th Edition, Oxford
- Caceres C.H.; 2000, “*Microstructure Design and Heat Treatment Selection for Casting Alloys Using the Quality Index*”. Journal of Materials Engineering and Performance, volume 9:215-221
- Callister, W.D. Jr, 2004, “*Material Science and Engineering: An Introduction*”, John Wiley & Sons.
- Chirita, G., Stefanescu, I., Soares, D., Silva, F.S., 2006,

- “Centrifugal versus Gravity Casting Techniques Over Mechanical Properties”*, *Anales de Mecánica de la Fractura*, 1, 317, 322
- Ginting, I, 1998, “Penguatan Dengan Penghalusan Butir pada Paduan Hypoeutektik Al-Si 9,4 % Si, Buletin IPT, No. 5, Vol III.
- Joshi, A. M. 2011, “*Centrifugal Casting*”, Dept. of Metallurgical Engg. & Material Science, Indian Institute of Technology, Bombay, India.
- Kuntongkum, S., Wisutmethangoon, S., Plookphol, T., Wannasin, J, 2008, “*Influence of Heat Treatment Processing Parameters on the Hardness and the Microstructure of Semi Solid Aluminium Alloy A356*”, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, Vol. 18, No. 2, pp.93-97.
- Moller, H., Govender, G., Stumpt, W. E, 2008, “*The T6 Heat Treatment of Semi Solid Metal Alloy A356*”, *Material Science and Metallurgical Engineering*, CSIR, South Africa.
- Mukunda P.G., Shailesh, R. A., Shrikantha S. R, 2010, “*Influence of Rotational Speed of Centrifugal Casting Process on Appearance, Microstructure, and Sliding Behavior of Al-2Si Cast Alloy*”, *Met. Mater. Int.*, Vol. 16, No.1, pp 137-143.
- Pio, L. Y, 2011, “*Effect of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Gravity Die Cast A356 Aluminium Alloy*”, *Journal of Applied Sciences* 11, 248-252
- Sigworth, G. K., Smith, C. L., Easton, M. A., Baressi, J., Kuhm, T. A, 2007, “*The Grain Refinement of Al-Si Casting Alloys*”, *The Mineral, Metal & Materials Society*, Australia
- Surdia, T., Saito, S, 1992, “*Pengetahuan Bahan Teknik*”, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Zolotarevsky, V.S., Belov, N.A., and Galzoff, M.V., 2007, “*Casting Aluminium Alloys*”, ISBN-13: 978--8-4537-5, Elsevier Ltd.