**PENGARUH VARIASI WAKTU *HOLDING* PROSES *ARTIFICIAL AGING* TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN KETAHANAN IMPAK PADUAN Al-Si**

***EFFECT OF HOLDING TIME DURING ARTIFICIAL AGING OF AL-SI ALLOY ON
TENSILE AND IMPACT STRENGTH***

Moch Iqbal Zaelana Muttahar¹, Purbaja Adi Putra², Greida Frista³

^{1,2,3}Balai Besar Logam dan Mesin, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri,
Kementerian Perindustrian, Jl. Sangkuriang 12 Dago Bandung, Indonesia

Email: ¹mochiqbal@kemenperin.go.id

Abstrak

Indonesia menjadi salah satu negara dengan konsumsi aluminium terbesar, salah satunya untuk komponen *bogie* tank baja. Upaya pembuatan roda *bogie wheel* telah dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah proses pengecoran. Untuk memenuhi spesifikasi teknis tersebut, *bogie* hasil pengecoran harus dikenai proses *heat treatment* agar memiliki sifat mekanik yang memadai. Dalam penelitian ini dilakukan variasi waktu *holding* proses *artificial aging* selama 2, 3, 4, dan 5 jam. Pengujian yang dilakukan berupa uji metalografi, pengujian tarik, dan pengujian impact. Hasil dari pengujian, didapatkan bahwa kekuatan tertinggi adalah sebesar 193,08 MPa yang dicapai oleh spesimen aluminium dengan waktu *holding* proses *artificial aging* selama 5 jam. Ketahanan impact tertinggi adalah sebesar 2,55 Joule yang dicapai oleh spesimen aluminium dengan waktu *holding* proses *artificial aging* selama 5 jam. Presipitat yang terbentuk pada hasil *artificial aging* berupa presipitat AlSi yang halus, membulat dan membentuk kluster.

Kata kunci: Aluminium, Perlakuan Panas, Aging, Presipitat

Abstract

Indonesia is one of the countries with the largest aluminum consumption, particularly for *bogie tracklink* tank components. The efforts to make *bogie wheel* wheels have been carried out with various methods, including the casting process. There are some technical specifications to support *bogie* on its application, *bogies* from casting must be subjected to a *heat treatment* process in order to have adequate mechanical properties. In this research, the variation of holding time of the *artificial aging* process was 2, 3, 4, and 5 hours. Tests carried out in the form of metallographic, tensile strength testing, and impact testing. It was found that the highest strength was 193.08 MPa which was achieved by aluminum specimen with holding time for the *artificial aging* process for 5 hours. The highest impact resistance is 2.55 Joules which is achieved by aluminum specimens with a holding time of the *artificial aging* process for 5 hours. Precipitates that are formed on the results of *artificial aging* are AlSi precipitates with smooth, rounded and clustered shape.

Keywords: Aluminum, Heat Treatment, Aging, Precipitate

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan salah satu logam non-ferrous dengan konsumsi tertinggi di dunia, dengan konsumsi tahunan bisa mencapai hingga angka 24 juta ton/tahun. (Totten dan MacKenzie 2003) Di Indonesia permintaan aluminium terus meningkat, pada tahun 2016 diperkirakan konsumsi aluminium akan mencapai angka 800 ribu ton/tahun. (Laporan Tahunan INALUM 2015)

Salah satu penggunaan aluminium di Indonesia adalah sebagai material penyusun bagian roda tank baja (*bogie*). *Bogie* adalah bagian lempeng roda yang mengalami kontak langsung dengan rantai pada sistem penggerak tank baja. Hal ini menyebabkan material yang akan digunakan untuk *bogie* tank baja harus memiliki sifat mekanik yang cukup tinggi untuk menahan segala beban yang terjadi pada *bogie* tersebut. Salah satu sifat pendukungnya adalah kuat tariknya sebesar 228 MPa. (Gabrian International (H.K.) Ltd. n.d.)

Pada prinsipnya material hasil pengecoran perlu melalui proses *heat treatment* untuk meningkatkan sifat mekanik produk cor yang akan digunakan. Proses perlakuan yang tepat dilakukan pada paduan aluminium adalah proses *precipitation hardening* yang melibatkan proses *artificial aging*. (Alcan 2008)

Artificial aging merupakan salah satu metode *treatment* pada aluminium yang bertujuan untuk mempercepat laju pertumbuhan presipitat sehingga sifat mekanik dari aluminium dapat disesuaikan dan dicapai akibat tumbuhnya presipitat pada proses ini. Kombinasi temperatur dan waktu tahan proses *artificial aging* akan sangat menentukan sifat mekanik dari material yang dikenai *treatment*. (Pranata, Alfirano and Mujijat n.d.) Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap perubahan struktur mikro dan perubahan sifat mekanis berupa kekuatan tarik dan ketahanan impak paduan Al-Si hasil pengecoran untuk material *bogie wheel*.

METODOLOGI PENELITIAN

Sampel

Paduan Al-Si yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari proses pengecoran. Preparasi sampel dilakukan melalui proses pemesian dengan *machining* pada beberapa

bagian *test piece* agar didapatkan *test piece* yang sesuai standar uji. Komposisi spesimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Heat Treatment

Proses *heat treatment* diawali dengan proses *solid solution treatment* (SST). Pada langkah ini spesimen uji dipanaskan di dalam *furnace* hingga temperatur 540 °C, dilakukan penahanan temperatur SST selama 5 jam. (Afifi, Wang and Pereira 2018) Proses pendinginan (*quenching*) dilakukan dengan menggunakan media air pada temperatur 65–80 °C selama 10 menit. Langkah terakhir yaitu *artificial aging*. Pada langkah ini spesimen uji dipanaskan di dalam *furnace* hingga temperatur 155 °C dengan variasi *holding time* 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam. (Xu, Zheng and Li 2017) Kemudian dikeluarkan dari tungku hingga temperatur material mendekati temperatur kamar.

Tabel 1. Komposisi Paduan Al-Si

Unsur	Komposisi (%)
Al	88,80
Si	6,38
Fe	1,54
Cu	1,21
Mn	0,11
Mg	0,06
Cr	0,04
Ni	0,11
Zn	1,47

Pengamatan Metalografi dan Scanning Electron Microscopy - Energy-dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)

Uji metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan fasa-fasa yang terbentuk sebelum dan sesudah dilakukannya proses *heat treatment* pada spesimen uji. Standar yang digunakan pada pengujian metalografi adalah ASTM 340. Etsa yang digunakan berupa *keller's reagent* dengan komposisi 95 % air, 2,5 % HNO₃, 1,5 % HCl, dan 1 % HF. (Brandes and Brook 2001) sedangkan untuk SEM-EDS menggunakan standar ASTM E986-04.

Uji Tarik

Uji tarik adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material ketika dikenai beban dalam besaran tertentu. Dalam pengujiannya, spesimen uji disesuaikan dengan standar uji tarik JIS Z 2201 no. 5. Berdasarkan standar tersebut didapatkan panjang spesimen uji adalah sebesar 120 mm, *gauge length* sepanjang 50 mm, dan diameter *gauge* adalah 14 mm seperti ditunjukkan Gambar.1. (Setyawan, Irawan and Suprpto 2014)

Gambar 1. Spesimen uji tarik standar JIS 2201

Uji Impak

Uji impact (ketangguhan) adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan suatu bahan dalam menyerap energi sebelum patah. Spesimen uji disesuaikan dengan standar uji impact JIS Z 2242. Berdasarkan standar tersebut didapatkan ukuran spesimen uji adalah 55×10×10 mm dengan *notch* berbentuk v dan sudut *notch* sebesar 45° yang ditunjukkan pada Gambar 2. (JIS Z 2242 - Impact Testing 2005)

Gambar 2. Spesimen uji impact JIS Z 2242

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa pengaruh waktu holding artificial aging terhadap mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur ditunjukkan pada Gambar 3. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500 ×. Pada hasil mikrostruktur tanpa *treatment* masih terlihat adanya dendrit pertumbuhan butiran akibat hasil dari proses pengecoran. Dendrit ini didominasi oleh silikon yang dipicu oleh partikel pengotor, mekanisme ini terjadi akibat adanya paduan yang tidak dimodifikasi sehingga menjadi *interface* pengintian yang berulang yang menyebabkan adanya simpangan yang terbentuk akibat *twinning* kristal kubik di antarmuka pemadatan. (Shievkumer, Wang and Keller 1994)

Pada hasil mikrostruktur dapat dilihat bahwa terjadi perubahan struktur pada paduan Al-Si hasil *aging*. Sebelum dilakukan proses *heat treatment* belum terlihat adanya presipitat yang muncul, namun pada saat *artificial aging* telah dilakukan terlihat munculnya presipitat dengan senyawa AlFeSi dan AlSi pada mikrostruktur aluminium. Hal ini didukung dengan hasil SEM yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 3. Mikrostruktur spesimen paduan Al-Si a. *as cast* b. *Holding 2 jam* c. *Holding 3 jam* d. *Holding 4 jam* e. *Holding 5 jam*

Pada waktu *holding* selama 2 jam, presipitat yang terbentuk masih berukuran besar dan kasar. Semakin lama waktu *holding* presipitat yang terbentuk cenderung lebih halus dan tersebar. (Djarmiko and Budiarto 2007) Hal ini terjadi karena persipitat terus terbentuk pada temperatur *aging*. Presipitat tersebut relatif terbentuk pada suhu *aging* 155 °C, sehingga mampu memberikan kontribusi terhadap kekuatan karena bersifat koheren terhadap matriksnya. Semakin koheren suatu presipitat terhadap matriksnya maka dislokasi akan menjadi lebih sulit merambat. (Djarmiko and Budiarto 2007) hal ini menyebabkan dibutuhkan energi yang lebih besar untuk menggerakkan dislokasi, sehingga material akan menjadi lebih kuat.

Element	Weight %	Atomic %
C K	3.03	6.73
O K	1.23	2.06
AlK	7.77	7.68
SiK	87.97	83.53

Element	Weight %	Atomic %
C K	3.03	6.73
O K	1.23	2.06
AlK	7.77	7.68
SiK	87.97	83.53

Element	Weight %	Atomic %
C K	19.15	33.13
O K	17.62	22.89
FeL	7.34	2.73
CuL	3.71	1.21
MgK	0.30	0.26
AlK	45.98	35.41
SiK	5.90	4.37

Element	Weight %	Atomic %
C K	6.84	13.83
O K	4.36	6.62
AlK	78.54	70.68
SiK	10.26	8.87

Gambar 4. Hasil SEM-EDS sampel paduan aluminium dengan perlakuan *aging* selama 5 jam

Pada temperatur waktu *holding* selama 4 dan 5 jam presipitat menjadi lebih halus, membulat serta cenderung membentuk kluster. Hal ini membuat sifat mekanis aluminium mendekati nilai optimum. (Shievkumer, Wang and Keller 1994)

Presipitat AlFeSi terlihat dari bentuk yang menjarum, Sementara untuk presipitat AlSi cenderung menjadi presipitat yang bulat. (Brandes and Brook 2001)

Analisa pengaruh waktu holding artificial aging terhadap kuat Tarik

Nilai kuat Tarik spesimen sebelum proses HT dilakukan adalah sebesar 151,18 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang digunakan pada penelitian masy'ari, (Masy'ari 2011) hal ini disebabkan karena kandungan Fe 1 % lebih tinggi pada paduan aluminium yang digunakan pada penelitian ini. (Masy'ari 2011) semakin tinggi kandungan Fe maka kekuatan tariknya akan menjadi lebih tinggi karena disebabkan oleh terbentuknya presipitasi AlFeSi yang mampu menghalangi pergerakan dislokasi. (Davis 2001)

Hasil uji tarik pada spesimen dengan perlakuan *aging* selama 2 hingga 5 jam mengalami kenaikan secara konstan dari 175,29 hingga 193,08 MPa. Hal ini disebabkan karena presipitat AlSi yang mulai menyebar sehingga menyebabkan jarak antar atom aluminium menjadi semakin kecil sehingga atom aluminium memiliki ikatan yang relatif lebih kuat. (Masy'ari 2011)

Analisa pengaruh waktu holding artificial aging terhadap ketahanan impak

Nilai ketahanan impak spesimen tanpa *heat treatment* adalah sebesar 0,59 J yang ditunjukkan pada Gambar 6. Nilai ketahanan impak setelah dikenai *heat treatment* terus meningkat hingga 2,55 J. Hal ini terjadi karena kristal silikon mengalami penurunan ukuran dan membentuk morfologi yang membulat sehingga mampu meningkatkan ketahanan terhadap retak pada paduan. (Shievkumer, Wang and Keller 1994)

Gambar 5. Perbandingan nilai kuat tarik dari spesimen tanpa *treatment* (NT) dan yang dikenai variasi *holding time artificial aging*

Gambar 6. Perbandingan nilai ketahanan impak dari spesimen tanpa *treatment* (NT) dan yang dikenai variasi *holding time artificial aging*

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dengan waktu *holding* proses *artificial aging* selama 5 jam didapatkan kekuatan sebesar 193,08 MPa dan ketahanan impak sebesar 2,55 Joule. Presipitat yang terbentuk pada hasil *artificial aging* berupa presipitat AlFeSi yang menjarum dan AlSi yang berbentuk bulat serta membentuk kluster yang mendukung penghambatan dislokasi yang terjadi sehingga membentuk material yang lebih kuat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih Kepala Balai Besar Logam dan Mesin dan Ibu Shinta Virdhian (Kepala Bidang Penelitian dan Pengembangan, BBLM), Bapak Dagus Resmana Djuanda, dan Ibu Eva Afrilinda yang telah

berkenan untuk memberikan bantuan dan fasilitas untuk mendukung dalam kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifi, Mohamed, Ying Chun Wang, and Pedro Henrique R Pereira. "Effect of heat treatments on the microstructures and tensile properties of an ultrafine-grained Al-Zn-Mg alloy processed by ECAP." *Journal of Alloys and Compounds* 749 (2018): 567-574.
- Alcan, Rio Tinto. *Heat Treatment of Aluminium Foundry Alloy*. Alcan International Ltd, 2008.
- Brandes, E. A., and G. B. Brook. *Smithells Metals Reference Book*. Oxford: Elsevier, 2001.
- Davis, J. R. "Aluminum and Aluminium Alloys." In *Alloying : Understanding The Basics*, 351-416. ASM International, 2001.
- Djarmiko, Eddy, and Budiarto. "Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan Dan Strukturmikro Pada Paduan Al-Si-Mg." *Materi Indonesia*, 2007: 78-83.
- Gabrian International (H.K.) Ltd. *7075 Aluminum Alloy: Properties*. New Hampshire : Gabrian, n.d.
- "JIS Z 2242 - Impact Testing." In *Japanese Industrial Standard*, 538. 2005.
- Laporan Tahunan INALUM*. Batu Bara: PT INALUM (Persero), 2015.
- Masy'ari. *Pengaruh Kecepatan Putar, Perlakuan Panas T6 dan Penambahan Inokulan Al-TiB Pada Centrifugal Casting Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Al 356 Velg Sepeda Motor*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2011.
- Pranata, M D Endah, Alfirano, and Jajat Mujiat. "Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Paduan Al 2014 Hasil Proses Aging Dengan Temperatur Dan Waktu Tahan." *Material*, n.d.
- Setyawan, Pungky Edy, Yudy Surya Irawan, and Wahyono Suprpto. "Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging." *Jurnal Rekayasa Mesin* volume 5 (2014): 141-148.
- Shievkumer, S, L Wang, and C Keller. "Impact Properties of A356-T6 Alloys." *Journal of Materials Engineering and Performance* 3, no. thoughness (1994): 83-90.
- Shivkumar, Satya, F, S Wang, and C Keller. "Impact Properties of A356-T6 Alloys." *Mechanical Engineering Faculty Publications* (Department of Mechanical Engineering), 1994: 83-90.
- Totten, George E, and D. Scott MacKenzie. *Handbook of Aluminium Physical Metallurgy and Process*. New York, Bassel: Marcel Dekker, Inc, 2003.
- Xu, Xuesong, Jingeu Zheng, and Zhi Li. "Precipitation in an Al-Zn-Mg-Cu alloy during isothermal aging: Atomic-scale HAADF-STEM investigation." *Materials Science & Engineering A* 691 (2017): 60-70.