

**ANALISA PERUBAHAN SIFAT MEKANIS AKIBAT PERLAKUAN
PANAS *ARTIFICIAL AGING* PADA VELG OEM (Al-Si)
DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR ES**



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata I
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh :

IRVAN ANGGIE LAKSANA

NIM : D200160180

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA PERUBAHAN SIFAT MEKANIS AKIBAT PERLAKUAN
PANAS *ARTIFICIAL AGING* PADA VELG OEM (Al-Si)
DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR ES**

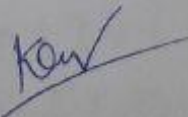
PUBLIKASI ILMIAH

oleh :

IRVAN ANGGIE LAKSANA

D 200 160 180

Telah diperiksa dan disetujui oleh
dosen pembimbing



Ir. Masyrukan, M.T

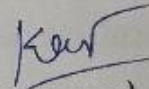
HALAMAN PENGESAHAN
ANALISA PERUBAHAN SIFAT MEKANIS AKIBAT PERLAKUAN
PANAS *ARTIFICIAL AGING* PADA VELG OEM (Al-Si)
DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR ES

OLEH
IRVAN ANGGIE LAKSANA
D200160021

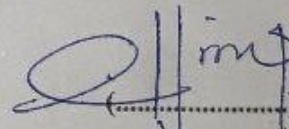
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 17 Desember 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

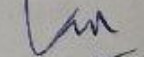
1. Ir. Masyrukan, M.T.
(Ketua Dewan Penguji)

()

2. M Alfatih Hendrawan, S.T., M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)

()

3. Ir. Tri Widodo B.R, S.T., M.Sc., Ph.D
(Anggota II Dewan Penguji)

()



Dekan Fakultas Teknik,

12012021
Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D., IPM.

NIK. 682

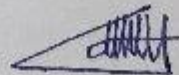
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 25 Desember 2020

Penulis



IRVAN ANGGIE LAKSANA

D200160180

Analisa Perubahan Sifat Mekanis Akibat Perlakuan Panas Artificial Aging pada Velg OEM (Al-Si) dengan Media Air Es

Abstrak

Aluminium (Al) merupakan logam ringan yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Dengan mengetahui sifat mekanik dan sifat fisis suatu material maka kita dapat menggunakan material tersebut sesuai dengan kebutuhan. Untuk memperbaiki sifat mekanis aluminium yaitu dengan metode perlakuan panas *Artificial aging*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *artificial aging* terhadap perubahan sifat mekanik dari velg OEM. Pembuatan spesimen dari bahan material velg OEM yang dicor ulang dengan metode sand casting. Spesimen uji diproses dengan langkah awal *solution treatment* temperatur 500°C waktu tahan 5 menit. Kemudian *quenching* dengan media dan air es 2,7°C. Setelah *quenching*, dilakukan perlakuan panas *artificial aging* temperatur 180°C waktu tahan 4 jam. Pada pengujian komposisi kimia diketahui bahwa unsur utama velg OEM adalah Al (93,59%) dan Si (6,09%). Setelah mengalami proses *artificial aging* didapatkan sifat mekanis yaitu nilai kekerasannya 60,06 BHN dan nilai impactnya 0,1 J/mm². Luasan grain Si yang terbentuk setelah proses *artificial aging* lebih besar dan rapat jika dibandingkan dengan butiran (*grain*) *remelting*, dan *quenching* sehingga mempengaruhi sifat mekanisnya.

Kata kunci : Aluminium, Artificial Aging, *impact*, Kekerasan

Abstract

Aluminum (Al) is a light metal that has good corrosion resistance and electrical conductivity. By knowing the mechanical properties and physical properties of a material, we can use the material as needed. To improve the mechanical properties of aluminum, the heat treatment method is *Artificial aging*. The purpose of this study was to determine the effect of artificial aging heat treatment on changes in the mechanical properties of OEM wheels. Making specimens from OEM wheel materials that are re-cast using the sand casting method. The test specimens were processed by the initial step of *solution treatment* temperature of 500 ° C holding time of 5 minutes. Then *quenching* with media and ice water of 2.7°C. After *quenching*, heat treatment was carried out with *artificial aging* temperature 180 ° C holding time for 4 hours. In testing the chemical composition, it is known that the main elements of OEM wheels are Al (93.59%) and Si (6.09%). After undergoing the process, *artificial aging* the mechanical properties are obtained, namely the hardness value of 60.06 BHN and the impact value of 0.1 J / mm². The area of grain Si formed after the process *artificial aging* is larger and when compared to denser grain *remelting* and *quenching*, thus affecting its mechanical properties.

Keywords: Aluminum, Artificial Aging, *impact*, Hardness

1 PENDAHULUAN

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya bidang pemesinan baik industri maupun otomotif, maka perkembangan inovasi dan komponen-komponen pemesinan makin bertambah. Perkembangan dan inovasi untuk kemajuan teknologi pemesinan berbanding lurus dengan kebutuhan untuk mengembangkan bahan-bahan mekanik yang akan digunakan, salah satunya adalah aluminium.

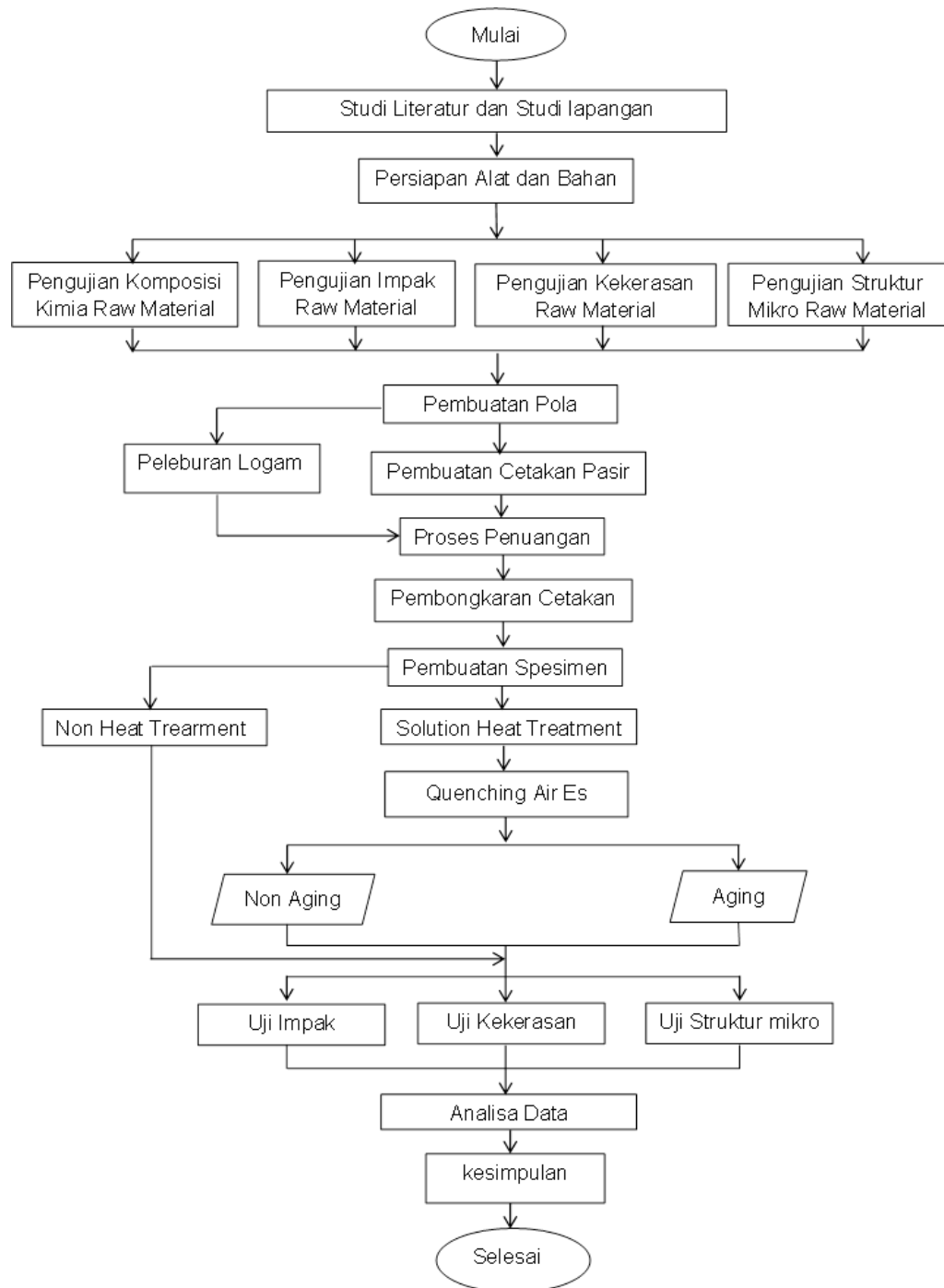
Aluminium (Al) merupakan logam ringan yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Pemakaian aluminium diperkirakan pada masa mendatang masih terbuka luas dengan ketersediaan biji aluminium di bumi yang melimpah. Produk – produk aluminium dihasilkan melalui proses pengecoran (*casting*) dan Pembentukan (*forming*). Aluminium hasil pengecoran logam banyak dijumpai pada peralatan rumah tangga dan komponen otomotif misalnya velg, piston, blok mesin dan lain sebagainya. (Helmy Purwanto, Mulyonorejo 2010)

Heat treatment yang dapat dilakukan pada paduan aluminium adalah *natural aging* dan *artificial aging*. *Natural aging* adalah proses penuaan secara alami. Sedangkan *artificial aging* adalah penuaan secara buatan. Sifat mekanik dan sifat fisis material sangat penting untuk diketahui. Dengan mengetahui sifat mekanik dan sifat fisis suatu material maka kita dapat menggunakan material tersebut sesuai dengan kebutuhan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis yang terjadi dari hasil *remelting* velg OEM (*Original Equipment Manufacturer*) aluminium (Al-Si) yang diberi perlakuan panas *artificial aging* dengan media pendingin air dingin. *Artificial aging* adalah salah satu metode *heat treatment* pada paduan aluminium yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis material.

2 METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian sebagai berikut :

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1. Pemotong <i>Sterofoam</i> | 9. Mesin Polish |
| 2. Jangka Sorong | 10. Alat Uji Kekerasan |
| 3. Kowi | 11. Alat Uji Struktur Mikro |
| 4. Kompor | 12. Alat Uji Komposisi Kimia |
| 5. Gerinda Potong | 13. Alat Uji Impak |
| 6. Tungku | 14. Oven |
| 7. Cetakan | 15. Infrared Thermometer |
| 8. Kertas Amplas | |

Bahan yang digunakan :

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1. Velg OEM | 5. Autosol dan Kain |
| 2. <i>Sterofoam</i> | 6. Larutan Etsa |
| 3. Pasir Cetak | 7. Air Es |
| 4. Gas Tabung | |

2.3 Tahap Penelitian

2.3.1 Proses *Artificial Aging*

Berikut ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam proses artificial aging:

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Memasukkan spesimen ke dalam oven.
3. Melakukan pengaturan pada oven. Pengaturan yang dilakukan antara lain: temperatur *solution* yang akan digunakan adalah 500°C dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur tersebut adalah 1,5 jam. Penahanan yang dilakukan pada temperatur *solution* adalah 5 menit.
4. Setelah proses di atas tercapai, maka langkah selanjutnya adalah mengeluarkan spesimen dan melakukan proses *quenching*.

5. Setelah proses *quenching* selesai, kemudian spesimen dimasukkan kembali ke dalam oven dilakukan proses *aging*.
6. Melakukan pengaturan kembali pada oven. Pengaturan yang dilakukan antara lain: temperatur aging yang digunakan adalah 180°C dan penahanan yang dilakukan selama 4 jam.

3 Hasil Dan Pembahasan

3.1 Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Sebelum melakukan proses *heat treatment*, terlebih dahulu material velg dilakukan pengujian komposisi kimia guna untuk mengetahui unsur unsur yang terkandung di dalamnya.. Hasil dari pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada tabel berikut :

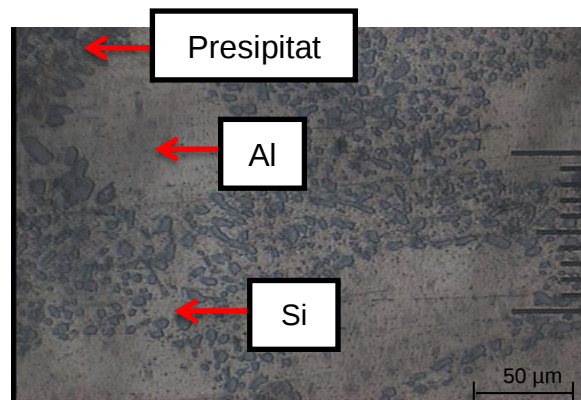
Tabel 1 Hasil pengujian komposisi kimia

Unsur	%
Al	93,59
Si	6,09
Mg	0,0681
Cu	0,023
Ti	0,0192
Cr	0,0019
Pb	0,0006
Ni	0,0003
Sn	0,0002

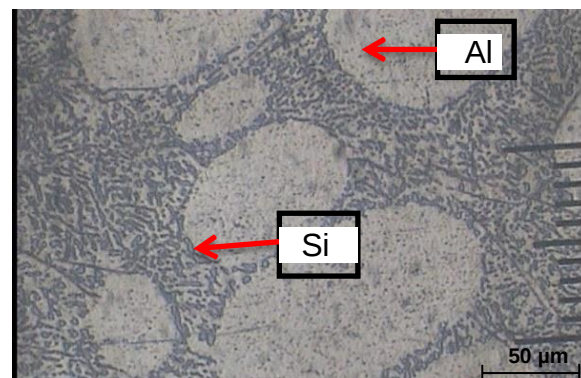
Berdasarkan tabel 1 hasil pengujian komposisi kimia, Velg OEM yang akan dijadikan bahan penelitian masuk kedalam seri 4xxx dengan kandungan Al sebesar 93,59% dan Si sebesar 6,09%.

3.2 Data Hasil Struktur Mikro Pengujian

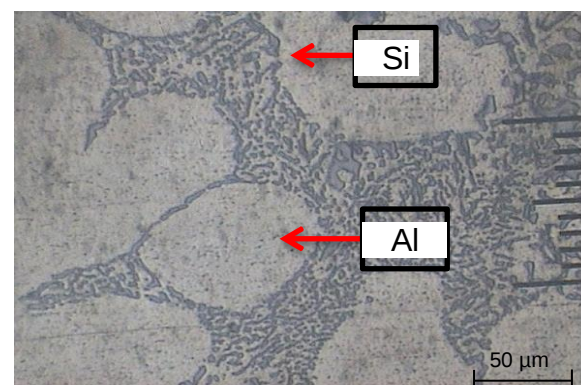
Pengujian struktur mikro dengan pembesaran 200x bertujuan untuk mengamati bentuk, ukuran, dan penyebaran butiran pada spesimen raw material, setelah proses *quenching*, dan setelah mengalami proses perlakuan panas *artificial aging* dengan media pendinginan air es 2,7°C. Struktur mikro dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



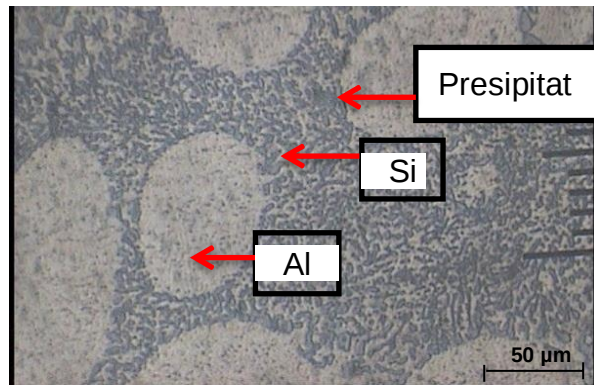
(a) Struktur Mikro Raw Material.



(b) Struktur Mikro *remelting velg*.



(c) Struktur Mikro *Only Quenching*.



(d) Struktur Mikro *Artificial Aging*.

Gambar 2. Foto Struktur Mikro Material Uji.

3.2.1 Pembahasan Hasil Pengujian Struktur Mikro

Dari hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat bahwa *raw material* sudah dilakukan proses *heat treatment*. Hal tersebut dilihat dengan adanya presipitat yang sudah terbentuk. Butiran (*grain*) yang terbentuk pada material setelah proses *remelting* berbeda dengan *grain* yang ada pada *raw material* velg. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses *remelting* menyebabkan perubahan bentuk struktur mikro, dimana hal tersebut juga berpengaruh terhadap sifat mekanis pada material tersebut.

Struktur mikro material setelah *remelting* memiliki ukuran struktur silikon (Si) yang luas dibandingkan dengan struktur mikro pada material setelah proses *quenching* sehingga menyebabkan nilai kekerasan material *remelting* lebih tinggi dibandingkan dengan material setelah proses *quenching*.

Struktur mikro proses *artificial aging* dengan media air es 2,7°C, ukuran butiran (*grain*) Si yang terbentuk lebih rapat dan luas dibandingkan dengan setelah proses *quenching*. Hal ini disebabkan karena material paduan aluminium memasuki zona [GP2] sehingga terjadi proses penguatan (*age hardening*) atau disebut zona penguatan kedua yang meningkatkan kekerasan aluminium paduan. Sedangkan pada saat setelah proses *quenching* material masuk pada

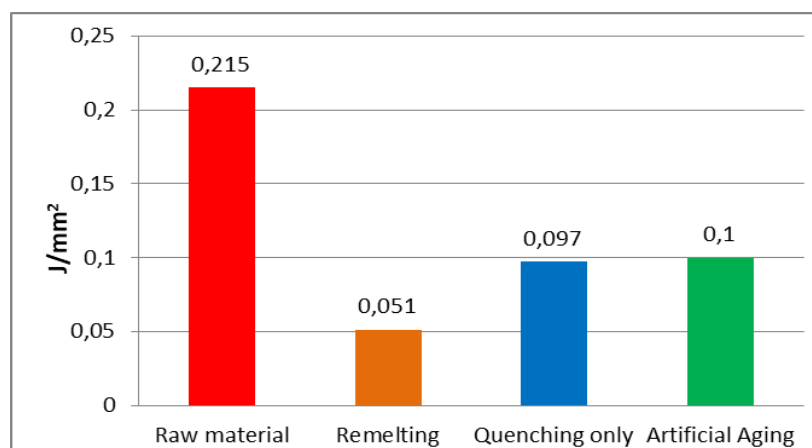
fasa larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution α*) butiran (grain) mengalami peregangan sehingga mengakibatkan paduan aluminium menjadi lunak. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999)

3.3 Data Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan pada *raw material* (bahan mentah), material setelah remelting, material setelah proses *quenching* dengan air es dengan suhu $2,7^{\circ}\text{C}$, dan material yang sudah diberi perlakuan panas *artificial aging*. Hal tersebut bertujuan agar dapat membandingkan harga nilai *impact* dan mengetahui material mana yang memiliki harga *impact* paling tinggi. Pengujian *impact* menggunakan metode *Charpy*. Berikut ini merupakan data hasil pengujian *impact* :

Tabel 2 Data hasil Pengujian *Impact*

Spesimen	Harga Impact OEM J/mm ²			
Vleg OEM	Raw material	Remelting	Quenching only	Artificial Aging
	0,232	0,051	0,097	0,082
	0,201	0,051	0,097	0,096
	0,213	0,051	0,097	0,123
rata - rata	0,215	0,051	0,097	0,1



Gambar 3 Diagram Hasil Pengujian *Impact*

3.3.1 Pembahasan hasil pengujian *impact*

Berdasarkan pengujian *impact* menunjukkan harga *impact raw* material sebesar $0,215 \text{ J/mm}^2$ setelah dilakukan proses *remelting* harga *impact* mengalami penurunan menjadi $0,051 \text{ J/mm}^2$. Penurunan harga *impact* disebabkan karena proses *remelting* (proses peleburan ulang) sehingga menyebabkan sifat mekanis dari raw material terjadi penurunan.

Hasil pengujian *impact* dari material setelah *remelting* dengan material setelah proses *quenching* mengalami kenaikan sebesar 18,02% yaitu dari harga *impact* $0,051 \text{ J/mm}^2$ menjadi $0,097 \text{ J/mm}^2$. Hal tersebut dikarenakan pada proses setelah *quenching* material tersebut masuk pada fasa larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution α*), dimana pada fasa tersebut material butiran (*grain*) atom mengalami peregangan sehingga mengakibatkan paduan aluminium menjadi lunak. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999)

Perbandingan harga *impact* setelah proses *quenching* dan harga *impact* setelah *artificial aging* mengalami kenaikan sebesar 3,09% dari harga *impact* $0,097 \text{ J/mm}^2$ menjadi $0,1 \text{ J/mm}^2$, karena butiran (*grain*) Si yang terbentuk setelah *artificial aging* lebih rapat dibandingkan dengan setelah proses *quenching* hal ini sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis hal tersebut dapat dilihat pada gambar (d).

Perbandingan nilai *impact* dari material *remelting* dengan material setelah proses *artificial aging* mengalami kenaikan sebesar 96,08% dari harga *impact* $0,051 \text{ J/mm}^2$ menjadi $0,1 \text{ J/mm}^2$. Berdasarkan hasil tersebut maka perlakuan panas *artificial aging* dapat meningkatkan sifat mekanis dari paduan Al-Si.

Perbandingan harga *impact raw* material dan setelah *artificial aging* mengalami penurunan sebesar 53,488% dari harga $0,215 \text{ J/mm}^2$ menjadi $0,1 \text{ J/mm}^2$. Hal tersebut dikarenakan butiran (*grain*) yang terbentuk terlalu luas dapat dilihat pada gambar (d) serta *heat treatment* yang sudah dilakukan belum bisa menyamai *heat treatment* dari

pabrikan velg sehingga perbedaan harga *impact* yang dihasilkan sangat jauh berbeda. Selain itu juga disebabkan oleh spesimen yang memiliki banyak porositas setelah proses *remelting* sehingga memiliki harga *impact* yang rendah



Gambar 4 Patah *Impact*



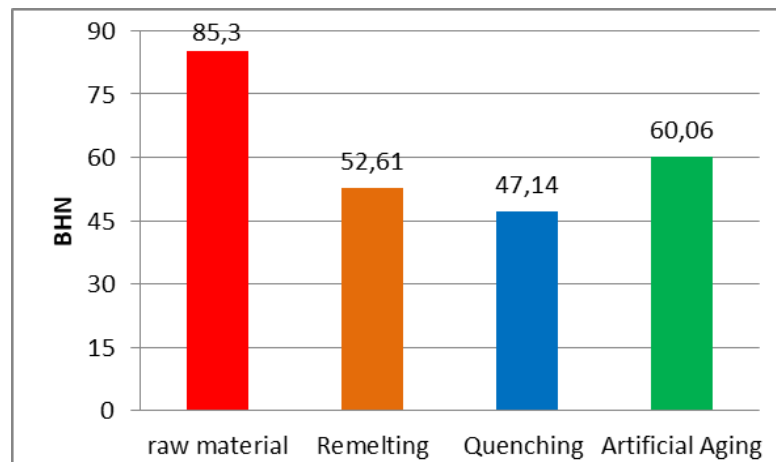
Gambar 5 Cacat Porositas

3.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada raw material, material setelah remelting, material setelah di *quenching* dengan media air es 2,7⁰C, dan material setelah *artificial aging* temperatur 180⁰C dengan waktu tahan 4 jam. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode uji Brinnel dengan pembebanan 31,25 Kg. Adapun data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Brinnel*

Spesimen	Pengujian kekerasan Air Es (BHN)			
	raw material	Remelting	Quenching Only	Artificial Aging
Vleg OEM	84,5	52,61	47,5	60,57
	84,5	52,61	46,2	59,04
	87,1	52,61	47,5	60,57
Rata-rata	85,3	52,61	47,14	60,06



Gambar 6 Diagram Hasil Pengujian Kekerasan.

3.4.1 Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan

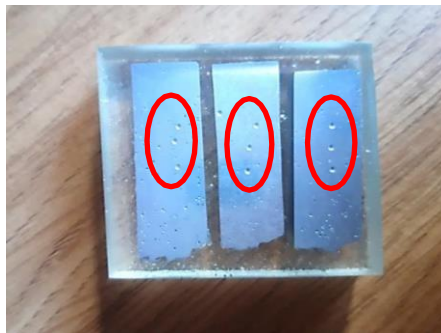
Dari pengujian kekerasan maka didapatkan nilai kekerasan dari *raw material* sebesar 8,53 BHN setelah dilakukan proses remelting material tersebut nilai kekerasannya berubah menjadi 52,61 BHN. Penurunan harga kekerasan disebabkan karena proses remelting (proses peleburan ulang) sehingga menyebabkan sifat mekanis dari *raw material* terjadi penurunan.

Hasil pengujian kekerasan dari material setelah *remelting* sebesar dengan material setelah proses *quenching* mengalami penurunan nilai kekerasan dari harga 52,61 BHN menjadi 47,14 BHN. Hal tersebut dikarenakan setelah proses *quenching* material tersebut masuk dalam fasa larutan pada lewat jenuh (*super saturated solid solution α*) butiran (*grain*) mengalami peregangan sehingga mengakibatkan paduan aluminium menjadi lunak. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999)

Perbandingan harga kekerasan setelah proses *quenching* dan harga kekerasan setelah proses *aging* terjadi peningkatan sebesar 27,408% dari harga kekerasan 47,14 BHN menjadi 60,06 BHN. Hal ini disebabkan oleh karena pada saat proses *artificial aging* butiran (*grain*) pada material mulai merapat sehingga terjadi proses

pengerasaan (*age hardening*) pada presipitat material. Material paduan aluminium memasuki zona [GP2] atau disebut zona pengerasan kedua dimana mulai terbentuk butiran (*grain*) yang meningkatkan kekerasan aluminium paduan. (Smith, 1955)

Harga kekerasan *raw* material dibandingkan dengan harga *artificial aging* material mengalami penurunan dari harga kekerasan 85,3% BHN menjadi 60,06 BHN, hal ini disebabkan karena *Heat treatment* yang dilakukan dalam penelitian ini belum bisa menyamai *heat treatment* pabrikan dari velg baik dari segi : pemilihan waktu penahanan dan temperatur tidak tepat pada saat *proses artificial aging*, serta media pendingin yang digunakan dan adanya cacat pengecoran. Berikut merupakan gambar 4 hasil titik penekanan dari pengujian kekerasan *brinell*.



Gambar 7 Titik Penekanan Pengujian Kekerasan

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan , analisis data dan hasil pembahasan tentang pengaruh perlakuan panas *artificial aging* pada vleg OEM (*Original Equipment Manufacture*) dengan media pendingin air es terhadap perubahan sifat mekanis, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian komposisi kimia pada vleg OEM didapatkan unsur terbanyak yaitu aluminium (Al) 93,59%, dan Silikon(Si) 6,09%, Sehingga material ini termasuk logam aluminium silikon (Al-Si).

2. Setelah mengalami proses *Artificial aging* didapatkan sifat mekanis yaitu harga *impact* 0,1 J/mm² dan harga kekerasan 60,06 BHN. Nilai tersebut belum bisa menyamai atau melebihi pada *raw material* velg.
3. Berdasarkan pengujian struktur mikro luasan grain Si yang terbentuk setelah proses *artificial aging* lebih besar dan rapat jika dibandingkan dengan butiran (*grain*) *remelting*, dan *quenching* sehingga mempengaruhi sifat mekanisnya.

4.2 Saran

Dalam penelitian selanjutnya, penulis mempunyai beberapa saran yang mungkin dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian selanjutnya antara lain :

1. Sebaiknya menggunakan pola selain *sterofoam* karena penggunaan pola *sterofoam* menyebabkan cacat pengecoran yaitu porositas.
2. Pilihlah waktu dan temperatur yang tepat saat melakukan proses *artificial aging* agar mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik lagi.
3. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dengan menggunakan variasi waktu penahanan aging dan variasi media pendingin.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, Fuad. 2010. *Perlakuan Panas Paduan Al-Si Pada Prototipe Piston Berbasis Material Bekas*. Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
- Angga, Anugerah N, 2018. *Pengaruh Aging 2000C dengan Waktu 1-9 Jam Terhadap Sifat Mekanik pada Al-Cu Remelting*. Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Santa Dharma Yogyakarta.
- Anver, S. H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*, Second Singapore : McGraw-Hill Book Company.
- ASM International. 1993. *Introduction to Aluminium and Aluminium Alloy*.
ASM Specialty Handbook : Aluminium and Aluminium Alloy.
- ASM International. 2004. Chapter 1 : *Introduction to Aluminium-Silicon Casting Alloy*. Aluminium-Silicon Casting Alloy.

- Callister, D. William. 2008. *Material science and Enginnering And Introduction Seventh Edition*. Departement of Metallurgy Enginnering The University of Iowa.
- Dwight, J. (1999). *Aluminium Design and Construction*. London: E & FN Spon.
- Groover, Mikell P. 2010. *Fundametals of Modern Manufacturing Fourth Edition*. New Jersey : Jhon Wilesey & Sons, Inc.
- Hartawan, Beny. 2018. *Analisa Perlakuan Panas Artificial Aging pada Aluminium Magnesium Silikon (Al-Mg-Si) yang dicor Ulang terhadap Sifat Mekanis*. Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Lampung.
- Hatch, John. E (1984), *Aluminium Properties and Physical Metallurgy*. ASM International United States of America.
- Kalpakkjian, S., dan Schmid, S. R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition*. Singapore : Prentice Hall-Pearson.
- Lestari, I Gusti A. P. 2019 Pengaruh Aging 6 Jam dengan Variasi Suhu Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Aluminium Paduan Silsilum 12,2 %. Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Santa Dharma Yogyakarta.
- Mulyonorejo, dan Purwanto .H. 2010. *Pengaruh Pengecoran Ulang Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Aluminium Cor dengan Cetakan Pasir*. Teknik Mesin Wahid Hasyim Semarang.
- Puspitasari P, dan Abdurrohman khafiddin. 2014. *Analisis Hasil Pengecoran Logam Al-Si Menggunakan Lumpur Lapindo Sebagai Pengikat Pasir Cetak*. Teknik Mesin : Universitas Negeri Malang.
- Rajan, T.V. 2011. *Heat Treatment Principles and Techniques Second Edition*. Department of Metallurgy and Materials Enginnering Malaviya National Institute of Technology Jaipur.
- Rashed, H., & Rashid, A. B. 2017. *Heat Treatment of Aluminum Alloys*. Material Science and Materials Engineering, Elsevier inc.
- Sinaga, Ramil. 1998. *Meningkatkan Sifat Mekanik Bahan Aluminium Paduan (Al-Mg-Si)*. Serpong : Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi III.
- Smith, F. William. 1995. *Material Science and Engineering (Second ed)*. New york : Mc Graw-Hill Inc.
- Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam Jilid 2*. Jakarta : Direktorat Pembina Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Managemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam Jilid 3*. Jakarta : Direktorat Pembina Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Managemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Surdia, T., dan Sito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik. Cetakan Kelima*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Surdia, T., dan Sito, S.1999. *Pengetahuan Bahan Teknik. Cetakan Kelima*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.