

Analisis Pengaruh Ketidakstabilan Temperatur Terhadap Hasil Kekerasan Material dari Proses *Heat Treatment* Piston

Nandar Saliro Wibowo, Nurato

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana, Jakarta

E-mail: nandarsaliro@gmail.com

Abstrak--Material aluminium alloy merupakan logam paling banyak digunakan sebagai bahan industri dan dunia otomotif salah satunya adalah jenis AC8A. Material tersebut membutuhkan beberapa proses untuk meningkatkan kekuatan material sebelum dipergunakan, salah satu cara yang dapat ditempuh yaitu melalui proses *heat treatment*. Selama proses *heat treatment* berjalan, temperatur ruang di dalam ruang furnace sering kali mengalami penyimpangan angka dari temperatur pengaturan. Hal ini di akibatkan dari sirkulasi udara di dalam ruangan furnace kurang maksimal, sehingga terjadi ketidakstabilan temperatur di dalam ruang furnace tersebut yang secara otomatis berpengaruh terhadap temperatur dari material. Melalui penelitian ini maka akan mengetahui seberapa besar pengaruh ketidakstabilan temperatur dapat mempengaruhi sifat material terutama kekerasan material dan struktur mikro. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan temperatur ruang pada proses aging berlangsung. Melalui hasil pengujian dari material ini, maka didapatkan korelasi antara variasi pengaturan temperatur dengan hasil kekerasan material. Material dengan pengaturan temperatur rendah akan mendapatkan kekerasan yang lebih tinggi, sedangkan pengaturan pada temperatur lebih tinggi maka akan mendapatkan kekerasan yang lebih rendah.

Kata Kunci: material AC8A, proses T6, hardening

Abstract--Aluminum alloy material is a metal that is used as a type of AC8A. The material needed to increase the material before it is used, one way that can be used for *heat treatment* processes. During the current *heat treatment* process, the room temperature in the furnace chamber is often a history of differences in the setting temperature. This results in a less maximal circulation of the air in the furnace room, resulting in temperature instability in the space which is automatically due to the temperature of the material. Through this research, it will be known that the influence of temperature instability can affect the material properties and microstructure obtained. The research was carried out by varying the room temperature in the aging process. Through the results of this material, it then spreads between temperature adjustments with the results of the hardness of the material. Low temperature adjustment materials will seek higher hardness, while higher temperature adjustment will get lower effort.

Kata kunci; material AC8A, process T6, hardening

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium merupakan logam *non-ferrous* yang dipergunakan oleh industri komponen yang dijumpai dalam bidang teknik *Aluminium alloy* merupakan material yang paling banyak digunakan sebagai bahan industri dalam dunia otomotif. Salah satu jenis *aluminium Alloy* yang sering digunakan dalam dunia otomotif adalah jenis AC8A. Salah satu kegunaan material ini adalah untuk membuat salah satu komponen yang sangat vital dari sebuah *engine* yaitu piston. Karena sangat pentingnya komponen ini karena memerlukan spesifikasi material yang kuat, ulet, ringan dan penghantar panas yang baik. Aluminium mempunyai sifat penghantar panas yang baik, tetapi untuk kekuatan dan ketahanan material masih kurang jika digunakan pada sebuah mesin yang secara terus menerus mendapatkan panas dan beban yang berat. Maka

perlu perlakuan khusus untuk merekayasa sifat mekanik dan struktur mikro dari material ini. Untuk memperkuat struktur mikro dan merekayasa sifat mekanik dari material ini, maka salah satu hal yang dapat dilakukan adalah melalui proses *heat treatment*.

Proses *heat treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik *furnace* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Hasil yang didapat setelah melakukan proses *heat treatment* adalah kekuatan material yang meningkat sesuai dengan kebutuhan yang kita inginkan. Hal ini dapat dilihat dari pengecekan yang dilakukan sebelum dan sesudah proses *heat treatment*.

Dalam proses *heat treatment* piston akan mengalami perlakuan panas beberapa kali. Benda kerja akan mengalami dua kali perlakuan panas

yaitu proses *solution* (pelarutan) atau lebih dikenal dengan proses *quenching* dan proses *aging* (penuaan). *Quenching* adalah proses pemanasan logam sampai dengan suhu austenitisasi, ditahan beberapa waktu agar austenit dapat lebih homogen, kemudian didinginkan secara cepat sehingga akan membentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan struktur *perlit* dan *ferit*. *Quenching* merupakan salah satu proses perlakuan panas yang cukup penting dan banyak dilakukan dalam proses manufaktur di industri logam. Pada proses *solution* ini temperatur di-setting kurang lebih di angka 490° C (batas pengkristalan) dan waktu tahan pada proses ini berkisar 4 jam kemudian diakhir proses, benda kerja akan mengalami proses *quenching* (cepat). Setelah material mengalami proses ini maka proses selanjutnya adalah proses *aging* (penuaan) yaitu pemanasan kembali pada temperatur yang lebih rendah. Material akan mengalami proses *aging* dengan lama *holding time* selama 4 jam dengan temperatur ruang *furnace* 210° C.

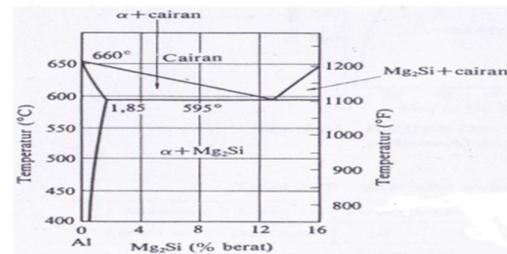
Selama proses *heat treatment* berjalan, temperatur ruang di dalam ruang *furnace* sering kali mengalami penyimpangan angka dari temperatur pengaturan. Hal ini di akibatkan sirkulasi udara di dalam ruangan *furnace* kurang maksimal, sehingga terjadi ketidakstabilan temperatur di dalam ruang *furnace* tersebut yang secara otomatis berpengaruh terhadap temperatur dari material. Sehingga akan mempengaruhi hasil yang didapatkan dari sifat mekanik dan struktur mikro dari material piston. Penyimpangan ini akan sangat berpengaruh terhadap hasil akhir yang didapatkan, terlebih ketika material piston mengalami proses *aging*. Karena proses peningkatan kekerasan akan terjadi ketika proses *aging* ini. Sedangkan pada proses *solution*, masalah ini berpengaruh juga tetapi efek yang ditimbulkan tidak begitu besar, dikarenakan proses *solution* merupakan proses presipitasi (pelarutan) unsur kimia dari material tersebut.

Dengan melihat hal tersebut, kestabilan temperatur mutlak diperlukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Sering kali terjadi di tempat penelitian, hasil kekerasan dari material tidak masuk kriteria dari range standar yang ditentukan. Salah satu yang menjadi penyebab utamanya adalah ketidakstabilan temperatur ruang *furnace*. Sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai seberapa besar nilai angka penyimpangan angka yang diperbolehkan, untuk mendapatkan sifat mekanik dan struktur mikro yang masuk kriteria sesuai dengan kebutuhan. Langkah lain yang bisa dilakukan adalah dengan melakukan langkah memodifikasi dari *furnace*, agar kestabilan temperaturnya terjaga.

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada di atas, maka didapatkan rumusan masalah yaitu untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ketidakstabilan temperatur ruang *furnace* selama proses *heat treatment*, terhadap kekerasan material yang didapatkan. Serta untuk mengetahui batas toleransi range temperatur di dalam ruang *furnace* yang diinginkan, agar mendapatkan kekerasan material sesuai kriteria yang dikehendaki.

1.2 Tinjauan Pustaka

Dewasa ini pemilihan material menjadi salah satu faktor penting dalam dunia teknik. Banyak jenis material yang dikembangkan sebagai pengganti logam, namun memiliki kekuatan, kekerasan, dan sifat mekanik yang setara dengan logam, material yang mudah didapat, mudah dibentuk, serta harga yang relatif lebih murah. Aluminium merupakan logam non-ferrous yang dipergunakan oleh industri komponen yang dijumpai dalam bidang teknik kebanyakan dalam bentuk alloy dengan unsur penambah utama seperti silikon, *copper*, *magnesium*, *iron*, *mangan* dan *zincum* [1]. Material AC8A salah satunya banyak digunakan sebagai bahan industri dan dunia otomotif [2].



Gambar 1. Diagram fasa Al-MgSi

Komposit bermatriks aluminium adalah salah satu material yang dikembangkan, karena mempunyai sifat mekanik yang kuat, keras, ringan, dan tahan korosi, sehingga dapat dijadikan bahan alternatif untuk pembuatan komponen mesin [3]. Suatu produk hasil dari proses pembuatan logam aluminium serta kemudian dipadu menggunakan unsur tertentu pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua golongan yang tentunya memiliki aplikasi yang berbeda. Golongan pertama adalah *wrought Alloys* yang merupakan bentuk fisik aluminium setelah proses biasanya dicetak dalam bentuk *ingot*. Setelah pencetakan, paduan akan dibentuk sesuai dengan kebutuhan melalui proses pembentukan secara fisik misalnya rolling dan forging untuk memperoleh bentuk tertentu. Golongan kedua adalah casting alloys yaitu golongan paduan dimana paduan aluminium secara langsung dicetak menjadi bentuk yang diinginkan tanpa melalui proses pembentukan fisik terlebih dahulu.

Material tersebut membutuhkan beberapa proses untuk meningkatkan kekuatan material

sebelum dipergunakan, salah satu cara yang dapat ditempuh yaitu melalui proses *heat treatment* [4]. *Heat treatment* adalah proses pemanasan dan pendinginan suatu logam dengan tujuan merubah sifat fisik dan mekanik tanpa merubah bentuknya [5]. Perlakuan panas ini merupakan salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan material pada sebuah *furnace* pada fase rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli atau solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, tegangan tarik logam [6].

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. Perlakuan panas adalah kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu [7]. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan. Beberapa tujuan *heat treatment* antara lain: meningkatkan keuletan, menghilangkan internal *stress*, penyempurnaan ukuran butir serta meningkatkan kekerasan atau kekuatan tarik dan mencapai perubahan komposisi kimia dari permukaan logam seperti dalam kasus-kasus pengerasan. Keuntungan dari *heat treatment* antara lain; Meningkatkan *machineability*, mengubah sifat magnetik, modifikasi konduktivitas listrik, meningkatkan ketangguhan dan mengembangkan struktur rekristalisasi pada *cold-worked metal*.

Sifat-sifat material terutama sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam disamping komposisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya. Kekerasan adalah ketahanan material terhadap *localized plastic deformation* seperti goresan [8]. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas kekerasan sangat menentukan.

Proses *heat treatment* dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah proses *Hardening Quenching*. *Hardening quenching* merupakan suatu perlakuan panas yang diterapkan untuk menghasilkan benda kerja yang keras. Dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan dan meningkatkan kekuatan. Proses *hardening* dengan memanaskan aluminium pada temperatur tinggi yaitu pada temperatur

austenisasi yang digunakan untuk melarutkan sementit dalam austenit yang kemudian (*quench*) didinginkan mendadak dengan dicelupkan kedalam cairan sebagai media pendingin. Keberhasilan proses *quenching* ditentukan oleh media *quenching (quenching medium)* yang digunakan. Untuk menentukan media *quenching*, sangat bergantung pada mampu keras (*hardenability*) dari logam, ketebalan dan bentuk dari benda uji yang akan *quenching*. Serta struktur mikro yang diinginkan dari hasil proses *quenching*.

Quenching adalah proses pendinginan yang dilakukan secara cepat pada paduan setelah mengalami laku panas. Proses ini bertujuan untuk mempertahankan kondisi larutan padat yang telah terbentuk. Lamanya pencelupan dilakukan sampai suhu paduan sama dengan suhu media celup. Melalui pendinginan cepat maka pemisahan fasa kedua dari larutan padatnya akan dapat dicegah pada temperatur yang jauh lebih rendah, paduan berada dalam keadaan larutan padat jenuh yang tidak stabil. Selain itu atom-atom yang terlarut jadi terperangkap dan tidak memiliki kesempatan untuk berdifusi. Hal lain yang terjadi adalah dengan terperangkapnya atom-atom terlarut maka akan terbentuk daerah-daerah kosong yang didorong untuk mempromosikan terjadinya difusi temperatur rendah yang diperlukan untuk pembentukan zona.

Banyaknya daerah kisi kosong yang dihasilkan akibat proses pencelupan tersebut dipengaruhi oleh besarnya kecepatan pendinginan yang terjadi selama pencelupan. Semakin tinggi kecepatan pendinginannya, daerah kisi kosong yang terbentuk akan semakin banyak. Besarnya kecepatan pendinginan itu sendiri antara lain dipengaruhi oleh media pencelupan dan ukuran bentuk produk. Media pencelupan yang paling sering dipakai adalah air dan oli [9].

Jenis teknologi yang diterapkan dalam proses *heat treatment* di sini adalah *hardening* dengan diikuti proses presipitasi (*precipitation*) atau lebih dikenal teknologi endapan material. Upaya ini bertujuan untuk memperbaiki sifat dan kualitas material piston dengan cara melakukan pengerasan yaitu melalui proses *hardening* [10]. Proses ini merupakan proses pemanasan logam sampai dengan suhu austenitiasi, ditahan beberapa waktu agar austenit dapat lebih homogen, kemudian didinginkan secara cepat sehingga akan membentuk struktur *martensit* yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi [11].

Terdapat berbagai media *quenching* yang dapat digunakan untuk proses *hardening*, seperti air garam, air, oli dan udara [12]. Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin di sebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media

pendingin. Semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam itu. Karbon yang dihasilkan dari pendinginan cepat lebih banyak dari pendinginan lambat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar, terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat. Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan antara lain:

a. Liquid

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras. Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain. Pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, yakni 0°C – 100°C, air berwujud cair. Suhu 0°C merupakan titik beku (*freezing point*) dan suhu 100°C merupakan titik didih (*boiling point*) air.

Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik. Sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika. Air memerlukan panas yang tinggi dalam proses penguapan. Penguapan adalah proses perubahan air menjadi uap air. Proses ini memerlukan energi panas dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan air dalam proses pendinginan setelah proses *heat treatment* karena dapat mendinginkan logam yang telah dipanaskan secara cepat.

b. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk Kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara. Adapun pendinginan pada udara terbuka akan memberikan oksidasi oksigen terhadap proses pendinginan.

1.2.1 Alur Proses Heat Treatment

Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan penuaan keras (*age hardening*), dengan jenis perlakuan proses T6 [13]. Melalui penuaan keras, logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Istilah penuaan keras (*age hardening*) telah dibakukan dari istilah-istilah sebelumnya yang sering digunakan misalnya pemuliaan atau penemperan keras. Pada paduan aluminium, *age hardening* dibedakan atas *age*

hardening dalam keadaan dingin dan *age hardening* dalam keadaan panas [14].

Pengerasan presipitasi (*precipitation-hardening*) terjadi dengan berjalannya waktu atau bila batas kelarutan padat harus susut dengan menurunnya temperatur. Prosedur perlakuan panas pengerasan presipitasi diawali dengan paduan yang berupa larutan padat α yang homogen berada pada suhu tinggi agar terjadi pelarutan setelah itu didinginkan dengan cepat untuk mencegah terjadinya pemisahan fase kedua θ kemudian proses *aging* sehingga fase kedua θ berpresipitasi atau terbentuklah pengerasan kisi. Inti presipitat merupakan kluster atom kecil dalam kisi yang ada akibat proses nukleasi dan pertumbuhan fluktuasi dalam konsentrasi larutan. Kekuatan paduan akan tinggi bila temperatur presipitasi turun karena partikel (presipitat) yang terbentuk semakin halus atau berukuran sangat kecil. Peningkatan kekuatan paduan tidak terjadi dan paduan bertambah lunak pada kondisi lewat proses *aging* karena adanya pengasaran presipitat, jumlah presipitat yang sedikit, dan jarak antar partikel yang lebih besar akibat waktu *aging* yang lama pada temperatur tertentu [15]. Penuaan keras (*age hardening*) berlangsung dalam tiga tahap yaitu:

1. Proses *Solution*

Tahap pertama dalam proses *age hardening* yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 480°C-500°C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja [16]. Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen. Pada proses ini dimana logam paduan aluminium pertama kali dipanaskan dalam furnace hingga mencapai temperatur T1. Pada temperatur T1 fase logam paduan aluminium akan berupa kristal campuran α dalam larutan padat. Pada temperatur T1 tersebut pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen.

2. Proses *quenching*

Proses *quenching* sendiri adalah proses pencelupan secara cepat benda kerja ke dalam sebuah *liquid* dalam hal ini dengan media air, setelah berakhirnya proses *solution*. Proses *quenching* pada aluminium dilakukan setelah proses *solution heat treatment* mencapai *single phase solid solution*. Proses *quenching* dilakukan dengan tujuan untuk mencegah terjadinya difusi dari *atom solid solution* sehingga terbentuk fasa *supersaturated solid solution* pada temperatur kamar [17]. Pada tahap *quenching* akan

menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Pada proses *quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom pada temperatur ruang untuk membentuk *Zona-Guinier-Preston* (Zona GP). *Zona Guinier-Preston* (Zona GP) adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat agregasi atom padat atau pengelompokan atom padat. Temperatur dari fluida sendiri harus berada pada kisaran 60°C. Hal ini karena untuk menghindari material dari retak/pecah saat pencelupan dikarenakan perbedaan temperatur yang signifikan.

3. Proses Aging

Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *age hardening* atau penuaan kekerasan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalanya waktu pada umumnya dinamakan aging atau penuaan. *Aging* pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*). Penuaan alami adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di age hardening dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang antara 15°C - 25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di age hardening dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100°C - 220°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam.

Pada tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150°C), di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium. Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara 100°C - 220°C. Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100°C - 220°C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap pengerasan. Pada penelitian kali ini, dilakukan menggunakan proses perlakuan panas T6, yaitu dengan temperatur proses solution 490°C selama 2 jam. Temperatur air di bak *quenching* sebesar 60°C dan temperatur aging bervariasi antara angka 207°C - 216°C selama 4 jam.

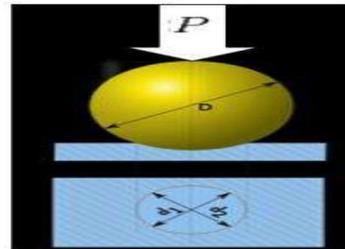
1.2.2 Pengujian Spesimen

Dalam penelitian ini setidaknya ada 3 jenis pengujian, yaitu pengujian komposisi material menggunakan alat *spectrometer*, pengecekan kekerasan menggunakan *hardness tester* dan pengecekan struktur mikro (*metalografi*) dengan melihat struktur mikro dengan alat mikroskop [18].

Metode Pengujian Kekerasan merupakan sifat alami dari suatu logam atau material. Salah satu proses yang mempengaruhi kekerasan suatu material yang diuji adalah proses heat treatment. Kekerasan memiliki arti yang berbeda sesuai dengan bidang pemakaiannya. Pada pengujian logam kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu logam terhadap apindentasi (penekanan) sedangkan didalam mineralogi kekerasan merupakan ketahanan suatu mineral terhadap goresan dengan menggunakan standar kekerasan mohs.

Pengujian dengan dilakukan dengan penekanan benda uji dengan indenter dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalam ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Berdasarkan prinsip bekerjanya metode uji kekerasan ini dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis [19]. Dalam metode kali ini metode yang digunakan adalah Metode Pengujian Brinell.

Uji kekerasan brinell berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan memakai bola baja berdiameter 10 mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk beban lunak beban dikurangi hingga tinggal 500 kg, untuk menghindari jejak yang dalam, dan untuk bahan yang sangat keras, digunakan paduan karbida tungsten untuk mencegah terjadinya distorsi indenter.



Gambar 2. Penekanan bola indenter

Beban diterapkan selama waktu tertentu biasanya 30 detik dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah, setelah beban tersebut dihilangkan. Kemudian dicari harga rata rata dari dua buah pengukuran diameter pada jejak yang berarah tegak lurus. Permukaan dimana lekukan akan dibuat harus relatif halus, bebas dari debu atau kerak. Angka kekerasan brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan [20]. Jika dirumuskan seperti berikut:

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Dimana :

BHN = Brinell Hardness Tester

- P = Beban yang diberikan (kgf)
- D = Diameter indenter (mm)
- d = Diameter lekukan rata – rata hasil indensi (mm)

Pengujian selanjutnya adalah pengujian metalografi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang ada pada material AC 8A tersebut. Pengujian ini menggunakan alat yang biasa disebut spectrometer. Prinsip kerja alat ini cukup sederhana yaitu penyerapan sinar dari sumbernya oleh atom atom yang dibebaskan oleh nyala dengan panjang gelombang tertentu. Jadi bisa diartikan Spectro Serapan Atom (SSA) sebagai suatu teknik untuk menentukan konsentrasi unsur logam tertentu dalam suatu cuplikan. Teknik pengukuran ini dapat menentukan dan menganalisis konsentrasi lebih dari 62 unsur logam.

Kemudian pengujian terakhir adalah pengujian metalografi. Metalografi adalah suatu teknik atau metode persiapan material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif diri informasi yang terdapat dari material yang diamati, seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya.

3. METODE PENELITIAN

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mesin *Furnace Heat Treatment* dan bak *Quencing*

Mesin yang digunakan dalam proses produksi di tempat berlangsungnya penelitian berjumlah 8 buah mesin *furnace*. Dari kedelapan mesin tersebut 6 diantaranya merupakan mesin generasi lama yang menyebabkan ketidakstabilan temperatur tersebut dan hanya ada 2 mesin generasi terbaru yang relatif stabil pada temperatur ruang di dalam *furnace*. Hal ini dikarenakan desain dari ruang *furnace* yang memungkinkan aliran udara panas yang relatif merata dan terpasangnya inverter dalam proses kendali pengaturan temperatur, sehingga memungkinkan temperatur terjamin kestabilannya. Maka dari itu penelitian kali ini menggunakan mesin generasi terbaru ini sebagai uji coba yaitu menggunakan Mesin M-16 sebagai media uji coba ini.



Gambar 3. Mesin furnice heat treatment



Gambar 4. Media quenching

- b. Mesin pengecekan *spectrometer, brinell hardness tester* dan mikroskop.



Gambar 5. Spectrometer



Gambar 6. Brinell Hardness Tester



Gambar 7. Microscope Olympus PME-3

- c. Spesimen piston material AC8A
Jumlah spesimen yang digunakan pada percobaan ini adalah 24 buah, dengan rincian 3 buah spesimen per variasi waktu. Kemudian ditambah lagi 3 spesimen per variasi penyimpangan waktu. Adapun komposisi kimia dari material AC8A ini adalah sebagai berikut;

Tabel 2. Komposisi Kimia

		Komposisi Kimia								
Kelas	Simbol	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Al
Kelas 8A	AC8A	0.8-1.3	11.0-13.0	0.7-1.3	0.1 max	0.8 max	0.1 max	1.6-2.5	0.2 max	sis

Adapun sifat mekanik dari material ingot AC8A ini adalah; *yield strenght*: 383 Mpa, *compression strength* : 230 MPa, *hardness* : 73

kg/mm. hardness material sebelum dilakukan proses heat treatment berkisar di angka 54-57 kg/mm.

3.1 Percobaan Spesimen

Percobaan spesimen ini menggunakan parameter yang sama dengan standar yang telah ada. Pengujian dilakukan dengan mengatur temperatur ruang dengan beberapa variasi pengaturan temperatur. Pengujian variasi waktu disini dilakukan ketika proses aging dengan dengan *holding time* 4 jam. Tiap – tiap variasi waktu terdapat 3 buah spesimen material. Material akan dicoba pada variasi waktu yang berbeda beda seperti berikut ini.

Tabel 3. Variasi pengaturan temperatur

Item	Holding Time	Temperatur Setting
Sampel 1	4 Jam	204°C
Sampel 2	4 Jam	207°C
Sampel 3	4 Jam	213°C
Sampel 4	4 Jam	216°C

Ketika proses diatas sudah mendapatkan hasil kekerasan yang didapatkan melalui pengecekan kekerasan, maka langkah selanjutnya adalah dengan mengetahui berapa besar waktu yang dibutuhkan yang dapat mempengaruhi kekerasan. Temperatur yang menjadi acuan adalah temperatur tertinggi, dikarenakan pada temperatur ini sangat berpengaruh terhadap hasil kekerasan yang didapatkan. Adapun metodologinya dengan menggunakan variasi waktu dengan temperatur yang sama. Berikut variasi waktu yang dibuat;

Tabel 4. Variasi lama penyimpangan pengaturan

Item	Holding Time	Temperatur Pengaturan	Penyimpangan Waktu
1	4 Jam	216°C	10 menit
2	4 Jam	216°C	20 menit
3	4 Jam	216°C	30 menit
4	4 Jam	216°C	40 menit

3.2 Alur Proses Percobaan Material

Proses percobaan material dilakukan sesuai dengan metode yang telah ditentukan pada bagian metode penelitian. Mekanisme percobaan dilakukan dengan memakai parameter dari proses produksi. Yang membedakan dalam proses percobaan kali ini hanya pada variasi temperatur saja pada proses aging. Adapun parameter – parameter standar produksi yang digunakan antara lain yaitu; proses solution selama 2 jam dengan temperatur pengaturan 490°C dan proses quenching pada temperatur air bak quenching 60°C. Sedangkan pada proses aging variasi temperatur ini diterapkan sesuai dengan metode yang telah ditentukan sebelumnya. Adapun

langkah kerja dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Proses solution

Sebelum memulai semua proses heat treatment, mengecek terlebih dahulu kondisi mesin secara keseluruhan. Membuka cover furnace terlebih dahulu, kemudian yang terpenting adalah mengecek kondisi *thermocouple* dan *heater*. Memastikan dalam keadaan baik dan tidak mengalami masalah.



Gambar 8. Termocouple dan Heater

Langkah - langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan benda kerja yang akan diproses *solution*, yang dimasukkan ke dalam basket sebanyak 24 spesimen.
- Memasukkan benda kerja yang akan diproses *solution* kedalam tungku dengan menggunakan sebuah *hoist*.
- Menutup kembali *cover furnace* seperti semula.
- Menyalakan panel listrik kemudian menyetting temperatur dan *timer* sesuai jenis proses *heat treatment*.
- Menyalakan tombol *blower* dan *heater*.
- Mengecek temperatur dan *recording chart* setiap 30 menit sekali dan mengisi *checksheat* yang telah disediakan.
- Setelah selesai proses, mematikan panel listrik, buka *cover furnace*, kemudian mengeluarkan barang dengan *hoist*, kemudian benda kerja dicelupkan ke dalam bak *quenching* secara cepat.

2. Proses quenching

Sebelum bak *quenching* digunakan memastikan suhu air berkisar 60°C. Buka kran angin dan air untuk mengontrol temperatur air di bak quenching.

- Memasukkan benda kerja secara cepat (maksimal 3 menit) dari *furnace* ke bak quenching.
- Setelah menunggu sampai 10 menit dicelupkan ke bak *quenching*, kemudian mengangkat benda kerja dan meniriskannya, kurang lebih 20 menit.

3. Proses aging

Proses *Aging* pada dasarnya sama dengan proses *solution*, hanya saja temperatur dan lama waktu tahan saja yang membedakan. Pada

proses ini merupakan langkah yang menentukan dalam proses penelitian kali ini. Secara teknis langkah kerja proses aging sama halnya dengan langkah proses *solution*. Yang membedakan adalah di akhir proses benda kerja jika pada proses *solution* akan dicelupkan ke dalam bak *quenching*, maka beda halnya dengan proses *aging*. Karena proses pendinginan setelah proses presipitat ini adalah proses dengan hembusan angin dari *blower*.

Dalam proses ini juga benda kerja juga akan mengalami beberapa variasi temperatur sesuai dengan metode yang telah ditentukan. Percobaan spesimen ini menggunakan parameter yang sama dengan standar yang telah ada. Pengujian variasi waktu disini dilakukan ketika proses aging dengan dengan *holding time* 4 jam. Tiap – tiap variasi waktu terdapat 3 buah spesimen material. Material akan dicoba pada variasi waktu yang berbeda beda seperti berikut ini;

Tabel 6. Variasi temperatur

Item	Holding Time	Temperatur Setting
1	4 Jam	204°C
2	4 Jam	207°C
3	4 Jam	213°C
4	4 Jam	216°C

Ketika proses diatas sudah mendapatkan hasil kekerasan yang diperoleh melalui pengecekan kekerasan, maka langkah selanjutnya adalah dengan mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan yang dapat mempengaruhi kekerasan. Temperatur yang menjadi acuan adalah temperatur tertinggi, dikarenakan pada temperatur ini kekerasan melewati batas range yang ditentukan yang sangat berpengaruh terhadap hasil kekerasan yang didapatkan. Adapun metodologinya dengan menggunakan variasi waktu dengan temperatur yang sama. Berikut variasi waktu yang dibuat:

Tabel 5. Variasi lama penyimpangan temperatur

Item	Temperatur Pengaturan	Penyimpangan Waktu
1	216°C	10 menit
2	216°C	20 menit
3	216°C	30 menit
4	216°C	40 menit

3.2 Pengecekan Material

Dalam penelitian ini setidaknya ada 3 jenis pengecekan, yaitu pengecekan komposisi material menggunakan mesin *spectrometer*, pengecekan kekerasan menggunakan *hardness tester* dan pengecekan struktur mikro dengan mikroskop. Berikut adalah langkah kerja pengoperasian mesin – mesin tersebut

4. PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Hasil Pengujian

Dalam menentukan kandungan unsur kimia yang terkandung dalam material AC 8A memiliki sepesifikasi yang telah ditentukan. Pada setiap unsur kimia memiliki batas toleransi yang telah ditentukan. Materil dinyatakan memenuhi kriteria yang ditentukan ketika hasil yang didapatkan nilainya berada pada *range* yang telah ditentukan. Adapun hasil pengujian unsur kimia yang terkandung dalam material AC 8A adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil pengujian unsur kimia

Komposisi Kimia		Min	Max	Mean
Al	%	74.38	68.02	71.2
Si	%	1.86	3.28	2.5
Fe	%	0.355	0.98	0.6675
Cu	%	11.2	12.2	11.7
Mn	%	0.73	1.39	1.06
Mg	%	0.746	0	0.373
Cr	%	0.977	0.0312	0.5041
Ni	%	0.101	0.0005	0.0508
Zn	%	3.69	0.0049	1.8475
Sn	%	0.837	4.47	2.6535
Ti	%	0.254	0.243	0.2485
Pb	%	0.45	9.25	6.85
Be	%	0	0	0
Ca	%	0.0872	0.416	0.0664
Sr	%	0	0	0
V	%	0	0.199	0.0995
Zr	%	0.323	0	0.1615

Tabel 8. Hasil uji kekerasan material

Item	Holding Time	Temperatur Pengaturan	Hasil Kekerasan (kg/mm ²)
Sampel 1	4 jam	204°C	69 - 72
Sampel 2	4 Jam	207°C	67 - 68
Sampel 3	4 Jam	213°C	62 - 64
Sampel 4	4 Jam	216°C	58 - 60

Pengujian juga dilakukan dengan melakukan pengujian secara manual dengan memilih salah satu spesimen yaitu spesimen 3. Berikut adalah pengujiannya;

- P (Beban yang diberikan) = 187.5 kgf
- D (Diameter Indentor) = 2.5 mm
- d (Diameter Tekukan) = 1.8 mm

Sehingga dapat ditentukan menggunakan rumus;

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

$$BHN = \frac{2.875}{\pi \cdot (2.5)(2.5 - \sqrt{2.5^2 - 1.8^2})}$$

$$BHN = \frac{375}{\pi(2.5)(2.5 - \sqrt{6.25 - 3.24})}$$

$$BHN = \frac{375}{\pi(2.5)(2.5 - \sqrt{3.01})}$$

$$BHN = \frac{375}{\pi(2.5)(2.5 - 1.734)}$$

$$BHN = \frac{375}{\pi(2.5)(0.766)}$$

$$BHN = \frac{375}{6.06}$$

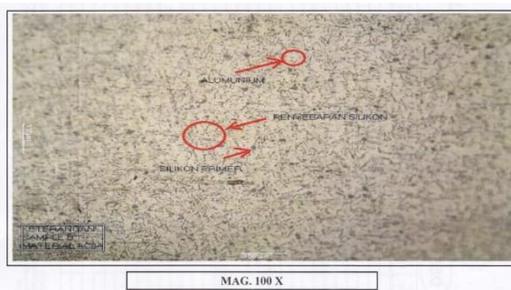
$$BHN = 61.88 \text{ kg/mm}^2$$

Langkah selanjutnya adalah pengujian kekerasan pada metoda yang kedua, yaitu metode variasi lama penyimpangan temperatur. Pada metode variasi penyimpangan temperatur ini didapatkan hasil data sebagai berikut ini.

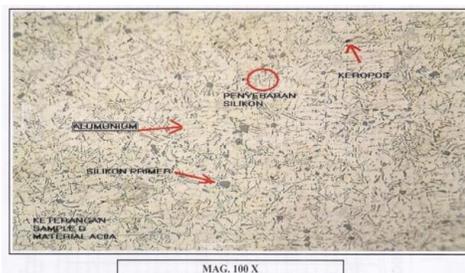
Tabel 9. Hasil uji kekerasan

Item	Holding Time	Lama Penyimpangan	Hasil Kekerasan (kg/mm)
1	4 jam	10 menit	64 - 65
2	4 Jam	20 menit	63 - 64
3	4 Jam	30 menit	59 - 61
4	4 Jam	40 menit	58 - 59

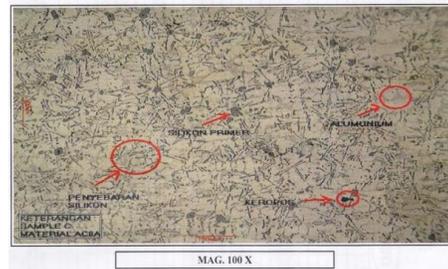
Metalografi adalah suatu teknik atau metode persiapan material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif diri informasi yang terdapat dari material yang diamati, seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya. Berikut ini adalah hasil pengujiannya.



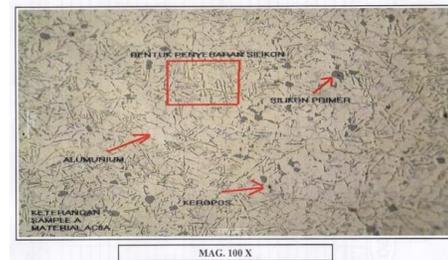
Gambar 9. Struktur mikro spesimen 1



Gambar 10. Struktur mikro spesimen 2



Gambar 11. Struktur mikro spesimen 3



Gambar 12. Struktur mikro spesimen 4

4.2 Pembahasan

1. Analisa Komposisi Kimia

Mengenai data dari proses pengujian komposisi kimia, didapatkan hasil bahwa komposisi kimia pada tiap spesimen adalah sama. Hal ini dikarenakan material yang digunakan dalam proses ini menggunakan material yang sama yaitu material AC8A. Di dalam proses *heat treatment* sendiri, komposisi kimia tidak akan berubah antara sebelum dan setelah proses *heat treatment*. Hal ini dikarenakan proses *heat treatment* hanya mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro dari material tersebut.

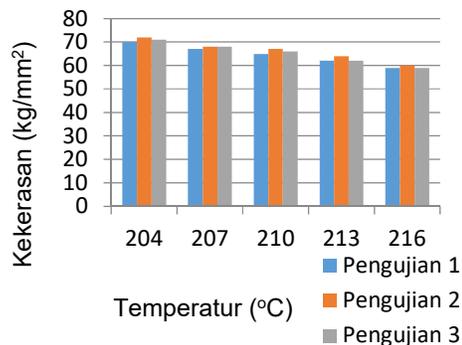
2. Analisa Kekerasan Material

Mengenai hasil kekerasan yang diperoleh, dapat dilihat bahwa kekerasan dari beberapa spesimen yang diuji tersebut hasilnya sangat bervariasi. Disini dapat dilihat bahwa temperatur pengaturan sangat berpengaruh terhadap hasil kekerasan yang diperoleh. Pada pengaturan temperatur 204°C yang merupakan pengaturan dibawah standar (210°C), hasil kekerasan material yang didapatkan melebihi range yang telah ditentukan yaitu 69 – 72 kg/mm². Sedangkan pengaturan yang masih dibawah standar yaitu 207°C, hasil yang diperoleh adalah 67 – 68 kg/mm². Hasil ini masih masuk standar kekerasan, namun cukup kritis mendekati batas range yang diperbolehkan.

Untuk Pengaturan 213°C, hasil yang diperoleh adalah 62 – 64 kg/mm². Jika dilihat, hasil ini masih masuk range kekerasan yang diperbolehkan. Namun sangat mendekati range bawah dari standar kekerasan. Sedangkan untuk pengaturan 216°C hasil kekerasan yang dihasilkan adalah 58 – 60 kg/mm². Hasil ini diketahui tidak masuk batas bawah kekerasan yang diperbolehkan, karena kekerasan tidak tercapai

Dari perolehan data tersebut, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa, semakin tinggi temperatur pengaturan, maka kekerasan yang didapatkan semakin rendah. Sedangkan sebaliknya ketika pengaturan temperatur semakin rendah dari temperatur pengaturan, maka kekerasan yang diperoleh semakin tinggi. Hal ini diakibatkan oleh konsentrasi butiran - butiran dari endapan material. Hal ini diakibatkan oleh kecenderungan butiran – butiran endapan material. Semakin kasar butiran -butiran endapan, maka kekerasan akan menurun, sedangkan dalam butiran endapan semakin halus maka material akan semakin keras.

Pada hasil kekerasan material pada variasi waktu penyimpangan didapatkan hasil yang bervariasi juga. Pada spesimen 1 dengan lama penyimpangan 10 menit, kekerasan yang didapatkan masih masuk standar yaitu 64 -65 kg/mm², begitupun dengan spesimen kedua dengan hasil 63 -64 kg/mm². Pada percobaan spesimen ketiga pun kekerasan masih masuk standar walau sangat kritis masuk pada batas bawah standar kekerasan. Pada spesimen keempatlah hasil kekerasan yang didapatkan dibawah batas bawah standar kekerasan yang diperbolehkan yaitu 58 – 59 kg/mm².



Gambar 13. Grafik hasil pengujian kekerasan

Dari sini dapat dianalisa bahwa semakin lama penyimpangan waktu, maka akan semakin berpengaruh pula terhadap kekerasan material. Dapat disimpulkan juga bahwa butuh waktu 30 menit atau lebih penyimpangan temperatur, untuk mempengaruhi kekerasan material yang melewati batas bawah dari *range* standar kekerasan.

3. Analisa struktur mikro

Dari hasil pengujian metalografi atau pengujian struktur mikro, penyebaran endapan – endapan material cukup bervariasi. Disini dapat terlihat jelas endapan material yang terbentuk dimana aluminium dan silikon sangat mendominasi dalam endapan material ini. Hal ini jelas terlihat pada pengujian ini, yaitu adanya alur aliran

material ketika proses penuangan. Variasi kekerasan material dari pengujian dapat terlihat melalui struktur mikronya, diakibatkan oleh kecenderungan butiran – butiran endapan material. Semakin kasar butiran -butiran endapan, maka kekerasan akan menurun, sedangkan dalam butiran endapan semakin halus maka material akan semakin keras.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan setelah melakukan analisa, antara lain sebagai berikut;

1. Ketidakstabilan temperatur ruang *furnace* terhadap pengaturan temperatur ruang proses *aging*, pada proses *heat treatment* dengan perlakuan T6, sangat berpengaruh terhadap hasil kekerasan material AC8A.
2. Kekerasan material yang diperoleh bergantung pengaturan temperatur *aging*, semakin rendah temperatur maka kekerasan akan semakin tinggi, sedangkan semakin tinggi temperatur maka kekerasan akan menurun.
3. Pengaturan temperatur yang diperbolehkan agar tercapai kekerasan material yang masuk pada kriteria adalah di angka 207-213 °C, karena pada temperatur tersebut kekerasan yang diperoleh 62 -68 kg/mm².

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. S. Gunawan, "Efek Perlakuan Panas Aging Terhadap Kekerasan Dan Ketangguhan Impak Paduan Aluminium Aa 514.0," vol. 16, no. 1, pp. 42–50, 2016.
- [2]. E. S. Mochamad, A. Muftinur, Haryono, "Pengaruh Holding Time Pada Proses Heat Treatment Terhadap Nilai Kekerasan Material Aluminium Alloy AC8A .pdf." 2017.
- [3]. M. Nafi and I. Wahid, "Effect of T6 Heat Treatment on Mechanical Properties of Coal Ash- Aluminum Composite as Brake Disk Holder Component," pp. 12–14, 2017.
- [4]. T. Dan and W. Tahan, "Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Paduan Al 2014 Hasil Proses Aging Dengan Variasi," 2014.
- [5]. S. Wardoyo, "Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Pada Aluminium Paduan AlMgSi - Fe12 % Terhadap Keausan," vol. 2, no. 1, pp. 33–39, 2018.
- [6]. D. A. N. Tempering, T. Ketangguhan, and B. Karbon, "Pengaruh media pendingin minyak pelumas sae 40 pada proses quenching dan tempering terhadap ketangguhan baja karbon rendah," 2014.
- [7]. Y. Handoyo, "Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja JIS Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 102–115, 2015.

- [8]. I. Fadhilah, "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Paduan Aluminium 7075," 2017.
- [9]. H. Setiawan, "Pengaruh Proses Heat Treatment Pada Kekerasan Material Special K (K100)," pp. 1–11, 2014.
- [10]. S. Mizhar and B. Tampubolon, "Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Terhadap Variasi temperatur Tempering Pada Baja AISI 4140," vol. 1, no. 2, pp. 98–104, 2015.
- [11]. Yunaidi, "Pengaruh Jumlah Konsentrasi Larutan Garam Pada Proses Quenching Baja Karbon Sedang S45C," *Mek. Dan Sist. Termai*, vol. 1, no. 3, pp. 70–76, 2016.
- [12]. S. Yuri, S. Djamil, M. Sobrom, and Y. Lubis, "Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Hardening Material Baja S45C," pp. 79–87, 2016.
- [13]. Suhariyanto, M. Mursid, E. Widiyono, S. Hadi, Arino Anzip, "Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.0 Dengan Cara Menambahkan Cu Dan Perlakuan Panas T5," pp. 23–25, 2015.
- [14]. Miftahuroji, "Pengaruh Perlakuan Panas Dan Penuaan Terhadap Sifat Mekanis Pada Material Komposit Matrik Logam Dengan Penguat 7,5 % Al₂O₃ (p)" vol. 3, 2014.
- [15]. B. R. Allo, "Pengaruh Cryogenic Terhadap Sifat Mekanis Paduan Aluminium Seri 2024-T3," pp. 51–55, 2015.
- [16]. S. Mizhar, "Pengaruh Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Aluminium Paduan Al-Si-Cu Pada Cylinder Head Sepeda Motor," vol. 3, no. 1, pp. 9–15, 2016.
- [17]. A. Duniawan, "Pengaruh Post Weld Heat Treatment Pada Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) Aluminium 2024," no. April, pp. 21–22, 2016.
- [18]. A. D. Maharani, M. Ari, and H. B. K, "Pengaruh Temperatur Pemanasan dan Holding Time pada Proses Tempering terhadap Sifat Mekanik dan Laju Korosi Baja Pegas SUP 9A," pp. 336–340, 2014.
- [19]. G. Homology, B. Arabidopsis, D. Related, P. Revealed, C. Genomic, and A. D. N. A. Probe, "Pengaruh Heat Treatment Terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Sprocket Drive dan Sproket Driven," vol. 23, no. 39870423, pp. 946–952, 2016.
- [20]. R. Adawiyah, "Pengaruh Beda Media Pendingin Pada Proses Hardening Terhadap Kekerasan Baja Pegas Daun," *Poros Tek.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–53, 2015..