



Analysis of the Effect of Artificial Aging on the Mechanical Properties of Al 2024

Riski¹, Risal Abu², Mukhnizar³

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Dan Perencanaan Universitas Ekasakti Padang

Email: r305205@gmail.com

ABSTRACT

Aluminum alloy 2024 (Al 2024) is an Al-Cu-based alloy widely used in the aerospace and automotive industries due to its high mechanical strength. However, the mechanical properties of this alloy are strongly influenced by heat treatment, particularly the artificial aging process. This study aims to analyze the effect of artificial aging on the mechanical properties of Al 2024, especially hardness. The Al 2024 samples underwent solution heat treatment at a specified temperature, followed by rapid cooling (quenching) and subsequent artificial aging at various temperatures and holding times. The mechanical test results show that increasing the aging temperature and duration significantly affects the formation of strengthening precipitates, leading to increased hardness until reaching the optimum condition (peak aging). However, excessive aging results in overaging, which reduces mechanical properties due to coarsening of precipitates. Therefore, a precise artificial aging process is essential to optimize the mechanical performance of Al 2024 for engineering applications.

Keywords: Al 2024, artificial aging, heat treatment, mechanical properties, precipitation, overaging

PENDAHULUAN

Di era perkembangan teknologi yang semakin canggih membuat beragam fasilitas berupa alat maupun komponen industri semakin berkualitas, demi mempermudah berbagai macam kegiatan manusia sebagai pengguna teknologi tersebut. Saat ini dunia industri melakukan pemilihan bahan dan proses dalam pembuatan sebuah produk, yang diproduksi oleh sebuah perusahaan harus sesuai dengan fungsi dan tujuan diproduksinya produk tersebut. Dengan demikian seorang konsumen akan merasa puas dalam menggunakan produk hasil produksi perusahaan tersebut karena kualitas yang dicapai sesuai.

Ada berbagai jenis material yang dapat digunakan oleh perusahaan dalam pembuatan sebuah produk, salah satu material yang banyak diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari adalah aluminium. Pengaplikasian dari aluminium itu sendiri tidak hanya dalam kebutuhan rumah tangga akan tetapi hingga kepada kebutuhan otomotif maupun kebutuhan pesawat terbang yang selalu dituntut memiliki teknologi yang semakin canggih. Hal ini disebabkan karena logam ini mempunyai beberapa kelebihan, seperti : ratio terhadap beban yang tinggi (*high strength to weight ratio*), ringan (*light*), tahan terhadap korosi dari berbagai macam bahan kimia (*resistance to corrosion by many chemicals*), konduktifitas panas dan listrik tinggi (*high thermal and electrical conductivity*), tidak beracun (*non-toxicity*), memantulkan cahaya (*reflectivity*), mudah dibentuk dan dimachining (*easy of formability and machinability*) dan tidak bersifat magnet (*no magnetic*).

Aluminium itu sendiri adalah logam yang memiliki kekuatan yang relative rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Penambahan unsur paduan terhadap aluminium dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan fisis dan mekanis logam tersebut.

Aluminium 2014 merupakan salah satu paduan aluminium yang banyak digunakan dalam industri otomotif dan dirgantara karena rasio kekuatan terhadap beratnya yang tinggi. Paduan ini mengandung tembaga sebagai elemen paduan utama, yang berkontribusi pada peningkatan sifat mekanik. Proses aging, terutama melalui teknik artificial aging, telah terbukti efektif dalam meningkatkan sifat mekanik paduan ini. Aging mempercepat proses pengendapan fase intermetallic yang meningkatkan kekuatan. Namun, pengaruh kondisi aging seperti suhu dan waktu terhadap sifat mekanik belum sepenuhnya dipahami. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh artificial aging terhadap sifat mekanik Al 2014, guna memberikan wawasan yang lebih baik untuk aplikasi industri. Dengan memahami hubungan ini, diharapkan dapat diperoleh paduan dengan karakteristik yang optimal untuk penggunaan yang lebih luas.

Seperti yang telah disampaikan industri manufaktur PT. Dirgantara Indonesia, Bandung, paduan aluminium banyak digunakan sebagai bahan struktur karena sifatnya yang ringan dan kuat. Banyak penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan aluminium seri 2xxx, namun masih sedikit yang meneliti tentang Al 2014. Al 2014 merupakan salah satu bahan baku yang digunakan sebagai skin wing. Sebelum diaplikasikan, Al 2014 harus mengalami proses heat treatment yaitu natural aging yang membutuhkan waktu selama 96 jam untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimum. Penelitian dilakukan untuk menganalisis perubahan struktur mikro, mendapatkan kombinasi waktu tahan dan temperatur aging paduan Al 2014. Paduan Al 2014 hasil fabrikasi dilakukan proses Solution Heat Treatment pada temperatur 500°C dengan waktu tahan 25 menit. Proses dilanjutkan dengan Quenching dengan media Oli kemudian dilakukan pemanasan aging pada berbagai temperatur dan waktu tahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur aging dapat mempercepat laju pengintian dan pertumbuhan persipitat. Hal ini ditunjukkan dengan singkatnya waktu yang dibutuhkan paduan untuk mencapai kekerasan optimum sebesar 152.62 VHN pada temperatur 180°C dengan waktu tahan 8 jam. Hal ini sesuai dengan uji metalografi dan SEM-EDS yang menunjukkan terbentuknya persipitat yang halus, rapat dan seragam. Adapun nilai kuat tarik paduan Al 2014 pada kondisi optimum yaitu sebesar 45.485 Kgf/mm².

Berdasarkan uraian teori diatas maka Proses *heat treatment* (proses penuaan atau *aging*) telah biasa dilakukan pada paduan aluminium untuk meningkatkan kekuatannya. Pada penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan aluminium dengan seri 2014. Potong dan siapkan spesimen Al 2014, Panaskan Spesimen dengan Suhu 100°C, 150°C, 180°C, dan 200°C, Pertahankan Suhu ini Selama waktu yang bervariasi sesuai dengan target sifat mekanik yang diinginkan, spesimen yang di panaskan tadi di dinginkan dengan media pendingin (Oli), setelah itu lakukanlah pengujian kekerasan. Dari penelitian diatas maka akan diketahui perbandingan kekerasan, aluminium seri 2014 sesudah mendapat perlakuan panas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada November hingga Desember 2024 di Laboratorium Universitas Negeri Padang. Kegiatan penelitian diawali dengan studi literatur mengenai paduan aluminium seri 2014 dan proses perlakuan panas, kemudian dilanjutkan dengan survei awal untuk menentukan prosedur dan kebutuhan alat. Setelah itu dilakukan tahap

persiapan berupa pemotongan material menggunakan gergaji besi dan ragum untuk menghasilkan total 13 spesimen, yang terdiri dari satu spesimen tanpa perlakuan sebagai pembanding dan dua belas spesimen untuk perlakuan artificial aging.

Proses perlakuan panas dimulai dengan melakukan solution heat treatment pada suhu 500°C, kemudian spesimen di-quenching menggunakan media oli untuk menghentikan proses difusi secara cepat. Setelah itu, setiap tiga spesimen diberi perlakuan artificial aging pada empat variasi suhu, yaitu 100°C, 150°C, 180°C, dan 200°C, dengan waktu tahan yang disesuaikan. Seluruh proses pemanasan dilakukan menggunakan tungku pemanas yang mampu menjaga kestabilan suhu. Selama proses perlakuan panas, berbagai alat keselamatan seperti sarung tangan tahan panas, kacamata pelindung, dan apron digunakan untuk memastikan keselamatan operator.

Tahap berikutnya adalah pengujian kekerasan menggunakan alat uji Rockwell Future Tech FR-3e. Pengujian dilakukan sebanyak tiga titik pada setiap spesimen untuk memperoleh nilai kekerasan rata-rata. Data hasil pengujian dicatat pada lembar pengamatan, kemudian dianalisis dengan membandingkan nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan dengan spesimen yang telah melalui artificial aging pada berbagai variasi suhu. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana variasi suhu aging mempengaruhi kekerasan paduan Al 2014 dan menentukan kecenderungan perubahan sifat mekaniknya.

Pembahasan

1. Kekerasan spesimen tanpa perlakuan dan dengan di Artificial aging dengan suhu 100°C, 150°C, 180°C, dan 200°C.

Tabel 5.1 Data hasil penelitian tanpa perlakuan dan dengan di Artificial aging

No.	Bahan / Kode Bahan	Titik Uji	HRA	HRA Rata2	HRA Rata2 Total
1	Aluminium, Tanpa Perlakuan	1	21,3	21,97	21,97
		2	21,4		
		3	23,2		
2	Aluminium, Temperatur 100°C, Bahan 1	1	5,3	5,47	9,76
		2	5,0		
		3	6,1		
3	Aluminium, Temperatur 100°C, Bahan 2	1	17,0	16,70	
		2	17,1		
		3	16,0		
4	Aluminium, Temperatur 100°C, Bahan 3	1	6,9	5,80	
		2	6,3		
		3	5,3		
5	Aluminium, Temperatur 150 °C, Bahan 1	1	6,4	6,47	11,13
		2	6,3		
		3	6,7		
6	Aluminium, Temperatur 150 °C, Bahan 2	1	7,0	7,03	
		2	6,7		
		3	7,4		
7	Aluminium, Temperatur 150 °C, Bahan 3	1	15,9	19,90	
		2	21,3		
		3	22,5		
8	Aluminium, Temperatur 180 °C, Bahan 1	1	5,8	5,77	9,49
		2	5,8		
		3	5,7		
9	Aluminium, Temperatur 180 °C, Bahan 2	1	13,3	13,50	
		2	13,8		

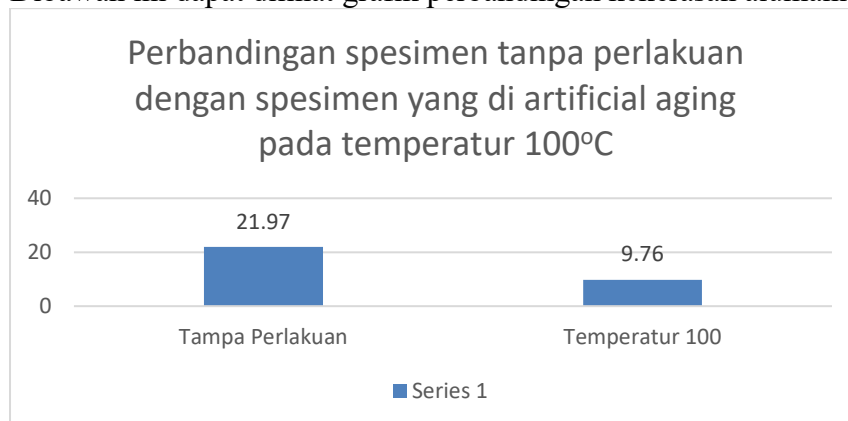
		3	13,4		
10	Aluminium, Temperatur 180 °C, Bahan 3	1	12,5	9,20	12,07
		2	8,2		
		3	6,9		
11	Aluminium, Temperatur 200 °C, Bahan 1	1	16,5	16,07	
		2	15,8		
		3	15,9		
12	Aluminium, Temperatur 200 °C, Bahan 2	1	7,9	6,93	
		2	5,8		
		3	7,1		
13	Aluminium, Temperatur 200 °C, Bahan 3	1	12,2	13,20	
		2	13,8		
		3	13,6		

Pada 5.1 dapat kita lihat bahwa kekerasan awal spsimen yang di gunakan yaitu Al 2014. Dari ketiga titik tersebut di dapatkan rata-rata kekerasan spesimen 21,97 HRA, sedangkan yang di Artificial aging dengan temperatur 100 °C, 150 °C, 180 °C, dan 200 °C di mana tiap Alumanium di lakukan 3 titik pengujian. Alumanium temperature 100 °C, Alumanium pertama memiliki rata-rata nilai 5,47 HRA, Alumanium kedua memiliki rata-rata nilai 16,70 HRA, Alumanium ke tiga memiliki rata-rata 5,80 HRA, Dari ketiga Alumanium tersebut di dapatkan nilai rata-ratan total yaitu 9,76. Dengan temperature 150 °C, Alumanium pertama nilai rata-rata 6,47 HRA, Alumanium kedua 7,03 HRA, dan Alumanium ketiga 19,90 HRA, dari ketiga alumanium tersebut di dapat kan nilai rata-rata total 11,13. Dengan temperature 180 °C, Alumanium pertama nilai rata-rata 5,77 HRA, Alumanium kedua 13,50 HRA, dan Alumanium ketiga 9,20 HRA, dari ketiga alumanium tersebut di dapat nilai rata-rata total 9,49 HRA. Alumanium temperature 200 °C, Alumanium pertama nilai rata-rata 16,07 HRA, Alumanium kedua 6,93 HRA, dan Alumanium ketiga 13,20 HRA, dari ketiga alumanium tersebut di dapat nilai rata-rata 12,07 HRA.

Perbandingan

1. Perbandingan spesimen asli tanpa perlakuan dengan spsimein yang di artificial aging pada suhu 100 °C

Dibawah ini dapat dilihat grafik perbandingan kekerasan alumanium

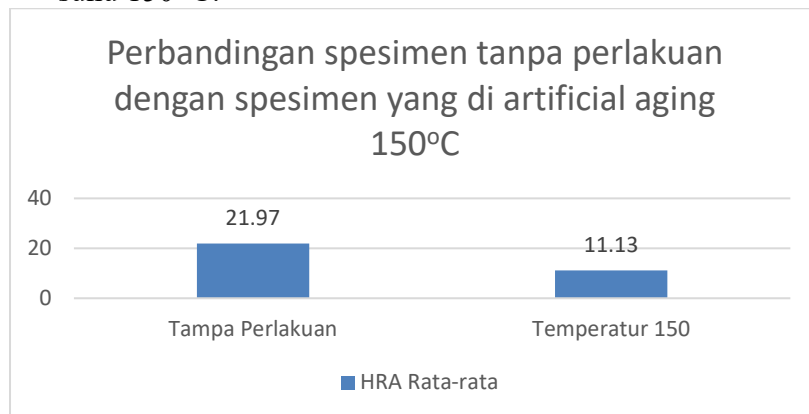


Gambar 5.1 Grafik perbandingan kekerasan spesimen

Dari grafik diatas dapat dilihat perbandingan setiap spesimen dimana kekerasan dari tanpa perlakuan lebih tinggi dari spesimen yang di artificial aging dengan temperatur 100°C. Spesimen yang di artificial aging mengalami penurunan dari spesimen aslinya, Penurunan kekerasan pada spesimen yang di artificial aging disebabkan oleh kurangnya

pengendalian suhu dan waktu yang tepat, sementara spesimen tanpa perlakuan mungkin lebih keras secara alami.

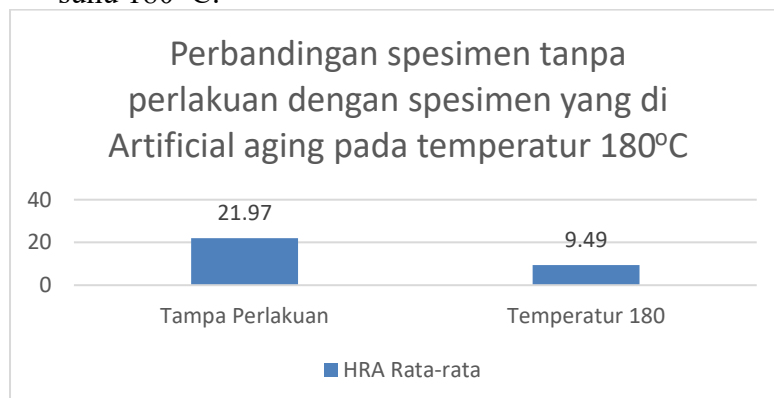
a. Perbandingan spesimen asli tanpa perlakuan dengan spesimen yang di artificial aging pada suhu 150 °C.



Gambar 5.2 Grafik perbandingan kekerasan spesimen

Dari grafik diatas dapat dilihat perbandingan setiap spesimen dimana kekerasan dari tanpa perlakuan lebih tinggi dari spesimen yang di artificial aging dengan temperatur 150°C. Spesimen yang di artificial aging mengalami Penurunan dari spesimen asli nya, penurunan kekerasan pada spesimen yang di artificial aging di sebabkan oleh kurangnya pengendalian suhu dan waktu yang tepat, sementara spesimen tanpa perlakuan mungkin lebih keras secara alami.

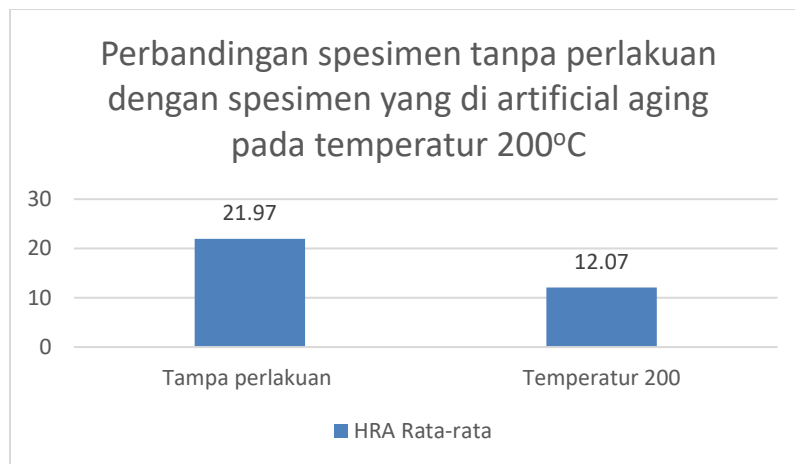
b. Perbandingan spesimen asli tanpa perlakuan dengan spesimen yang di artificial aging pada suhu 180 °C.



Gambar 5.3 Grafik perbandingan kekerasan spesimen

Dari grafik diatas dapat dilihat perbandingan setiap spesimen dimana kekerasan dari tanpa perlakuan lebih tinggi dari spesimen yang di artificial aging dengan temperatur 150°C. Spesimen yang di artificial aging mengalami Penurunan dari spesimen asli nya, Penurunan kekerasan pada spesimen yang di artificial aging di sebabkan oleh kurangnya pengendalian suhu dan waktu yang tepat, sementara spesimen tanpa perlakuan mungkin lebih keras secara alami.

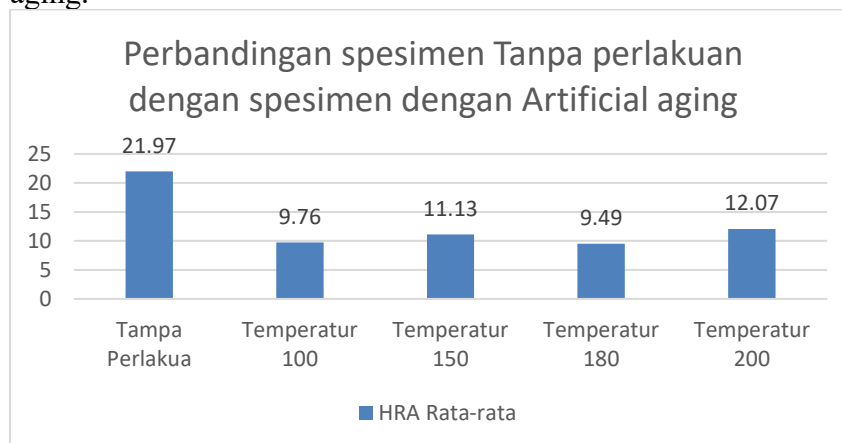
c.. Perbandingan spesimen asli tanpa perlakuan dengan spesimen yang di artificial aging pada suhu 200 °C



Gambar 5.4 Grafik perbandingan kekerasan spesimen

Dari grafik diatas dapat dilihat perbandingan setiap spesimen dimana kekerasan dari tanpa perlakuan lebih tinggi dari spesimen yang di artificial aging dengan temperatur 150°C. Spesimen yang di artificial aging mengalami penurunan dari spesimen asli nya, Penurunan kekerasan pada spesimen yang di artificial aging di sebabkan oleh kurangnya pengendalian suhu dan waktu yang tepat, sementara spesimen tanpa perlakuan mungkin lebih keras secara alami.

e. Perbandingan specimen tanpa perlakuan dengan specimen keseluruhan yang di Artificial aging.



Gambar 5.5 Grafik perbandingan kekerasan specimen

Dari grafik di atas dapat di lihat perbandingan keseluruhan specimen yang mana spesimen asli tanpa perlakuan lebih tinggi kekerasannya, sedangkan dengan spesimen di artificial aging mengalami penurunan ini dikarenakan oleh suhu atau waktu yang belum tepat, yang menyebabkan presipitasi fase penguat yang tidak optimal.

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian pada AL 2014 tanpa perlakuan maupun yang sudah di *Artificial aging* dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell* pada tiap spesimen untuk mendapatkan nilai rata-rata kekerasan spesimen dapat kita lihat pada tabel 5.5. Pada baja AL 2014 yang belum di tempering didapatkan hasil perhitungan dimana rata-rata kekerasannya lebih kecil dibandingkan spesimen yang sudah diberi perlakuan panas dengan variasi temperatur.



Gambar 5.2 Spesimen tanpa perlakuan yang telah di uji kekerasan

AL 2014, diberikan perlakuan panas dengan metode di *quenching* dengan cara memasukkan spesimen kedalam tungku pemanas hingga mencapai suhu 500 °C. Kemudian di *Artificial aging* dengan temperatur 100°C, 150°C, 180°C dan 200 °C. Maka didapatkan kekerasan spesimen pada temperatur 100°C dengan kekerasan 9,76 HRA, temperatur 150°C dengan kekerasan 11,13 HRA, temperatur 180°C kekerasan HRA 9,49 dan yang terakhir temperatur 200 °C dengan kekerasan 12,07 HRA. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen yang sudah mengalami *Artificial aging* mengalami penurunan spesimen .

KESIMPULAN

1. Proses *Artificial aging* pada Al 2014 terhadap sifat mekanik, meskipun proses artificial aging biasanya bertujuan untuk meningkatkan kekerasan mekanik, proses ini dapat menyebabkan penurunan kekerasan yaitu dengan suhu atau waktu yang tidak tepat dan seharusnya suhu nya harus tinggi. prosesnya yaitu dengan metode di *quenching* dengan cara memasukkan spesimen kedalam tungku pemanas hingga mencapai suhu 500 °C dan di dinginkan dengan media oli. Kemudian di *Artificial aging* dengan temperatur 100°C, 150°C, 180°C dan 200 °C, karna hasil penelitian menunjukan bawasan nya hasil nya mala menurun.
2. Bahwa *Artificial aging* itu tidak cocok di gunakan pada Al 2014 dengan perlakuan panas, Mengetahui pengaruh variasi suhu aging terhadap kekerasan Al 2014, nyatanya suhu 100 °C mengalami penurunan kekerasan, sedangkan suhu 150 °C mengalami kenaikan dari pada suhu 100 °C, sedangkan suhu 180 °C, mengalami penurunan dari suhu 100 °C, dan 150 °C, dan suhu 200 °C mengalami kenaikan dari suhu 100 °C, 150 °C, dan suhu 180 °C.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, PT. Dirgantara Indonesia, Bandung

Anonim, 2010, Proses Thermal Logam, Diakses di: <http://ft.unsada.ac.id/wpcontent/uploads/2010/02/bab7b-mt.pdf>. Pada tanggal: 5 september 2024. Pukul 08.00 WIB.

Anonim, 2012, Sejarah Aluminium, Diakses di: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/20315/3/chapter%20II.pdf>. Pada tanggal: 5 Agustus 2024. Pukul 12.00 WIB.

Anonim, 2015, Aluminium Paduan, Diakses di: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/48013/4/chapter%20II.pdf>. Pada tanggal: 06 Juli 2024. Pukul 10.45 WIB.

Anrinal, 2011, Perlakuan Panas, Diakses di: <http://bahanajar.itp.ac.id/index.php?dir=Anrinal/metalurgi%20Fisika/materiAjar%20%28Pdf%20Version%29/&file=11-12%20Perlakuan%20Panas.pdf>. Pada tanggal 06 Mei 2018 .Pukul 15.00 WIB.

- Doddi, 2012, Pengujian Logam, Diakses di: http://doddi_y.staff.gunadarma.ac.id/download/files/27227/2.pdf. Pada tanggal: 09 juli 2024. Pukul 09.00 WIB
- Fuad, 2010, Perlakuan Panas Pada Paduan Al-Si, Diakses di: <http://eprint.undip.ac.id/25530/1/Fuad.pdf>. Pada tanggal: 12 Mei 2018. Pukul 13.00 WIB.
- Hadi, 2011, Hardness Testing, Diakses di: <http://hadisaputrameng.files.wordpress.com/2011/09/pertemuan-ke-2-properties-of-materials-and-testin> g-page-02.pdf. Pada tanggal: 17 Agustus 2024. Pukul 14.00 WIB. Hatch, 1984, *Aluminium Properties and Physical Metalurgy*, ASM Internasional Ohio
- Masgik, 2010, *Heat Treatment* pada Aluminium paduan, Diakses di: <http://matrudin.files.wordpress.com/2013/10/material-teknik-08th.pdf>. Pada tanggal: 18 Mei 2018. Pukul 09.00 WIB.
- Smith, 1995, *Material Science and Engineering (secound edition)*, New York. McGraw.Hill.inc. Diakses di: <http://trove.nla.gov.au/work/17704220>. pada tanggal: 20 september 2024 pukul 12.30 WIB.
- Surdia T Saito, 1995, Pengetahuan Bahan Teknik, PT.Pradnya Paramita, Jakarta. Van Vlack, L. H., 1991, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*, Edisi kelima. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.