



Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas dan Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis dan Mikrostruktur Aluminium 2024

Yudhi Chandra Dwiaji¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

¹yudhichandra7@gmail.com*

Abstract

Aluminum alloys 2024 is a kind of metal that enjoys a few upper hands over different sorts of metals. Aluminum composite 2024 is utilized in the common and military airplane industry, to be specific in the skin part of the airplane. Working on the nature of this aluminum amalgam should be possible through heat treatment. To work on the nature of the 2024 aluminum alloys, an intensity therapy process is completed. This study was led to decide the hardness esteem in aluminum materials in 2024 when going through heat treatment. This test was completed at the Machining Studio of PT. GMF Air Asia. utilizing hardness test hardware subsequent to being exposed to warm treatment. The example to be tried, specifically aluminum sheet 2024 thickness 1.6mm with a size of 30 cm x 20 cm. In the warming system for aluminum 2024, it is conveyed outby embedding examples into the warming kitchen to a temperature of 400° C and 500° C, and followed by a regulation cycle with a period of 3 - 5 minutes each. After the intensity therapy process, the following system is the cooling system by dunking aluminum 2024 into the oil and watercooling media compartment until the temperature on the example gets back to business as usual. In the wake of cooling, it was gone on with rockwell hardness testing. In this test, 5 information assortment focuses were done on every example with various places. The consequences of rockwell hardness testing before heat treatment were 29.62 HRB. After heat treatment, the most elevated hardness was found in test examples with oil cooling media at a temperature of 500° C, in particular 59.68 HRB. what's more, the least was tracked down in a comparative treatment to water cooling media at a temperature of 500° C, specifically 56.38 HRB.

Keywords: aluminium 2024, hardness rockwell, heat treatment, quenching

Abstrak

Kombinasi aluminium 2024 adalah jenis logam yang lebih unggul dari berbagai jenis logam. Aluminium paduan 2024 digunakan pada industri pesawat sipil maupun militer yaitu pada bagian kulit pesawat. Peningkatan kualitas paduan aluminium ini dapat dilakukan dengan cara perlakuan panas. Untuk meningkatkan kualitas paduan aluminium 2024 tersebut dilakukan metode perlakuan panas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material aluminium 2024 sebelum dan setelah mengalami perlakuan panas. Pengujian ini dilakukan di *Workshop Machining* PT.GMF AeroAsia. menggunakan alat uji kekerasan setelah mengalami perlakuan panas. Spesimen yang akan diuji, yaitu aluminium sheet 2024 ketebalan 1.6mm dengan ukuran 30cm x 20cm. Pada proses pemanasan untuk aluminium 2024 dilakukan dengan cara memasukkan spesimen kedalam dapur pemanas hingga sampai pada temperatur 400° C dan 500° C, dan diikuti dengan proses penahanan dengan waktu masing - masing 35 menit. Setelah proses perlakuan panas, proses selanjutnya adalah proses pendinginan dengan cara mencelupkan aluminium 2024 kedalam wadah media pendingin oli dan air sampai suhu pada spesimen kembali normal. Setelah dilakukan pendinginan dilanjutkan dengan pengujian kekerasan *hardness rockwell*. Pada pengujian ini dilakukan 5 titik pengambilan data pada setiap spesimen dengan titik yang berbeda-beda. Hasil pengujian kekerasan *hardness rockwell* sebelum dilakukan perlakuan panas yaitu 29.62 HRB. Setelah dilakukan perlakuan panas menghasilkan angka kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen uji dengan media pendinginan oli pada suhu 500° C yaitu 59.68 HRB. dan terendah terdapat pada perlakuan serupa dengan media pendingin air pada suhu 500° C yaitu 56.38 HRB.

Kata kunci: aluminium 2024, hardness rockwell, perlakuan panas, quenching.

1. Pendahuluan

Paduan Aluminium 2024 digunakan pada industri pesawat terbang komersil dan militer, khususnya pada *skin*/kulit pesawat. Paduan aluminium tersebut membutuhkan serangkaian proses untuk meningkatkan kekuatan material sebelum dipergunakan sebagai bahan struktur pesawat terbang. Salah satu cara yang dapat

ditempuh untuk meningkatkan kekuatan suatu paduan logam, yaitu melalui proses perlakuan panas.

Penelitian sebelumnya meneliti pengaruh perlakuan panas pada paduan AL 2014 terhadap kekuatan tarik, keuletan dan struktur mikro. menggunakan metode uji tarik. Hasil uji tarik dari ketiga benda uji menunjukkan bahwa benda uji perlakuan panas pada suhu 350°C

memiliki keuletan tertinggi, yang dinyatakan dengan nilai regangan sebesar 36%. [1] melakukan penelitian tentang pengaruh kekuatan permukaan pada aluminium 7075 setelah perlakuan panas dan juga untuk mengetahui kekuatan tarik setelah perlakuan panas. Kesimpulan aluminium 7075 setelah perlakuan panas dan uji tarik, kekuatan tariknya menurun karena proses *quenching* dan waktu *aging* yang terlalu lama. temperatur tetap dengan waktu tahan yang bervariasi. hasil dari pengujian uji kekerasan dengan temperatur tetap sebesar 530 °C dan variasi waktu 30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit tidak mendapatkan hasil yang signifikan, sehingga dengan pemanasan ini tidak terjadi kenaikan nilai kekerasan. [2] melakukan penelitian tentang analisa Perubahan Sifat Mekanik Al 6063 setelah dilakukan perlakuan panas. [3] meneliti tentang pengaruh variasi *Holding Time* Pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Struktur Mikro, Dan Uji Kekerasan. Dari penelitian ini didapatkan bahwa tidak terdapat perbedaan hasil uji kekerasan antara kedua metode itu, jika dilakukan pemrosesan yang benar terhadap benda uji yang akan dilakukan menggunakan *microvickers*. [4] meneliti tentang pengaruh natural aging terhadap sifat mekanis aluminium paduan A356 sebagai bahan propeler. Kesimpulan dari penelitian tersebut menghasilkan nilai keuletan material turun seiring dengan bertambahnya waktu *natural aging*, Nilai kekerasan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu aging, dan mencapai kekerasan optimum setelah *aging* 6 hari dengan nilai kekerasan 94 BHN [5]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, muncul pemikiran baru untuk mengangkat penelitian tentang variasi temperatur perlakuan panas aluminium 2024 pada *skin/kulit* pesawat terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dengan media pendingin air dan oli. Dalam penelitian ini, penulis ingin mengetahui pengaruh nilai kekerasan sebelum dan setelah dilakukannya perlakuan panas dengan media *quenching* air dan oli pada paduan aluminium 2024 terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur.

2. Metode Penelitian

2.1. Perlakuan Panas

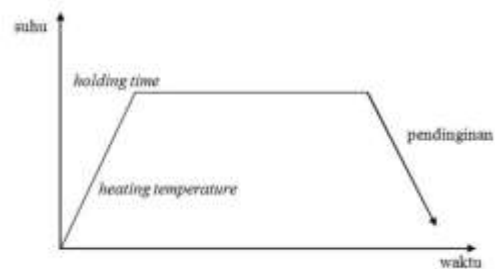
Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Perubahan sifat tersebut terjadi karena ada perubahan struktur mikro selama proses pemanasan dan pendinginan dimana sifat logam atau paduan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro. Proses perlakuan panas terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari proses pemanasan bahan hingga pada suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan juga dengan cara tertentu. Pengujian ini menggunakan ASTM B918/B918M Standard Practice for Heat Treatment of Wrought Aluminum Alloys [6]

Tujuan dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan seperti meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi tegangan, melunakkan, mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada keuletan bahan.

Secara umum, proses perlakuan panas adalah:

1. Memanaskan logam/paduannya sampai pada suhu tertentu (*heating temperature*).
2. Mempertahankan pada suhu pemanasan tersebut dalam waktu tertentu (*holding time*).
3. Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu (*cooling*) [7]

Skema pada proses ini secara sederhana:



Gambar 1. Diagram Temperatur Terhadap Waktu

2.2. Quenching

Pendinginan cepat atau *quenching* adalah suatu proses memanaskan material sampai temperatur tertentu (sebagai contoh untuk aluminium paduan, pemanasan sampai temperatur *austensit*) kemudian material tersebut dicelupkan (laju pendinginan cepat) ke dalam media pendingin. Proses *quenching* bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanis yang keras [2].

Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen dapat berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin disebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin. Semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam itu. Media pendingin yang dipakai pada penelitian ini adalah air dan oli.

2.3. Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Holding time merupakan waktu penahanan yang dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan pada suhu pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur *austenite*-nya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pada baja umumnya perlu dilakukan waktu penahanan, karena pada saat *austenit* masih merupakan butiran halus dan kadar karbon serta unsur paduannya belum homogen dan terdapat karbida yang belum larut. Logam perlu ditahan pada suhu *austenit* untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogen *austenit*. Waktu penahanan dapat dilakukan pada saat suhu dapur (*furnace*) telah mencapai suhu panas yang dikehendaki

guna memberi kesempatan penyempurnaan bentuk kristal yang terbentuk pada suhu transformasi. Tujuan waktu penahanan pada proses perlakuan panas adalah agar struktur mikro yang dicapai setelah proses temper akan lebih homogen [3].

2.4. Gambar

Gambar Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan besi dan baja bermacam-macam. Berbagai bahan media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain:

2.4.1 Air

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H₂O. Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku 0°C dan titik didih 100°C [4]. Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (oli) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari oli, sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja/besi. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak [5].



Gambar 2. Air (dokumentasi pribadi)

2.4.2 Oli

Oli yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain oli yang khusus digunakan sebagai bahan pendinginan pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan oli bakar atau oli. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lambat [6].



Gambar 3. Aviation Turbo Oil 2389 (dokumentasi pribadi)

2.4.3. Udara

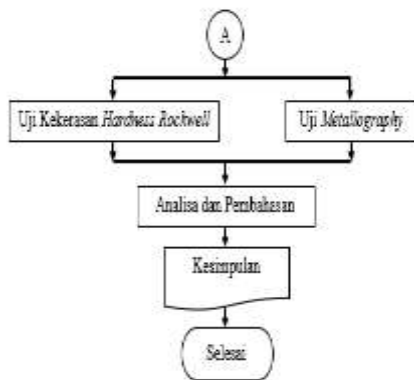
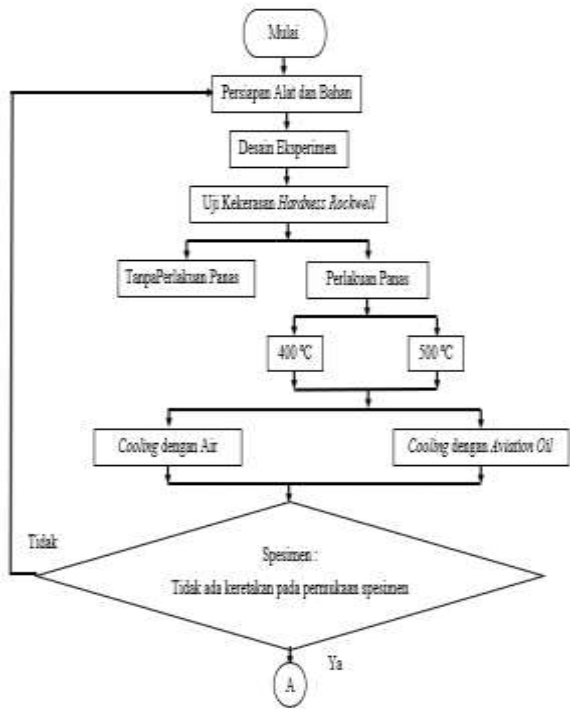
Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendinginan dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara [6].

2.5. Pengujian Mikrostruktur (*Metallography Test*)

Metalografi adalah pengujian spesimen dengan menggunakan mikroskop atau pembesaran beberapa ratus kali, bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro [8]. Pada hal ini, struktur logam dan paduannya dengan pengujian metalografi. Kita dapat mengetahui struktur dari suatu logam dengan memperjelas batas-batas butir logam. Metalografi digunakan untuk mengetahui atau menunjukkan struktur mikro dari suatu logam ataupun paduan melalui gambar yang dihasilkan. Persiapan yang harus dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah penginderaan spesimen, pengampelasan dan pemolesan dilanjutkan pengetsaan. Setelah dipilih bahan uji dan diratakan kedua permukaannya dengan mesin bubut atau lainnya, tetapi pendinginan harus selalu terjaga agar tidak timbul panas berlebihan yang dapat merusak struktur mikro. Setelah rata kemudian digosok menggunakan kertas ampelas dengan kekasaran berurutan, mulai dari yang paling kasar (nomor kecil) sampai yang halus (nomor besar). Arah pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengampelasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata [5].

2.6 Metode Pengujian *Hardness Rockwell*

Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 8 kg untuk mendapatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan dan juga diperkecil kecenderungan untuk terjadi permukaan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh penumbuk. Kemudian diterapkan beban besar dan secara otomatis kedalaman lekukan akan tekanan pada gage penumbuk yang menyatakan angka kekerasan penunjuk tersebut terdiri atas 0,00008 inci. Petunjuk kebalikannya sedemikian hingga kekerasan yang tinggi yang berkaitan dengan penembusan yang kecil menghasilkan penunjukkan angka kekerasan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan angka kekerasan lain yang dijelaskan sebelumnya. Pengujian kekerasan *Rockwell* merupakan salah satu pengujian kekerasan bahan yang banyak digunakan, hal ini dikarenakan pengujian kekerasan *Rockwell* yang : sederhana, cepat, tidak memerlukan *mikroskop* untuk mengukur jejak, dan relatif tidak merusak [9].



Gambar 4. Diagram Alir

3. Hasil dan Pembahasan

Rangkaian Hasil dari pengujian pada penelitian ini yaitu meliputi uji perlakuan panas (metode *quenching*), Uji Kekerasan (metode *Rockwell*), dan Uji metalografi (mikrostruktur).

3.1. Pengujian Kekerasan *Hardness Rockwell*

Pengujian *hardness* ini di lakukan di *Workshop Machining* PT.GMF AeroAsia. Adapun material yang digunakan adalah AL sheet 2024-T0 ketebalan 1.6mm dengan ukuran 30 cm x 20cm. Pengujian ini menggunakan alat uji kekerasan *hardness rockwell*. *Indenter* yang digunakan selama pengujian adalah Bola Baja 1/16". Pengambilan data pada *specimen* dilakukan di lima titik yang berbeda-beda. Pada pengujian ini menggunakan standard pengujian ASTM E18-16.

3.1.1. Uji Kekerasan *Hardness Rockwell* Sebelum Perlakuan Panas

Tabel 1. Hasil uji kekerasan *Hardness Rockwell* sebelum perlakuan panas

<i>Hardness Test</i>				
Titik	Beban Kg.f	Nilai HRB	Nilai kekerasan Brinell (HB)	Nilai Kekerasan Vickers (HV)
1	100	23.60	66	79.65
2	100	32.1	73	84.31
3	100	35.5	76	87.84
4	100	25.30	68	77.37
5	100	31.60	73	83.8
Rata-rata	100	29.62	71	81.76

3.1.2. Pengujian Kekerasan Perlakuan Panas Pada Suhu 400 °C

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan perlakuan panas pada suhu 400°C dengan media pendingin air dan oli.

No	Temperatur Pemanasan	Bahan Media Pendinginan	Titik	Titik	Titik	Titik	Titik	Rata - Rata HRB
			1	2	3	4	5	
1	AL 2024 400°C	Media air	57.4	58.7	56.5	57.2	56.2	57.2
2	AL 2024 400°C	Media oli	62.5	51.5	63.1	59.2	46.9	56.64

Berdasarkan tabel 2. hasil uji kekerasan variasi suhu perlakuan panas 400 °C, tampak nilai HRB pada suhu 400°C dengan media pendingin air lebih keras yaitu 57.2 HRB dibandingkan dengan media pendinginan oli yaitu 56.64 HRB.

Tabel 3. Hasil uji kekerasan setelah perlakuan panas suhu 400°C dengan media pendingin air

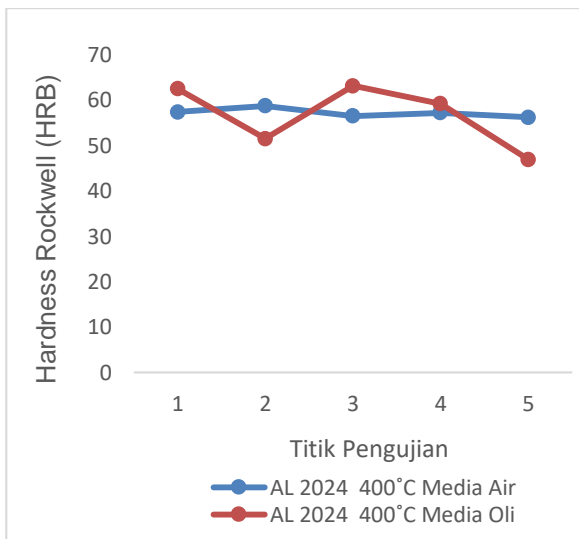
<i>Hardness Test Pada Suhu 400°C</i>			
Titik	Nilai HRB Media Pendingin Air	Nilai Kekerasan Brinell (HB)	Nilai Kekerasan Vickers (HV)
1	57.40	96	112.25
2	58.70	98	113.88
3	56.50	95	111.13
4	57.2	96	112
5	56.2	95	110.77
Rata-rata	57.2	96	112

Tabel 4. Hasil uji kekerasan setelah perlakuan panas suhu 400°C dengan media pendingin oli

Hardness Test Pada Suhu 400°C			
Titik	Nilai HRB Media Pendingin Oli	Nilai Kekerasan Brinell (HB)	Nilai Kekerasan Vickers (HV)
1	62.5	102	118.89
2	51.5	91	105.20
3	63.1	103	119.71
4	59.2	98	114.52
5	46.9	86	100.02
Rata-rata	56.64	96	111.30

Tabel 6. Hasil uji kekerasan setelah perlakuan panas pada suhu 500°C dengan media pendingin air

Hardness Test Pada Suhu 500°C			
Titik	Nilai HRB Media Pendingin Air	Nilai Kekerasan Brinell (HB)	Nilai Kekerasan Vickers (HV)
1	59.9	99	115.42
2	57.0	96	111.75
3	53.60	93	107.65
4	52.0	91	105.78
5	59.4	98	114.78
Rata-rata	56.38	95	110.99



Gambar 5. Grafik Uji Kekerasan Rockwell (HRB) Pada Suhu 400°C

3.1.3 Pengujian Kekerasan Pada Suhu Perlakuan Panas 500°C

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekerasan Pada Suhu Perlakuan Panas 500°C Dengan Media Pendingin Air Dan Oli.

No	Temperatur Pemanasan	Bahan Media Pendinginan	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Rata – Rata HRB
1	AL 2024 500°C	Media air	59.9	57.0	53.6	52.0	59.4	56.38
2	AL 2024 500°C	Media oli	61.0	60.7	60.5	55.8	60.4	59.68

Tabel 7. Hasil uji kekerasan setelah perlakuan panas suhu 500°C dengan media pendingin oli

Hardness Test Pada Suhu 500°C			
Titik	Nilai HRB Media Pendingin Air	Nilai Kekerasan Brinell (HB)	Nilai Kekerasan Vickers (HV)
1	61.0	100	116.87
2	60.70	100	116.47
3	60.5	100	116.20
4	55.8	95	110.28
5	60.4	100	116.07
Rata-rata	59.68	99	115.14

Berdasarkan tabel 5. hasil uji kekerasan variasi suhu perlakuan panas 500°C, tampak nilai pada suhu 500°C dengan media pendinginan dengan oli lebih keras yaitu 59.68 HRB dan media pendingin air yaitu 56.38 HRB.

3.2. Perbandingan Kekerasan Sebelum Dan Sesudah Perlakuan Panas

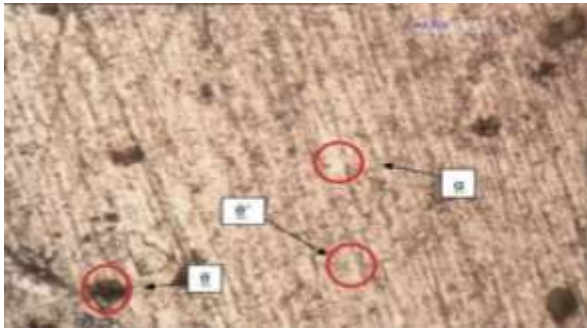


Gambar 6. Grafik Perbandingan Kekerasan

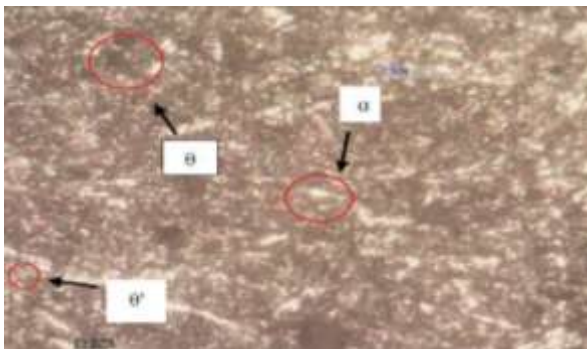
3.3. Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan mikroskop optik dilakukan bertujuan untuk memperoleh data struktur mikro yang ada pada raw material maupun yang telah mengalami perlakuan

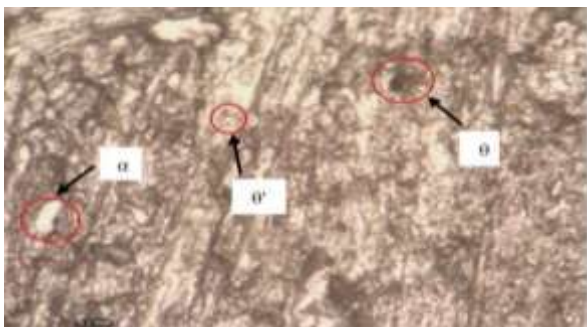
panas. Gambar 7. menunjukkan struktur mikro dari bahan aluminium yang tidak dipanaskan. Perbesaran optic yang terekam adalah 200x dengan *etsa keller's reagent*. Hasil metalografi menunjukkan adanya fasa alpha dan fasa θ .



Gambar 7. Raw Material Aluminium 2024



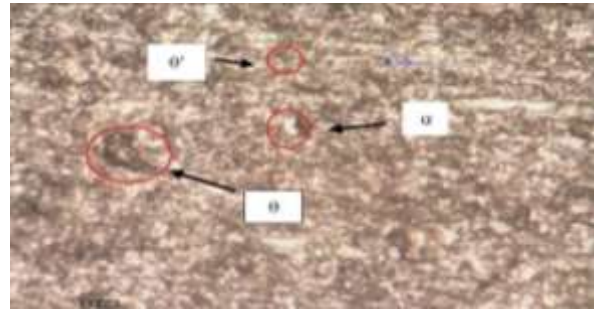
Gambar 8. Perlakuan panas pada suhu 400 °C media pendingin air setelah di etsa 3 kali



Gambar 9. Perlakuan panas pada suhu 400 °C media mendingin oli setelah di etsa 3 kali



Gambar 10. Perlakuan panas pada suhu 500°C media pendingin air setelah di etsa 3 kali



Gambar 11. Perlakuan panas pada suhu 500°C media pendingin oli setelah di etsa 3 kali

Dari gambar struktur mikro terlihat bahwa daerah gelap merupakan partikel berupa titik-titik hitam dan daerah terang. Daerah terang merupakan daerah fasa α , daerah partikel gelap merupakan daerah pengendapan atau presipitat θ' , dan daerah gelap merupakan daerah fasa θ [10].

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian dalam penelitian ini dari hasil pengujian *hardness rockwell* nilai kekerasan aluminium 2024 sebelum diberi perlakuan panas adalah 29.62 HRB dan setelah diberi perlakuan panas pada suhu 400°C dan waktu penahanan 35 menit, didinginkan dengan oli mendapatkan nilai kekerasan yaitu 56.64 dan air yaitu 57.2. Perlakuan panas pada suhu 500 ° C dan didinginkan dengan oli mendapatkan nilai kekerasan yaitu 59.68 dan didinginkan dengan air yaitu 56.38. Dari hasil dari pengamatan struktur mikro pada aluminium paduan 2024, semakin banyak sebaran partikel presipitat fasa θ' maka semakin tinggi kekerasannya.

Daftar Rujukan

- [1] M. Taufiq, "Pengaruh Perlakuan Panas pada Al Alloy 2014 Terhadap Kekuatan Tarik, Keuletan dan Struktur Mikro," 2020, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/90974>
- [2] A. Naafila, A. Purnowidodo, and P. H. Setyarini, "Pengaruh Waktu Solution Treatment Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium Paduan AA 7075-T6," *Pros. SENIATI*, pp. 215–220, 2019.
- [3] M. Nofri, "Analisis Perubahan Sifat Mekanik Al 6063 Setelah Dilakukan Heat Treatment Pada Temperatur Tetap Dengan Waktu Tahan Yang Bervariasi," *Bina Tek.*, vol. 16, no. 1, p. 35, 2020, doi: 10.54378/bt.v16i1.1757.
- [4] A. I. S. Magdalena Feby Kumayasari, "Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial VS Micro Vickers Comparison Study Of Hardness Testing By Using Rockwell Superficial VS Microvickers," *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 2, no. 2, pp. 85–88, 2017.
- [5] S. Suyanto, "Pengaruh Natural Aging Terhadap Sifat Mekanis Aluminium Paduan a356 Sebagai Bahan Propeler," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 3, p. 97, 2019, doi: 10.32497/jrm.v14i3.1638.
- [6] M. Castings, D. Castings, M. Products, A. Products, R. Semi-, and S. C. Processes, "B917B917M-12 Standard Practice for Heat Treatment of Aluminum-Alloy Castings from All Processes.pdf", doi: 10.1520/B0917.

- [7] D. Mas, "Annealing Proses annealing," *Pdfcoffee.Com*, pp. 1–29, 2016, [Online]. Available: <https://pdfcoffee.com/11-12-perlakuan-panas-pdf-free.html#Dimas+Mas>
- [8] F. P. Putra and R. Siswanto, "Pengaruh Temperatur Tuang Terhadap Porositas, Stuktur Mikro Dan Kekerasan Dari Aluminium Rongsok Velg Menggunakan Pengecoran Evaporatif," *Jtam Rotary*, vol. 3, no. 2, pp. 219–232, 2021, doi: 10.20527/jtam_rotary.v3i2.4119.
- [9] Bahtiar, M. Iqbal, and Supramono, "Pengaruh Media Pendingin Minyak Pelumas Sae 40 Pada Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah," *J. Mek.*, vol. 05, no. 01, pp. 455–463, 2014.
- [10] A. Setiawan and A. Dipogusti, "Effect of pack carburizing and viscosity of quenching media on AISI 1010 steel," *JEMMME (Journal Energy, Mech. Mater. Manuf. Eng.)*, vol. 7, no. 1, pp. 9–20, 2022.