



TUGAS AKHIR – TM145502

**Analisa Variasi Holding Time pada Aluminium 6061
Terhadap Uji Impak, Struktur Mikro, dan Uji Kekerasan**

Miftah Nashrullah Wicaksono
NRP 10211400000108

Dosen Pembimbing 1
Dr.Atria Pradityana, ST., MT
19851124 200912 2 008

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - TM 145502

**Analisa Variasi Holding Time pada
Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak,
Struktur Mikro, dan Uji Kekerasan**

Miftah Nashrullah Wicaksono
NRP 10211400000108

Dosen Pembimbing
Dr.Atria Pradityana, ST., MT
19851124 200912 2 008

Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TM 145502

**Analysis of Variation of Holding Time on
Aluminum 6061 to Impact Test, Micro
Structure, and Hardness Test**

Miftah Nashrullah Wicaksono
NRP 10211400000108

Advisor
Dr.Atria Pradityana, ST., MT
19851124 200912 2 008

Industrial Mechanical Engineering Department
Faculty Of Vocational
Institute Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Variasi Holding Time pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Struktur Mikro, dan Uji Kekerasan

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada Bidang Studi Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MIFTAH NASHRULLAH WICAKSONO

NRP. 2114 030 108

Disetujui oleh:



Dosen Pembimbing

Dr. Atria Bradityana, ST., MT

NIP. 19851124 200912 2 008

SURABAYA, JULI 2018

Analisa Variasi Holding Time pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Struktur Mikro, dan Uji Kekerasan

Nama Mahasiswa : Miftah Nashrullah Wicaksono
NRP : 2114 030 108
Jurusan : D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Atria Pradityana, ST., MT

Abstrak

Kebanyakan materialomotif maupun alat-alat konstruksi umumnya menggunakan Aluminium Alloy (AA) 6061. Selain itu, paduan Aluminium 6061 mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti tahan terhadap korosi, dapat di perlaku-panaskan, ketangguhan baik, serta sifat mampu las yang baik, sehingga banyak indusri maju menggunakan material ini sebagai bahan utama dalam perancangan alat maupun konstruksi. Metode yang dapat diterapkan untuk mendapatkan aluminium dengan kekerasan dan kekuatan yang optimal antara lain dengan age hardening. Di dalam melakukan penelitian ini dibahas bagaimana pengaruh variasi *holding time* perlakuan *aging* pada paduan aluminium 6061 terhadap uji impak, uji kekerasan dan uji metalografi.

Paduan aluminium seri 6061 dipotong sesuai dengan standart ASTM. Pada tahap pertama aluminium seri 6061 diberi perlakuan panas dengan suhu 300°C selama 1 jam, kemudian diquenching dengan media pendingin berupa air. Selanjutnya diberi perlakuan panas kembali pada suhu 150°C dengan variasi *holding time* 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam lalu diquenching dengan media pendingin berupa air. Setelah hasil proses aging, dilakukan uji metalografi, uji impak, dan uji kekerasan.

Hasil uji kekerasan menggunakan *Vickers Hardness Test* didapatkan nilai kekerasan yang terus menurun dari *holding time*

1 jam memiliki nilai kekerasan 80,8 HVN hingga *holding time* 5 jam yang memiliki nilai kekerasan 47,4 HVN. Namun pada uji impak didapati kekuatan impak meningkat seiring dengan bertambahnya waktu penahanannya dan peningkatan kekuatan impak yang signifikan terjadi di *holding time* 5 jam. Dimana pada *holding time* 4 jam memiliki kekuatan impak sebesar 0,55 Joule/mm² dan pada *holding time* 5 jam kekuatan impaknya meningkat menjadi 1,21 Joule/mm² karena struktur mikro aluminium berdifusi sampai mencapai homogen serta sifat aluminium berubah menjadi mampu menahan tegangan kejut.

Kata kunci : Aluminum Seri 6061, *Holding Time*, *Quenching*, Impak, Kekerasan

Analysis of Variation of Holding Time on Aluminum 6061 to Impact Test, Micro Structure, and Hardness Test

Student Name : Miftah Nashrullah Wicaksono
Identity Number : 2114 030 108
Department : D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS
Supervisor : Dr.Atria Pradityana, ST., MT

Abstract

Most automotive materials and construction tools generally use Aluminum Alloy (AA) 6061. In addition, Aluminum 6061 alloys have beneficial properties such as corrosion resistance, heat-treatment, good toughness, and good welding properties, so that many advanced industries use this material as the main ingredient in the design of tools and construction. The methods that can be applied to obtain aluminum with hardness and optimal strength, among others, with age hardening. In conducting this research, we discussed how the effect of aging variation of aging treatment on aluminum alloy 6061 to impact test, hardness test and metallographic test.

The 6061 series aluminum alloy is cut in accordance with ASTM standard. In the first stage of aluminum series 6061 given heat treatment with a temperature of 300°C for 1 hour, then diquenching with a water cooling medium. Furthermore, the heat treatment back at 150°C with variations of holding time 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours, and 5 hours ago diquenching with a cooling medium in the form of water. After the aging process, metallographic tests, impact tests, and hardness tests were performed.

Violence test result using Vickers Hardness Test obtained by value of hardness which keep decreasing from holding time 1 hour have hardness value 80,8 HVN until holding time 5 hour having hardness value 47,4 HVN. However, in impact test found

impact strength increased with increasing time of detention and significant impact strength increase occurred in holding time 5 hours. Where at 4 hours holding time has a impact strength of 0.55 Joule / mm² and at holding time 5 hours its impact strength increased to 1.21 Joule / mm² because the aluminum microstructure diffuses until it reach homogeneous and the aluminum properties turn to be able to withstand shock voltage.

Key word : Aluminum Seri 6061, *Holding Time, Quenching, Impact, Hardness*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penyusunan tugas Akhir yang berjudul : **“Analisa Variasi Holding Time pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Struktur Mikro, dan Uji Kekerasan”** dapat diselesaikan dengan baik.

Penyelesaian tugas akhir ini merupakan syarat akademis yang harus ditempuh di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak dorongan dan bantuan yang penulis dapatkan selama Penyusunan Tugas Akhir ini sehingga terselesaikannya dengan beberapa kekurangan dan kelebihan. Pada kesempatan kali ini perkenankanlah penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberi dukungan moril dan materil.
2. Ibu Dr.Atria Pradityana, ST., MT selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, saran dan masukan saat mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya.
3. Bapak Dr. Heru Mirmanto, ST, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
4. Bapak Ir. Suharyanto, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
5. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin FV-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.

7. Teman-teman dari D3 Teknik Mesin Industri yang telah membantu dalam bentuk semangat, motivasi, dan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
8. Teman-teman D3 Teknik Mesin Industri angkatan 2k14 yang telah membantu, memberi semangat, dan motivasi dalam menyelesaikan belajar di D3 Teknik Mesin Industri dan Tugas Akhir ini.
9. Shafira Ayu Permatasari yang senantiasa membantu dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman dari Laboratorium Metalurgi yang selalu memberikan semangat, dukungan serta motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
 BAB II DASAR TEORI.....	 5
2.1 Aluminium	5
2.1.1 Klasifikasi Aluminium	7
2.1.2 Aluminium 6061 dan Paduannya	8
2.2 Pengerasan Penuaan (<i>Age Hardening</i>).....	10
2.2.1 Tahap Perlakuan Panas Pelarutan.....	11
2.2.2 Tahap Pengejukan / Pendinginan (<i>Quenching</i>)	11
2.2.3 Tahap Penuaan (<i>Aging</i>).....	12
2.3 Pengujian Mekanik.....	17
2.3.1 Uji Impak.....	18
2.3.1.1 Uji Impak Metode <i>Izod</i>	20
2.3.1.2 Uji Impak Metode <i>Charpy</i>	21
2.3.1.3 Macam-Macam Patahn.....	22
2.3.2 Uji Metalografi	23
2.3.3 Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1 Diagram Alir Penelitian	28
3.2 Bahan	31
3.3 Benda Uji.....	31
3.3.1 Benda Uji Metalografi.....	31
3.3.2 Benda Uji Kekerasan.....	32
3.3.3 Benda Uji Impak	32
3.4 Alat yang Digunakan.....	33
3.4.1 Dapur Pemanas.....	33
3.4.2 Mesin Grinding dan Polishing.....	34
3.4.3 Peralatan Etsa	35
3.4.4 Mesin Uji Impak	35
3.4.5 Perlatan Uji Metalografi.....	36
3.4.6 Mesin Uji Kekerasan.....	37
3.5 Langkah-Langkah Percobaan	37
3.5.1 Langkah Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	37
3.5.2 Langkah Pengujian Impak.....	39
3.5.3 Langkah Pengujian Metalografi	39
 BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	 43
4.1 Uji Impak Aluminium 6061 Hasil Proses <i>Aging</i>	43
4.1.1 Data Uji Impak Aluminium 6061 Hasil Proses <i>Aging</i>	43
4.1.2 Analisa Hasil Uji Impak Aluminium 6061 dengan Variasi <i>Holding Time</i>	47
4.1.3 Pembahasan Hasil Uji Impak Aluminium 6061 dengan Variasi <i>Holding Time</i>	47
4.2 Uji Kekerasan Aluminium 6061 Hasil Proses <i>Aging</i>	47
4.2.1 Data Uji Kekerasan Aluminium 6061 Hasil Proses <i>Aging</i>	49
4.2.2 Analisa Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 dengan Variasi <i>Holding Time</i>	50
4.2.3 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 dengan Variasi <i>Holding Time</i>	51

4.3 Uji Metalografi Aluminium 6061 Hasil Proses <i>Aging</i>	51
4.3.1 Data Uji Metalografi Aluminium 6061 Hasil Proses <i>Aging</i>	52
4.2.2 Analisa Hasil Uji Metalografi Aluminium 6061 dengan Variasi <i>Holding Time</i>	54
4.2.3 Pembahasan Hasil Uji Metalografi Aluminium 6061 dengan Variasi <i>Holding Time</i>	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	60
Lampiran 1 Perhitungan Uji Impak.....	60
Lampiran 2 Perhitungan Uji Kekerasan	71
Lampiran 3 Sertifikat Aluminium 6061	77
BIODATA PENULIS	79

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar Skema <i>Age Hardening</i>	10
Gambar 2.2	Diagram Fase Pemanasan Logam Paduan	11
Gambar 2.3	Diagram Urutan Perubahan pada Proses <i>Artificial Aging</i>	13
Gambar 2.4	(a) <i>supersaturated solute solution</i> , (b) fasa θ'' mulai terbentuk <i>precipitate (Al-Cu)</i> , (c) fasa keseimbangan θ <i>Al-Cu</i>	15
Gambar 2.5	Hubungan Antara Lamanya Waktu (<i>aging</i>) dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium	16
Gambar 2.6	Ayunan Pendulum Alat Uji Impak	19
Gambar 2.7	Pemukulan pada Metode <i>Charpy</i>	21
Gambar 2.8	Hasil Scan Elektron Patahan <i>Ductile</i>	22
Gambar 2.9	Hasil Scan Elektron Patahan <i>Brittle</i>	23
Gambar 2.10	Metode pengujian kekerasan <i>Vickers</i>	24
Gambar 2.11	Hasil Tapak Tekan Pengujian <i>Vickers</i>	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Dalam Pembuatan Tugas Akhir	28
Gambar 3.2	Dimensi Benda Kerja Uji Metalografi	32
Gambar 3.3	Dimensi Benda Kerja Uji Kekerasan	32
Gambar 3.4	Dimensi Benda Uji Impak	33
Gambar 3.5	Dapur Pemanas	34
Gambar 3.6	Mesin Grinding dan Polishing	35
Gambar 3.7	Alat Uji Impak	36
Gambar 3.8	a. <i>Olympus Video</i> , b. Mikroskop Uji Metalografi, c. Komputer	36
Gambar 3.9	Alat Uji Kekerasan	37
Gambar 4.1	Material Hasil Uji Impak dengan <i>Holding Time</i> a. 5 Jam, b. 3 Jam	45
Gambar 4.2	Grafik Energi Impak Material <i>Aging</i>	46
Gambar 4.3	Grafik Kekuatan Impak Material <i>Aging</i>	46
Gambar 4.4	Material Hasil Uji Kekerasan dengan <i>Holding Time</i> a. 1 Jam, b. 3 Jam, c. 5 Jam	48
Gambar 4.5	Grafik Kekerasan Material <i>Aging</i>	50

Gambar 4.6 Material Uji Metalografi dengan <i>Holding Time</i> a.1 Jam, b.3 Jam, dan c.5 Jam Setelah di Etsa dengan Larutan Reagen Keller's	52
Gambar 4.7 Struktur Mikro Material <i>Aging</i> Temperatur 150°C dengan <i>Holding Time</i> 1, 2, 3, 4, dan 5 jam	54

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Paduan Aluminium.....	7
Tabel 2.2	Komposisi Kimia Aluminium	9
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Aluminium 6061	31
Tabel 3.2	Sifat Mekanik Aluminium 6061.....	31
Tabel 4.1	Data yang Digunakan untuk Uji Impak.....	43
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Impak	44
Tabel 4.3	Data yang Digunakan untuk Uji Kekerasan	48
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kekerasan.....	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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. Dalam dunia industri saat ini 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.

Pada automotif maupun alat-alat konstruksi umumnya menggunakan *Aluminium Alloy (AA) 6061*. Secara khusus, reduksi berat menjadi bagian yang penting dalam upaya meningkatkan efisiensi daya mesin kendaraan, contohnya adalah pemakaian aluminium paduan pada kendaraan bermotor (Miller, 2000). Selain itu, paduan Aluminium 6061 mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti tahan terhadap korosi, dapat di perlakuan pemanasan, ketangguhan baik, serta sifat mampu las yang baik, sehingga banyak industri maju menggunakan material ini sebagai bahan utama dalam perancangan alat maupun konstruksi. Metode yang dapat diterapkan untuk mendapatkan aluminium dengan kekerasan dan kekuatan yang optimal antara lain dengan *age hardening*. Dengan melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi *holding time* terhadap uji impak, uji kekerasan dan uji metalografi merupakan cara mengetahui bagaimana pengaruhnya terhadap kekerasan, kekuatan dan struktur mikro pada aluminium 6061.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul. Diantara rumusan tersebut adalah :

- 1) Adakah pengaruh variasi *holding time* terhadap struktur mikro aluminium 6061?

- 2) Adakah pengaruh variasi *holding time* terhadap uji kekerasan pada aluminium 6061?
- 3) Adakah pengaruh variasi *holding time* terhadap uji impak pada aluminium 6061?

1.3 Batasan Masalah

Agar mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tingkat ketelitian yang diinginkan, maka batasan masalah disusun agar memperjelas arah dan mengendalikan model sistem yang akan dicapai, yaitu sebagai berikut :

- 1) Temperatur air yang digunakan untuk pendinginan adalah 25°C.
- 2) Penelitian ini hanya membahas mikro struktur, tingkat kekerasan dan kekuatan impak.
- 3) Dimensi semua benda uji dianggap sama.
- 4) Variasi *holding time* 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam pada perlakuan *aging*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Mengetahui pengaruh variasi *holding time* terhadap struktur mikro pada aluminium 6061.
- 2) Mengetahui pengaruh variasi *holding time* terhadap uji kekerasan pada aluminium 6061.
- 3) Mengetahui pengaruh variasi *holding time* terhadap uji impak pada aluminium 6061.

1.5 Manfaat Penelitian

Mengaplikasikan pada permasalahan yang ada dari pembelajaran yang didapatkan di bangku kuliah, dan juga dapat mengetahui bagaimana cara untuk meneliti perlakuan panas terhadap sifat mekanik.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjas mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan pengujian impak.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun *website* yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Berisi tentang perhitungan pada pengujian impak , kekerasan pada setiap variasi yang digunakan. Sertifikat komposisi paduan aluminium 6061.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Aluminium

Aluminium diambil dari bahasa Latin: *alumen*, *alum*. Orang-orang Yunani dan Romawi kuno menggunakan alum sebagai cairan penutup pori-pori dan bahan penajam proses pewarnaan. Pada tahun 1787, Lavoisier menebak bahwa unsur ini adalah Oksida logam yang belum ditemukan. Pada tahun 1761, de Morveau mengajukan nama *alumine* untuk basa alum. Pada tahun 1827, Wohler disebut sebagai ilmuwan yang berhasil mengisolasi logam ini. Pada tahun 1807, Davy memberikan proposal untuk menamakan logam ini *Aluminum*, walau pada akhirnya setuju untuk menggantinya dengan *Aluminium*. Nama yang terakhir ini sama dengan nama banyak unsur lainnya yang berakhir dengan “*ium*”.

C.M. Hall seorang berkebangsaan Amerika dan Paul Heroult berkebangsaan Prancis, pada tahun 1886 mengolah Aluminium dari Alumina dengan cara elektrolisa dari garam yang terfusi. Selain itu Karl Josep Bayer seorang ahli kimia berkebangsaan Jerman mengembangkan proses yang dikenal dengan nama proses Bayer untuk mendapat Aluminium murni.(Anonim, 2012)

Aluminium merupakan unsur logam terbanyak di muka bumi, dimana hampir 8% berat dari kerak bumi adalah aluminium. Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai suatu logam oleh H.C. Oersted pada tahun 1825. Bijih bauksit adalah bahan utama untuk pembuatan aluminium yang terdapat di dalam batu-batu dalam kerak bumi. Di dalam bebatuan tersebut aluminium masih berbentuk silikat dan komponen lain yang lebih kompleks, karena komponen aluminium yang begitu kompleks tersebut maka diperlukan penelitian lebih dari 60 tahun untuk menemukan cara yang ekonomis untuk membuat aluminium dari bijih bauksit. (Surdia .T.,Saito,S., 1995)

Adapun aluminium merupakan bahan yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari hal tersebut dikarenakan aluminium mempunyai sifat-sifat yang sangat baik dan mempunyai keunggulan dibandingkan dengan material lain. Berikut ini merupakan sifat-sifat umum aluminium:

a. Ringan

Memiliki bobot sekitar $\frac{1}{3}$ dari bobot besi dan baja, atau tembaga dan banyak digunakan dalam industri transportasi seperti angkutan udara.

b. Tahan terhadap korosi

Sifatnya durable sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia lainnya, baik di ruang angkasa atau bahkan sampai ke dasar laut.

c. Kuat

Aluminium memiliki sifat yang kuat terutama bila dipadu dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan tinggi seperti: pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, kendaraan dan lain-lain.

d. Mudah dibentuk

Proses pengerjaan Aluminium mudah dibentuk karena dapat disambung dengan logam/material lainnya dengan pengelasan, brazing, solder, adhesive bonding, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.

e. Konduktor listrik

Aluminium dapat menghantarkan arus listrik dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan tembaga. Karena Aluminium tidak mahal dan ringan, maka Aluminium sangat baik untuk kabel-kabel listrik overhead maupun bawah tanah.

f. Konduktor panas

Sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada mesin-mesin/alat-alat pemindah panas sehingga dapat memberikan penghematan energi.

g. Memantulkan sinar dan panas

Aluminium dapat dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki kemampuan pantul yang tinggi yaitu sekitar 95% dibandingkan dengan kekuatan pantul sebuah cermin. Sifat pantul ini menjadikan Aluminium sangat baik untuk peralatan penahan radiasi panas.

h. Non magnetik

Aluminium sangat baik untuk penggunaan pada peralatan elektronik, pemancar radio/TV dan lain-lain. Dimana diperlukan faktor magnetisasi negatif.(Anonim, 2012)

2.1.1 Klasifikasi Aluminium

Berdasarkan *American National Standard Institute* (ANSI) Standard H35.1 dan Aluminium Association (AA), sistem modifikasi paduan aluminium adalah menggunakan empat digit/angka, dimana angka pertama menyatakan unsur utama paduan (dominan) yang terkandung, seperti pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Klasifikasi paduan aluminium.

Al paduan untuk dimesin	Paduan jenis tidak dapat di perlakuan panas (non-heat-treatable)	Al murni (seri 1000) Paduan Al-Mn (seri 3000) Paduan Al-Si (seri 4000) Paduan Al-Mg (seri 5000)
	Paduan jenis dapat perlakuan panas (heat-treatable)	Paduan Al-Cu (seri 2000) Paduan Al-Mg-Si (seri 6000) Paduan Al-Zn (seri 7000)
Al paduan untuk coran	<i>Non-heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Si (Silumin) Paduan Al-Mg (Hydronarium)
	<i>Heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Cu (Lautal) Paduan Al-Si-Mg (Silumin, Lo-ex)

(Sumber : Yudi, 2012)

Pada digit pertama menunjukkan jenis unsur paduan utamanya, sedangkan pada digit kedua menunjukkan modifikasi dari paduan. Apabila pada digit keduanya 0 mengindikasikan paduan orisinil, integer 1-9 menunjukkannya adanya modifikasi pada paduan orisinil.

Pada digit ketiga dan keempat tidak menunjukkan signifikansi khusus, melainkan untuk membedakan kelompok paduan aluminium yang berbeda. Menurut metode pengerasannya, aluminium dibagi menjadi dua kelompok yaitu *Heat Treatable* dan *Non Heat Treatable*. Yang membedakan kelompok masing-masing adalah untuk kelompok *Heat Treatable* merupakan paduan aluminium yang dapat diperkeras dengan proses penuaan (*Aging*), sedangkan *Non Heat Treatable* tidak dapat diperkeras dengan proses penuaan (*Aging*) tetapi dapat dilakukan penguatan larutan-padat (*Solid Solution Strengthening*), pengerasan butir (*Strain Hardening*), atau pengerasan dispersi (*Dispersion Strengthening*). Paduan tempa yang dapat diperkuat menggunakan proses perlakuan panas yaitu pada paduan aluminium seri 2xxx, 6xxx, 7xxx dan beberapa jenis dari seri 8xxx. Paduan *non heat treatable alloys* pada paduan aluminium seperti seri 1xxx, 3xxx, 4xxx, dan 5xxx memiliki sifat mekanik yang diperoleh melalui mekanisme *hot working* dan *cold working* selama proses produksi dan pasca produksi yang menggunakan proses pengerasan.

2.1.2 Aluminium 6061 dan Paduannya

Paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061 dan 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida (Mg_2Si), sehingga membuat paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang memiliki unsur paduan utama Al-Mg-Si, dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan

untuk rangka–rangka konstruksi, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi.(Surdia .T.,Saito,S., 1995)

Sedangkan paduan aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari berbagai sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi.(Husaini, 2006)

Adapun dari buku ASM Metal Handbook Volume 9, pada tahun 2004, untuk aluminium seri 6061 memiliki komposisi kimia dimana unsur Al memiliki persentase yang paling besar, kemudian disusul dengan persentase unsur Mg dan unsur Si, mengingat bahwa aluminium seri 6061 ini merupakan paduan dari Al-Mg-Si, seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Aluminium

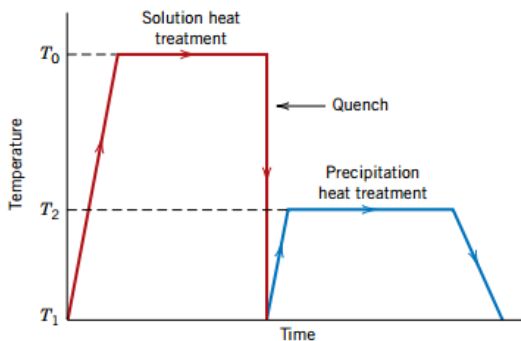
Alloy group	Nominal chemical composition ^[a] , Wt %										
	Mg	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zu	Zr	Other
Wrought alloys											
1xxx (Al > 99.00%)	0.006-0.25	0.006-0.7	0.002-0.006	0.01-0.03	0.002-0.05	0.006-0.6	...	0.006-0.35	0.006-0.05	...	...
2xxx (Cu)	0.02-0.8	0.10-1.3	0.02-0.3	0.05-0.2	0.05-1.3	0.12-1.3	0.05-2.3	0.8-6.8	0.10-0.80	0.05-0.5	...
3xxx (Mn)	0.05-1.3	0.3-1.8	0.05-0.10	0.05-0.40	0.05-1.8	0.1-1.0	0.05	0.05-0.50	0.05-1.0	0.1-0.5	...
4xxx (Si)	0.05-2.0	0.8-13.5	0.04-0.30	0.05-0.25	0.03-1.5	0.20-1.0	0.15-1.3	0.05-1.5	0.05-0.25	...	...
5xxx (Mg)	0.2-5.6	0.08-0.7	0.05-0.20	0.05-0.35	0.03-1.4	0.10-0.7	0.03-0.05	0.03-0.35	0.05-2.8	...	...
6xxx (Mg + Si)	0.05-1.5	0.20-1.8	0.08-0.20	0.03-0.035	0.03-1.0	0.08-1.0	0.2	0.10-1.2	0.05-2.4	0.05-0.20	...

(Sumber : ASM Metal Handbook Volume 9, 2004)

Paduan alumunium seri 6061 berdasarkan tabel di atas maka unsur yang memiliki komposisi paling besar serta sangat mempengaruhi sifat mekanik dari padual alumunium seri 6061 adalah Magnesium (Mg) dan Silika (Si), sehingga jika paduan alumunium seri 6061 diberi perlakuan panas maka yang terbentuk adalah senyawa Mg₂Si.

2.2 Pengerasan Penuaan (*Age Hardening*)

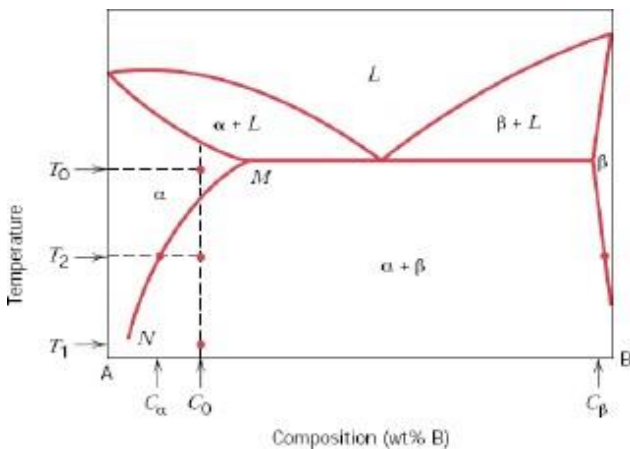
Pengerasan penuaan (*Age Hardening*) merupakan proses pengerasan endap yang dilakukan dengan cara spesimen yang memiliki temperatur ruangan (T_1) dilakukan pelarutan pada pelarutan (*Solution Heat Treatment*) pada suhu tinggi yaitu pada temperatur 300°C (T_0) dan diikuti dengan proses pendinginan cepat (*quenching*) kemudian dilakukan penuaan (*Aging*) pada temperatur 150°C (T_2) serta diberikan waktu tahan di T_2 selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam yang dimana terjadi proses (*Precipitation Heat Treatment*). Pengerasan penuaan (*Age Hardening*) merupakan salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium. Dengan melakukan pengerasan penuaan (*Age Hardening*) logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Proses *Age Hardening* dapat dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari paduan dipanaskan dengan temperatur tertentu atau sampai membentuk satu fasa tunggal. Tujuannya untuk menyeragamkan struktur mikronya. Kemudian dilakukan pendinginan secara cepat (*Quenching*) dengan tujuan untuk mencegah atom berdifusi membentuk fasa-fasa lain yang tidak diinginkan. Setelah dilakukan proses pendinginan secara cepat (*Quenching*) paduan aluminium dipanaskan kembali. Skema *Age Hardening* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Skema Age Hardening

2.2.1 Tahap Perlakuan Panas Pelarutan (*Solution Heat Treatment*)

Pada T_0 struktur logam adalah α , dengan komposisi C_0 . Kemudian dilakukan pendinginan cepat hingga temperatur T_1 yaitu temperatur ruang sehingga phase β tidak bisa terbentuk. Karena itu kondisi logam adalah tidak setimbang atau *non equilibrium* dimana hanya ada phase α jenuh dengan atom β didalamnya. Sifat bahan adalah lunak dan lemah. Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram fase pemanasan logam paduan
(Sumber : Fuad,2010)

2.2.2 Tahap Pengejutan / Pendinginan (*Quenching*)

Proses *quenching* dilakukan setelah proses *solution heat treatment*. Pendinginan secara cepat (*Quenching*) melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan. Untuk proses *quenching* pada paduan aluminium yaitu menggunakan media pendingin air, karena air merupakan media pendingin yang cocok

untuk paduan logam yang memiliki tingkat kekerasan atau hardenability yang relatif rendah. Kedua adalah komposisi kimia dan hardenability dari logam tersebut. *Hardenability* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses quenching.

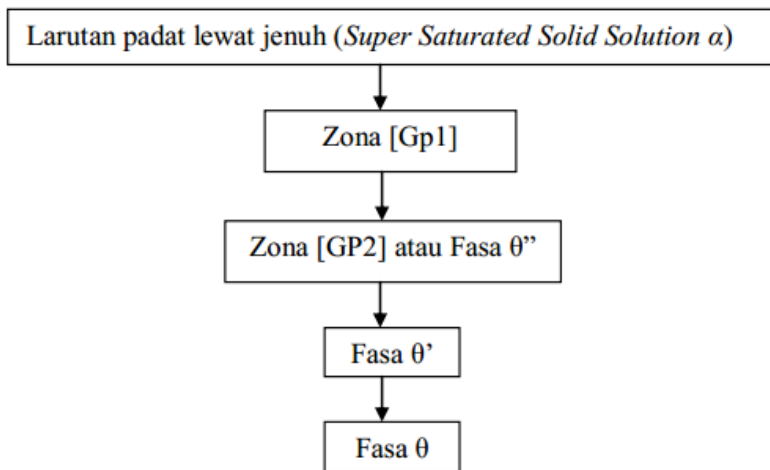
Pendinginan cepat (*Quenching*) dilakukan dari temperatur pemanas pada *solution heat treatment* yaitu 300 °C ke temperatur yang diinginkan yaitu 150 °C. Tujuan utama dari proses pengerasan adalah mencegah atom yang berada didalamnya tidak sempat bergerak atau berdifusi membentuk fasa-fasa lain yang tidak diinginkan. Adapun pada proses *quenching* ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu pendinginan secara terus menerus dan pendinginan yang tidak terus menerus. Berikut ini penjelasannya :

1. Pendinginan tidak menerus
Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda.
2. Pendinginan Terus menerus
Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah.

2.2.3 Tahap Penuaan (*Aging*)

Tahap terakhir dalam proses *age hardening* yaitu penuaan (*Aging*). Penuaan pada paduan aluminium dapat dibedakan menjadi dua variasi, yaitu penuaan alami (*Natural Aging*) dan penuaan buatan (*Artificial Aging*). Penuaan alami (*Natural Aging*) merupakan penuaan yang digunakan pada paduan aluminium yang dilakukan di *age hardening* dalam keadaan dingin dengan temperatur antara 15°C sampai 25 °C serta waktu penahanannya 5 sampai 8 hari. Sedangkan *artificial aging* merupakan penuaan yang digunakan pada paduan aluminium yang dilakukan di *age hardening* dalam keadaan panas dengan temperatur antara 100 °C sampai 200 °C serta waktu penahanannya 1 sampai 24 jam. Salah satu variasi perlakuan yang

dapat mempengaruhi hasil dari proses age hardening yaitu *artificial aging*. Temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150°C) atau di bawah maupun diatas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium dapat digunakan sebagai temperatur *artificial aging*. Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara 100°C - 200°C . Temperatur *artificial aging* antara 100°C sampai 200°C dapat berpengaruh pada tingkat kekerasan, karena pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur. Fasa yang mengalami perubahan akan memberikan sumbangan terhadap penguatan. Berikut ini merupakan Gambar 2.3 diagram urutan perubahan fasa yang terjadi pada proses *artificial aging*.



Gambar 2.3 Diagram Urutan Perubahan Fasa pada Proses Artificial Aging

(Sumber : Smith, 1995)

a. Larutan Padat Lewat Jenuh (*Super Saturated Solid Solution α*)

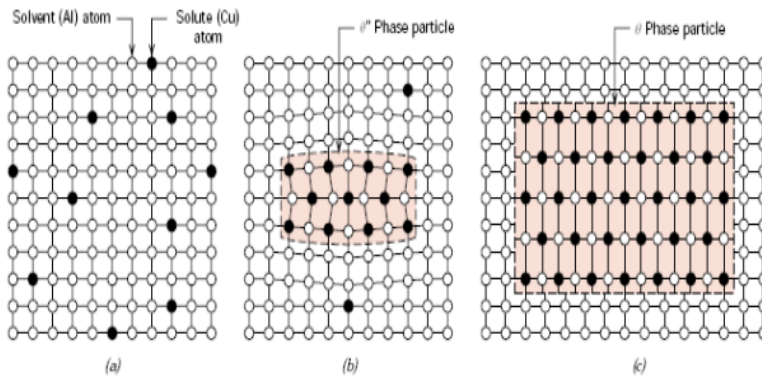
Larutan padat lewat jenuh pada temperatur ruang akan ditemukan pada paduan aluminium yang telah melewati tahap perlakuan panas pelarutan (*Solution Heat Treatment*) dan pendinginan secara cepat (*quenching*). Kondisi yang secara bersamaan akan menghasilkan kekosongan atom dalam keseimbangan termal di temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Logam paduan aluminium akan menjadi lunak dibandingkan dengan kondisi awalnya jika tahap pendinginan cepat atau *quenching* dilakukan.

b. Zona [GP 1]

Zona presipitasi yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau *aging* yang rendah dan dibentuk oleh *segregasi* atom Cu dalam larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution α*) merupakan Zona [GP 1]. Pada tahap awal dari proses *artificial aging*, Zona [GP 1] akan muncul. Zona ini terbentuk ketika temperatur *artificial aging* dibawah 100 °C atau mulai temperatur ruang hingga temperatur 100 °C dan pada temperatur *artificial aging* yang terlalu tinggi Zona [GP 1] tidak akan terbentuk. Kekerasan logam paduan aluminium akan meningkat apabila terbentuknya Zona [GP 1]. Fasa akan berubah sampai terbentuknya Zona [GP 1] apabila *artificial aging* ditetapkan pada temperatur 100 °C. Proses pengerasan dari larutan padat lewat jenuh sampai terbentuknya zona [GP 1] biasa disebut dengan pengerasan tahap pertama .

c. Zona [GP 2] atau Fasa θ''

Zona [GP 2] atau fasa θ'' akan muncul jika temperatur *artificial aging* melewati 100 °C ke atas. Pada temperatur 130 °C akan terbentuk zona [GP2] dan tingkat kekerasan yang optimal didapatkan apabila waktu penahanan *artificial aging*nya. Perubahan fasa dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 (a) *supersaturated solute solution*, (b) fasa θ'' mulai terbentuk *precipitate (Al-Cu)*, (c) fasa keseimbangan θ Al-Cu .

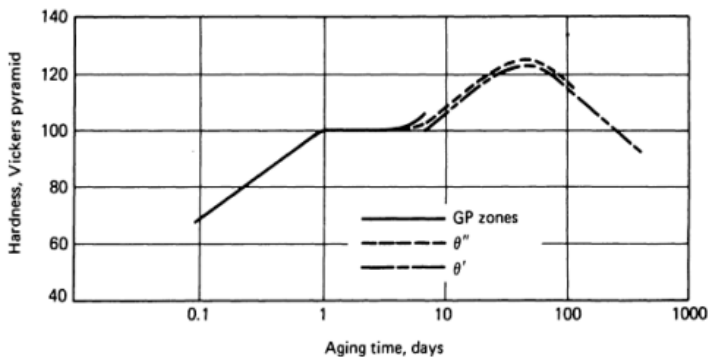
Ketika sampai terbentuknya zona [GP 2], biasanya proses *artificial aging* berhenti ketika sampai terbentuknya zona [GP 2]. Hal itu disebabkan karena paduan aluminium akan kembali menjadi lunak setelah melewati zona [GP 2]. Apabila proses *artificial aging* dilakukan sampai terbentuknya fasa θ'' atau zona [GP 2], maka disebut dengan pengerasan tahap kedua. Pada Gambar 2.4 menjelaskan fasa keseimbangan yang terbentuk pada proses *aging* aluminium-tembaga (Al-Cu) menyebabkan paduan aluminium akan kembali ke fasa θ .

d. Fasa θ'

Dengan menaikkan temperatur *aging* atau waktu tahan pada *aging* tetapi temperaturnya tetap akan menyebabkan terbentuknya presipitasi dengan struktur kristal yang teratur namun berbeda dengan fasa θ . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa θ' . Dengan terbentuknya fasa θ' ini peningkatan kekerasan pada paduan aluminium masih dapat diterima, namun pada peningkatan kekerasan yang terjadi akan berjalan sangat lambat.

e. Fasa θ

Jika temperatur *aging* atau waktu tahan pada *aging* tetapi temperaturnya dibuat tetap akan menyebabkan perubahan fasa dari fasa θ' berubah menjadi fasa θ . Fasa yang telah berubah menjadi fasa θ akan mengubah sifat paduan aluminium menjadi lunak. Sedangkan hasil dari proses *age hardening* dapat dipengaruhi oleh waktu penahan dalam tahap *artificial aging*. Sama seperti temperatur, waktu penahanan pada tahap *artificial aging* dapat mempengaruhi perubahan struktur atau perubahan fasa pada paduan aluminium, maka dari itu pada saat *artificial aging* harus hati-hati saat pemilihan waktu penahanannya. Waktu penahanan saat *aging* dengan kekerasan paduan aluminium memiliki hubungan yang diawali pada proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *age hardening* atau *precipitation hardening*. Seiring dengan bertambahnya waktu tahan pada *aging* maka paduan aluminium akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru. Grafik hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Hubungan Antara Lamanya Waktu (*aging*) Dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium
(Sumber : Smith, 1995)

Pada grafik penuaan di gambar 2.5, tahap awal pada *artificial aging* fasa yang terjadi masih berupa larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*). Dengan penambahan waktu tahan pada *aging* maka sudah memasuki daerah *under aged*. Pada daerah *under aged* mulai terbentuk zona [GP 1] serta paduan aluminium akan menjadi sedikit kuat dan keras. Apabila waktu tahan pada *aging* ditambahkan maka akan memasuki daerah *peak aged*. Didalam daerah ini presipitat akan mengumpul bahkan mulai terbentuk zona [GP 2] serta akan muncul fasa θ'' . Dengan munculnya fasa θ'' , peningkatan kekerasan pada paduan aluminium akan menjadi optimal. Jika waktu tahan pada *aging* ditambahkan lagi setelah mencapai daerah *peak aged* maka akan masuk dalam daerah *over aged*. Fasa yang akan didapatkan pada daerah *over aged* ini yaitu fasa θ . Apabila fasa ini telah terbentuk akan menyebabkan lunak dan berkurang kekerasannya pada paduan aluminium.

2.3 Pengujian Mekanik

Pengujian dilakukan guna mengetahui atau mengukur sifat logam paduan. Pada pengujian, biasanya dilakukan pada contoh bahan yang telah disiapkan menjadi spesimen atau batang uji ukuran dan bentuk yang sesuai dengan standarnya. Selain ukuran dan bentuk yang sesuai standart, prosedurnya juga harus dilakukan dengan cara sesuai SOP (*Standard Operating Procedure*), setelah itu didapatkan hasil pengukuran pada pengujian yang selanjutnya diambil kesimpulan mengenai pengujian tersebut. Dengan pengujian yang dilakukan terhadap benda uji atau keseluruhan bentuk dan ukuran sebenarnya (*full scale*) serta pengujian yang dilakukan dengan pembebanan yang mendekati keadaan yang sebenarnya dapat diperoleh untuk hasil pengujian yang paling mendekati kenyataan. Namun dengan cara ini hasil pengujiannya terkadang sulit dianalisis serta tidak praktis.

Pengujian mekanik yang sering dilakukan yaitu pengujian tarik (*tensile test*), pengujian pukul-takik (*impact test*), pengujian kekerasan (*hardness test*), serta terkadang dilakukan juga pengujian kelelahan

(*fatigue test*), pengujian lengkung (*bending test*), dan beberapa *fabrication test*.

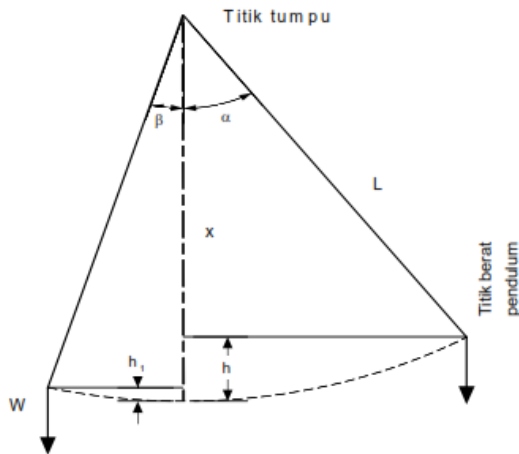
2.3.1 Uji Impak

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba.

Pada uji impak terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Dasar pengujiannya yakni penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami *deformasi*. Pada pengujian impak ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut.

Pada uji impak, yang memegang peranan penting terhadap kekuatan impak pada benda uji yaitu takik. Bentuk takik yang digunakan dan dua buah luas penampang mempunyai pengaruh pada hasil kekuatan impak. Dengan adanya takikan pada benda kerja yang berbentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan pengelasan atau korosi lokal yang salah seperti diskontinuitas dapat bersifat sebagai pemusat tegangan (*stress concentration*). Brittle material yang menjadi patah pada beban dibawah *yield strength* merupakan penyebab pusat tegangan (*stress concentration*).

Energi yang digunakan untuk mematahkan benda uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan benda uji yaitu dari kekuatan impact itu sendiri. Energi yang digunakan untuk mematahkan benda uji dapat dihitung dari berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan sesudah pengujian, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6 ayunan pendulum pada alat uji impact berikut.



Gambar 2.6 Ayunan Pendulum Alat Uji Impact

Energi yang dipakai untuk mematahkan test piece dapat dihitung dengan penurunan rumus sebagai berikut:

$$\text{Energi awal } (E_0) = W h_0 = W (L - L \cdot \cos \alpha) \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{Energi akhir } (E_1) = W h_1 = W (L - L \cdot \cos \beta) \quad \dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (1) dan persamaan (2)

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = (W (L - L \cdot \cos \alpha)) - (W (L - L \cdot \cos \beta))$$

$$\Delta E = W.L(\cos\beta - \cos\alpha) \quad \dots\dots (3)$$

Nilai kekuatan impak didapatkan dengan cara ΔE (Joule) dibagi dengan luas penampang benda kerja dibagian yang patah (mm^2).

$$IS = \frac{W.L(\cos\beta - \cos\alpha)}{A}$$

Dimana:

W = Berat dari pendulum (kgm)

h_0 = Ketinggian pendulum sebelum diayunkan (m)

h_1 = Ketinggian pendulum setelah keadaan patah (m)

α = Sudut awal ($^\circ$)

β = Sudut akhir ($^\circ$)

L = Jarak titik tumpu ke titik berat (m).

A = Luas penampang test piece bagian yang tertakik (mm^2).

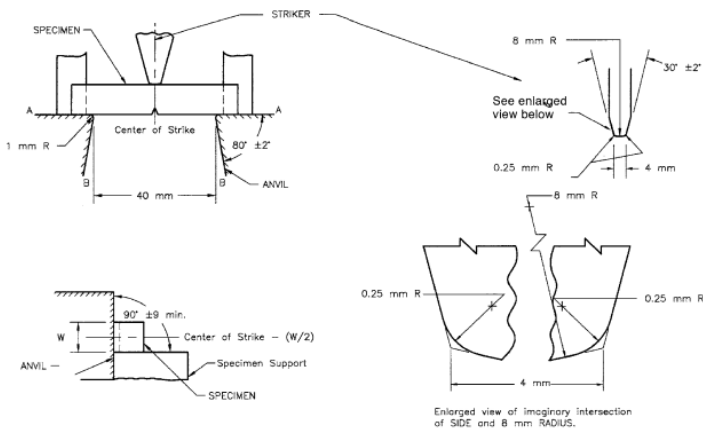
IS = Kekuatan Impak (kgm/mm^2) atau (Joule)

2.3.1.1 Uji Impak Metode Izod

Metode uji Izod lazim digunakan di Inggris dan Eropa, Benda uji Izod mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran dengan takik V di dekat ujung yang dijepit, kemudian uji impak dengan metode ini umumnya juga dilakukan hanya pada temperatur ruang. Benda dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Untuk melakukan pengujian impak metode izod ini benda harus diatur dengan benar pada posisinya. Dengan penempatan benda yang benar pada posisinya menghasilkan bagian tengah dari takikan bertemu permukaan atas pencekam serta penyimpangan pada bidang takikan ke permukaan atas pencekam harus kecil ($\pm 0.4\text{mm}$)

2.3.1.2 Uji Impak Metode Charpy

Benda uji Charpy banyak digunakan di Amerika Serikat, benda uji charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar (10×10 mm) dan memiliki takik (notch) berbentuk V dengan sudut 45° , dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang bertakik diberi beban impak dari ayunan bandul, Serangkaian uji Charpy pada satu material umumnya dilakukan pada berbagai temperature sebagai upaya untuk mengetahui temperatur transisi. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur energi yang diserap dalam takikan yang patah pada benda uji oleh satu pukulan dari pemukul yang dibawa oleh pendulum takikan benda uji berada ditengah-tengah dan dicekam pada setiap ujungnya. Benda uji dicekam secara horizontal pada setiap ujung-ujung benda uji. Pengujian impak dengan metode charpy ini dapat dilakukan apabila benda kerja harus diatur secara presisi agar bagian takikan bertemu tengah-tengah dari pemukul agar mendapatkan hasil yang diinginkan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut



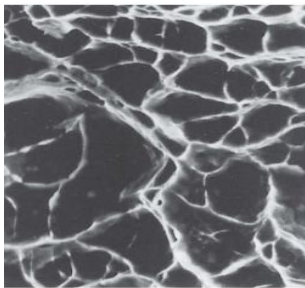
Gambar 2.7 Pemukulan Pada Metode Charpy

2.3.1.3 Macam-Macam Patahan

Patahan pada benda uji dapat digolongkan sebagai *brittle* atau *ductile fracture*. Benda uji dapat dikatakan mengalami patahan secara *brittle* apabila material mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis. Sedangkan material yang mengalami kepatahan didahului deformasi plastis dapat dikatakan mengalami *ductile fracture*. Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai *brittle* atau *ductile fracture*. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*, sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami *ductile fracture*. Material yang hanya mampu menahan energi yang kecil sebelum mengalami patahan adalah material yang mengalami *brittle fracture*. Patahan yang terjadi akibat pengujian impak ini ada 3 macam antara lain :

1. Patahan ulet (*ductile*)

Ciri-ciri patahan ulet ini adalah mempunyai permukaan patahan yang tidak merata, buram, dan berserat serta mempunyai nilai pukulan takik yang tinggi. Hal tersebut dapat dijelaskan pada gambar scan elektron pada Gambar 2.8 berikut ini.

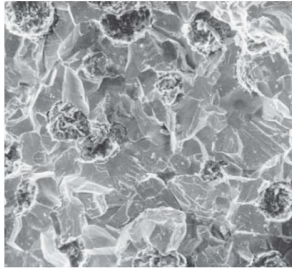


Gambar 2.8 Hasil Scan Elektron Patahan Ductile

2. Patahan getas (*brittle*)

Pada patahan getas ini memiliki ciri-ciri bentuk yang rata serta mempunyai permukaan yang mengkilap serta memiliki nilai pukulan takik yang rendah dibandingkan nilai pukulan pada

patahan ulet (*ductile*). Hal tersebut dapat dilihat dari gambar scan elektron Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 Hasil Scan Elektron Patahan Brittle

2.3.2 Uji Metalografi

Pengujian metalografi adalah suatu teknik atau ilmu untuk melihat struktur mikro dan makro material. Struktur mikro logam dapat diperoleh melalui proses penyiapan spesimen metalografi. Dengan tujuan untuk menganalisa struktur, mengenali fasa-fasa dalam struktur mikro, berdasarkan skala makro maupun skala mikro. Dibutuhkan mikroskop dengan perbesaran yang tinggi sampai 1000 kali agar dapat melihat struktur mikro suatu paduan (material). Gambar atau konfigurasi distribusi fase-fase struktur mikro apabila diamati dengan menggunakan mikroskop optic akan dapat dipelajari seperti :

- Type Fase
Pada type fase memiliki nama khas pada logam tertentu misalnya pada besi dapat berupa ferrit, perlit, eutectoid dan sebagainya.
- Ukuran butiran
Memiliki ciri-ciri dimensi dari fase dibandingkan dengan dimensi lainnya seperti ukuran grafit dan ukuran butiran.

- Distribusi

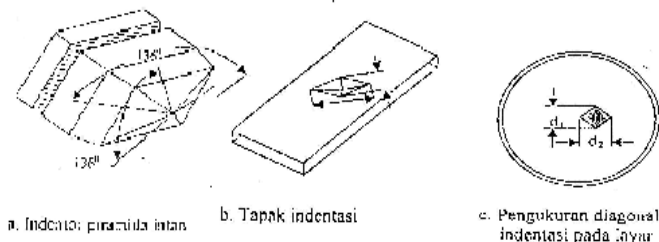
Pada distribusi yang menjadi pengamatan dalam sample tersebut yaitu daerah penyebarang masing-masing fase diantara luasan.

Melalui pengujian metalografi maka dapat dilihat dan dianalisa struktur mikronya kemudian dapat dikaitkan dengan sifat material tersebut. Pembentukan struktur mikro erat kaitannya dengan proses pembuatan material tersebut, meliputi pemberian paduan dan perlakuan lanjut seperti perlakuan panas .

2.3.3 Uji Kekerasan Vickers

Yang membedakan metode pengujian kekerasan *Vickers* dengan *Brinell* hanya pada indentornya saja yang berbeda. Pada kekerasan metode *Vickers* ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Spesimen harus memiliki permukaan yang rata dan halus agar dapat ditumpu dengan baik dan permukaan horisontal.
2. Pada kekerasan metode *Vickers* indentor yang digunakan adalah *pyramid* intan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136° . Metode pengujian *Vickers* dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Metode pengujian kekerasan *Vicker*

3. Semua beban dapat digunakan untuk dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* ini, kecuali pelat yang tipis. Agar tidak terjadi *anvile effect*, pelat yang tipis harus digunakan beban yang ringan.
4. Pada SOP (*Standard Operating Procedure*) untuk pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan indenter ke permukaan spesimen antara 10-30 detik.
5. Satuan DPH (*Vickers Diamond Pyramid Hardness*) digunakan untuk nilai kekerasan pengujian kekerasan metode ini yang dihitung berdasarkan diagonal indentasi dengan persamaan sebagai berikut :

$$DPH = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

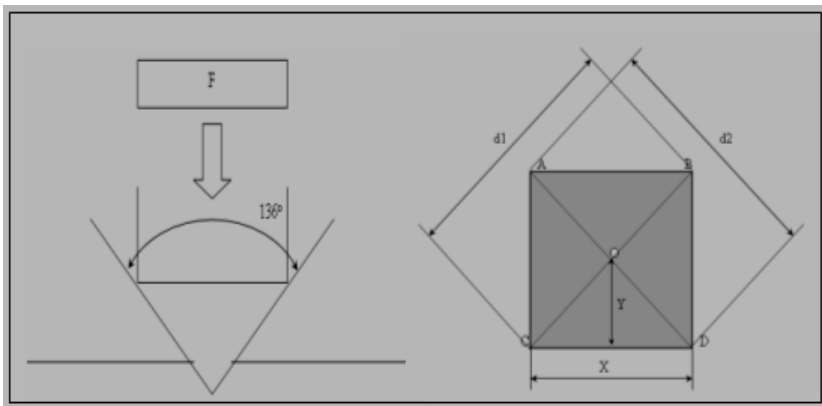
$$= 1.854 P/d^2$$

Dimana: P = Gaya tekan (kgf)

d = diagonal indentasi (mm)

$\alpha = 136^\circ$

Persamaan ini didapatkan dari Gambar 2.11 berikut :



Gambar 2.11 Hasil tapak tekan pengujian *Vickers* .

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$X = d \cos 45^\circ$$

$$= \frac{1}{2} d \sqrt{2}$$

$$Y = \frac{1}{2} X / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{2} d \sqrt{2} \right) / \cos 22^\circ$$

$$L \Delta AOB = \frac{1}{2} X \cdot Y$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \right) / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{8} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$A = 4 \cdot L \Delta AOB$$

$$= 4 \cdot \left(\frac{1}{8} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{2} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$HVN = \frac{P}{A}$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

6. Contoh penulisan nilai kekerasan dengan metode *vickers* seperti berikut : 150 DPH 150/10

Dimana: 150 = Nilai Kekerasan

DPH = Metode Pengujian *Vickers*

150 = Gaya Pembebanan (kgf)

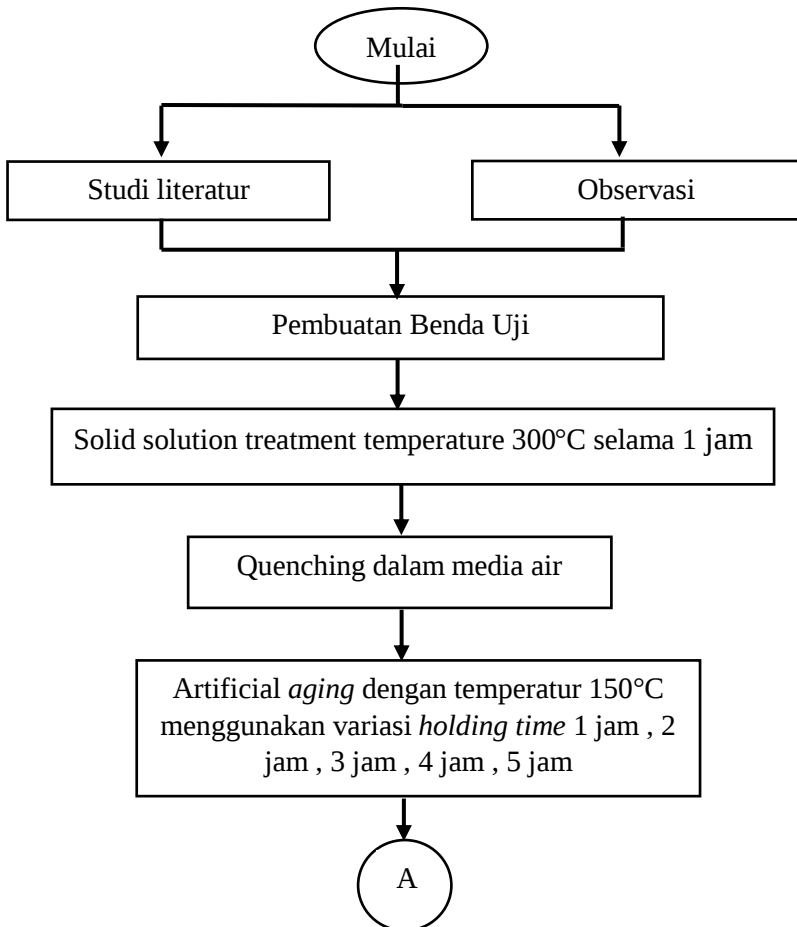
10 = Waktu Pembebanan (detik)

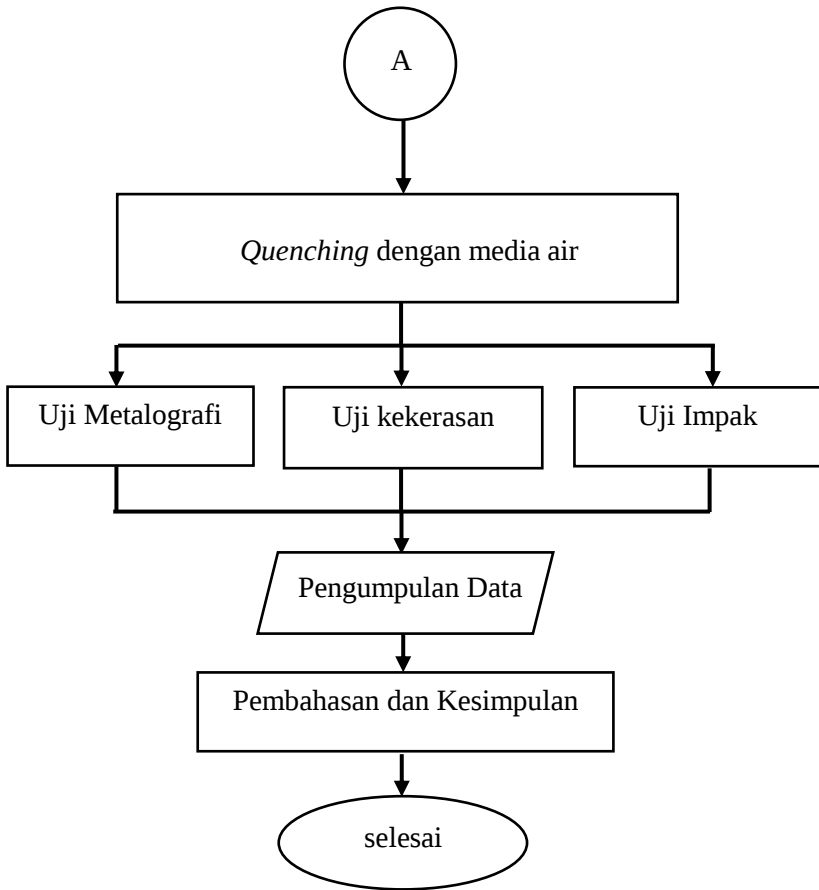
Kesalahan ukur pada pengujian kekerasan metode *Vickers* dapat terjadi karena pada pengukurannya dilakukan secara manual. Hal tersebut mungkin dapat terjadi pada saat pemfokusan objek pada layar, peletakan alat ukur pada objek dan pembacaan pengukurannya.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam pembuatan tugas akhir ini, pengerjaannya sesuai dengan flowchart. Dapat dilihat pada Gambar 3.1 diagram alir dibawah ini.





Gambar 3.1 Diagram Alir Dalam Pembuatan Tugas Akhir

Berikut beberapa penjelasan dari Gambar 3.1 diagram alir dalam pembuatan tugas akhir ini.

Studi Literatur

Pada proses studi *literatur* ini dilakukan untuk mencari jurnal atau refrensi mengenai aluminium seri 6061 serta teori setiap

pengujian pada aluminium tersebut agar dapat memudahkan untuk menyusun pembuatan tugas akhir ini.

Observasi

Mensurvey tempat penjualan aluminium yang memiliki sertifikat dan alat-alat yang akan dipakai untuk melakukan pengujian pada tugas akhir ini.

Pembuatan Benda Uji

Apabila benda uji yang digunakan sudah siap untuk dipotong, maka dilakukan pemotongan benda uji sesuai dengan ukuran dan bentuk yang telah ditentukan.

***Solid Solution Treatment* pada Temperatur 300°C Selama 1 Jam**

Setelah semua benda uji telah dipotong dan siap untuk dilakukan pengujian, maka tahap pertama yang dilakukan untuk melakukan pengujian yang telah ditentukan yaitu *solid solution treatment* pada temperatur 300°C dengan waktu tahan 1 jam.

Pendinginan Secara Cepat (*Quenching*) pada Media Air

Pada pendinginan secara cepat atau *quenching* yang menggunakan media air karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk paduan logam yang memiliki tingkat kekerasan atau hardenability yang relatif rendah.

Artificial Aging dengan Temperatur 150°C

Apabila telah dilakukan pendinginan secara cepat atau *quenching*, maka dilakukan proses *artificial aging* dengan temperatur 150°C menggunakan variasi *holding time* 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Setiap variasi *holding time* menggunakan literasi 3 bahan uji.

Pengujian Metalografi, Kekerasan, Serta Impak

Sebelum dilakukan pengujian yang telah ditentukan, maka setelah dilakukan *artificial aging* dilakukan pendinginan secara cepat pada media air juga. Pengujian yang digunakan dilakukan sesuai dengan SOP (*Standard Operating Procedure*).

Pengumpulan Data

Setelah semua pengujian selesai, data yang didapatkan dikumpulkan untuk diambil analisa serta pembahasannya guna menyelesaikan tugas akhir ini.

3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah material paduan aluminium AA 6061 yang memiliki komposisi seperti Tabel 3.1 dan 3.2 berikut. Untuk sertifikat aluminium AA 6061 disajikan pada lampiran.

Table 3.1 Chemical composition % of AA 6061

Element	Zn	Mg	Ce	Cr	Mn	Fe	Si	Ti
Contents	0.05	1.0	0.19	0.15	0.06	0.2	0.64	0.07

Table 3.2 Mechanical Properties of AA 6061

Tensile Strength ksi		Yield Strength ksi		Elongation %		Harness HB
Min	Max	Min	Max	Min	Max	-
45.7	45.7	42.1	42.6	13.0	13.0	100.00

3.3 Benda Uji

3.3.1 Benda Uji Metalografi

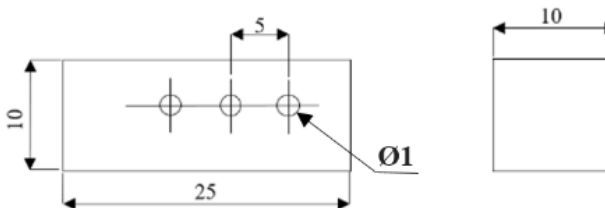
Standart yang digunakan pada pengujian kekerasan ini sama dengan standart pengujian kekerasan yaitu ASTM E3-95. Namun tidak ada sisi yang digunakan untuk dibuat titik. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Dimensi Benda Uji Metalografi

3.3.2 Benda Uji Kekerasan

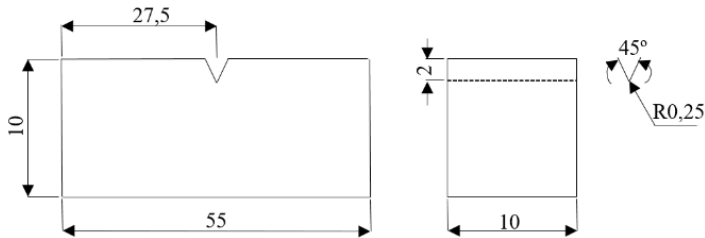
Standart ASTM E3-95 merupakan standart yang digunakan pada pengujian kekerasan ini. Dimensi yang digunakan pada standart ini memiliki dimensi 25mm x 10mm x 10mm. Dan pada salah satu sisi digunakan titik yang dimana pada titik pertama ke titik kedua berjarak 5mm. Ukuran lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Dimensi Benda Kerja Uji Kekerasan

3.3.3 Benda Uji Impak

Pada pengujian impact, ukuran benda uji yang digunakan sesuai dengan standart ASTM E23 – 07a yang merujuk pada ASTM E23 dengan dimensi 55mm x 10mm x 10mm serta pada takikan memiliki dimensi dalam takikan 2mm , jari-jari takikan 0.25mm dan sudut takikannya 45 ° . Dimensi lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

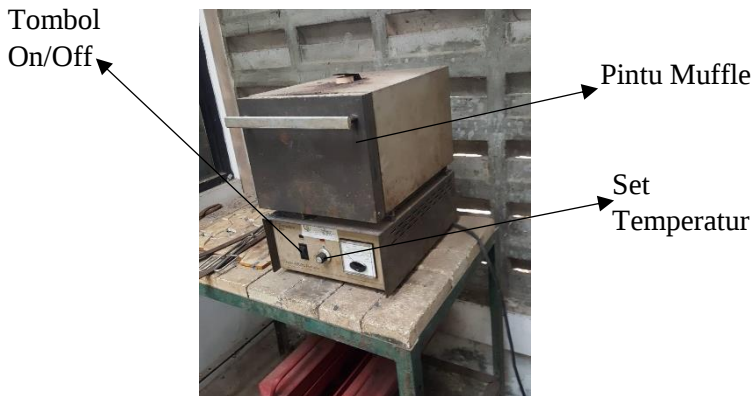


Gambar 3.4 Dimensi Benda Uji Impak

3.4 Alat yang Digunakan

3.4.1 Dapur Pemanas

Untuk melakukan *solution treatment temperature* dan proses *artificial aging* dilakukan pada dapur pemanas. Dapur pemanas yang digunakan adalah *Thermolyne type 48000 furnace*. Penggunaan *Thermolyne type 48000 furnace* ini yaitu buka nyalakan *thermolyne* dengan mencolokkan saklar pada stopkontak, lalu nyalakan tombol on pada *thermolyne*, apabila sudah mencapai temperatur yang diinginkan lalu masukkan benda yang ingin diuji. Untuk penjelasan lebih lengkap lihat Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Dapur Pemanas

3.4.2 Mesin Grinding dan Polishing

Mesin ini terdapat 2 bagian yang fungsinya berbeda, yaitu grinding dan polishing. Mesin grinding berfungsi untuk meratakan benda uji agar pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan dapat dimudahkan. Untuk mendapatkan permukaan benda uji yang mengkilap maka dilakukan pada mesin polishing. Mesin ini digunakan dengan cara putar tombol kekanan (*on*), lalu kedua piringan yang berbeda fungsinya berputar. Lakukan proses yang diinginkan sesuai dengan piringan yang dibutuhkan. Bagian pada mesin grinding dan polishing dapat dilihat dari Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Mesin Grinding dan Polishing

3.4.3 Peralatan Etsa

Pada pengetsan dilakukan setelah benda uji sudah dilakukan proses grinding dan proses polishing sehingga material untuk dilakukan pengujian menjadi kilap. Pengetsan dilakukan menggunakan sampel larutan etsa (HF 10ml, HNO_3 1ml, H_2O). Pengetsan dilakukan dengan cara specimen dicelupkan ke dalam cairan alkohol ± 15 detik. Setelah dicelupkan ke dalam cairan alkohol, salah satu permukaan pada spesimen dicelupkan kedalam cairan etsa selama 10 sampai 20 detik. Basuhlah dengan alkohol agar dapat langsung dikeringkan dengan udara panas.

3.4.4 Mesin Uji Impak

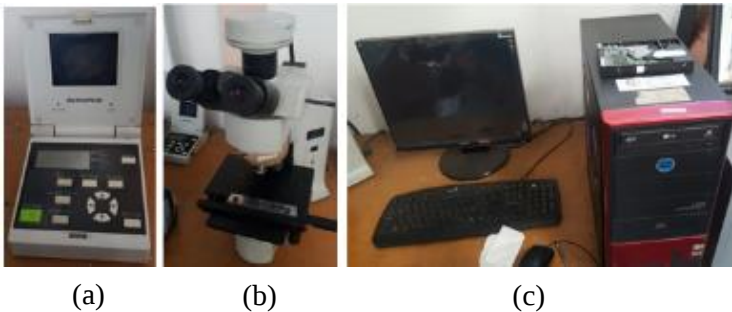
Pada pengujian impak yang akan dilakukan menggunakan Mesin Impak Charpy Tipe HT-8041A yang memiliki standart ASTM A370-07a yang merujuk pada standart ASTM E23. Gambar 3.7 menunjukkan alat yang digunakan untuk pengujian impak ini.



Gambar 3.7 Alat Uji Impak

3.4.5 Peralatan Uji Metalografi

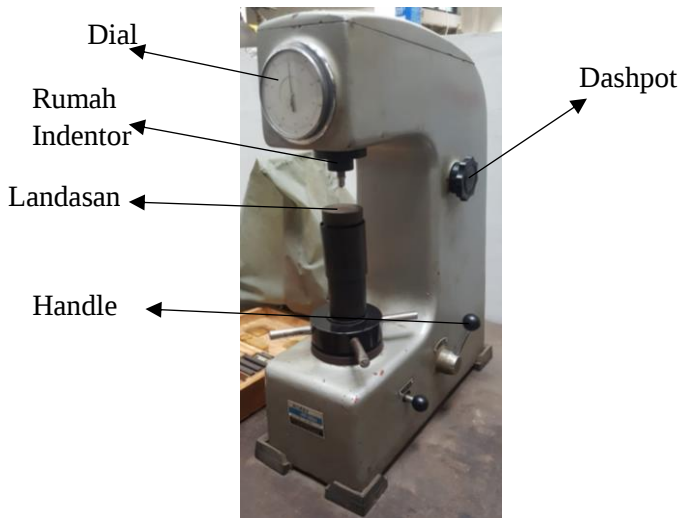
Pengujian metalografi pada paduan aluminium dibutuhkan mikroskop dengan perbesaran yang tinggi, seperti sampai 1000 kali agar dapat melihat struktur pada paduan aluminium yang telah dilakukan proses artifical *aging* sampai pengetsaan. Mikroskop yang digunakan pada pengujian metalografi dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 a.Olympus Video, b.Mikroskop Uji Metalografi, c.Komputer

3.4.6 Mesin Uji Kekerasan

Untuk melakukan pengujian kekerasan dengan metode *vickers* menggunakan mesin *hardenability test* yang menggunakan acuan standart uji kekerasan yaitu ASTM E 92 – 82. Pada pengujian kekerasan dengan metode *vickers* ini menggunakan indenter intan yang berbentuk pyramid empat sisi terbalik yang memiliki sudut apex 136° serta beban yang digunakan sebesar 100kg. Setiap benda uji untuk kekerasan dilakukan identasi sebanyak 3 kali ditempat yang berbeda pada 1 sisi. Dapat dilihat pada Gambar 3.9 merupakan alat yang digunakan untuk melakukan uji kekerasan.



Gambar 3.9 Alat Uji Kekerasan

3.5 Langkah-langkah Percobaan

3.5.1 Langkah Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Tahap pertama yang dilakukan setelah dibentuknya spesimen sesuai dengan masing-masing pengujian yaitu dilakukan

proses *solution treatment* pada semua spesimen dengan temperatur 300°C dan waktu tahan selama 1 jam. Setelah dilakukan proses *solution treatment* pada semua spesimen, maka tahap selanjutnya yaitu semua spesimen yang telah di proses *solution treatment* dilakukan pendinginan secara cepat (*quenching*) pada media air. Tahap terakhir yaitu semua spesimen diberikan *artificial aging* dengan variasi waktu tahan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dengan temperatur tetap yaitu 150°C. Berikut merupakan langkah-langkah pengujiannya:

1. Benda kerja dimasukkan ke dalam oven pemanas dengan temperatur 300°C dan diberi waktu penahanan 1 jam.
2. Apabila waktu penahanan sudah mencapai 1 jam, benda kerja dikeluarkan dari oven menggunakan tang penjepit lalu didinginkan dengan media pendingin berupa air.
3. Biarkan benda kerja sampai dingin pada air.
4. Setelah benda kerja sudah melewati tahap *solution heat treatment* dan *quenching* lalu dilakukan proses *artificial aging* dengan cara memasukkan benda kerja ke dalam oven pemanas dengan temperatur 150° dan diberi waktu penahanan 1 jam.
5. Apabila sudah dilakukan proses *artificial aging* maka benda kerja dikeluarkan dari oven menggunakan tang penjepit lalu didinginkan kembali sebelum dilakukan pengujian yang sudah ditentukan
6. Setelah benda kerja telah didapat perlakuan *artificial aging* kemudian benda kerja di uji kekerasan, uji impak, uji metalografi.
7. Sebelum pengujian metalografi, benda kerja diampas pada mesin grinding sampai salah satu permukaan spesimen rata.
8. Lalu dilakukan polishing menggunakan autosol dan digosok dengan kain halus pada mesin polishing.

9. Lakukan langka 1 sampai 8 dengan mengubah variasi waktu penahanan pada proses *artificial aging* selama 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam.

3.5.2 Langkah Pengujian Impak

Tujuan dari dilakukannya pengujian ini yaitu untuk mengetahui nilai kekerasan dan kekuatan impak pada benda uji sebelum diberi perlakuan panas dan setelah diberi perlakuan panas. Langkah-langkah yang dapat digunakan yaitu :

1. Spesimen dibersihkan dari sisa kerak yang terjadi pada perlakuan panas.
2. Setiap spesimen yang berbeda waktu penahanannya diberi tanda agar data yang akan diambil tidak tertukar.
3. Sebelum dilakukan pengujiannya, catat data pada mesin uji impak terlebih dahulu.
4. Karena menggunakan metode *charpy* letakkan benda kerja posisi horizontal pada penumpu dengan takikan yang tepat berada pada tengah-tengah, bagian bertakik diletakkan disebelah dalam sehingga bandul akan memukul benda uji pada sisi yang berlawanan dengan sisi spesimen yang bertakik.
5. Pendulum dinaikkan setinggi h atau sebesar sudut 140° .
6. Atur posisi jarum penunjuk skala pada posisi nol.
7. Pendulum dilepas sehingga memukul spesimen uji.
8. Tarik tuas rem untuk memperlambat ayunan pendulum sampai berhenti.
9. Data sudut β dari mesin dicatat untuk dimasukkan kedalam tabel.
10. Mengambil spesimen yang telah diuji lalu amati penampang patahan spesimen.

3.5.3 Langkah Pengujian Metalografi

Melalui pengujian metalografi maka dapat dilihat dan dianalisa struktur mikro benda uji sebelum dan sesudah diberi

perlakuan panas, kemudian dapat dikaitkan dengan sifat material tersebut. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Menyalakan komputer terlebih dahulu, agar data struktur mikro dapat langsung tersimpan pada komputer tersebut.
- b. Memeriksa kabel konektor (USB) yang menghubungkan antara mikroskop dengan komputer agar data dapat disimpan dengan baik.
- c. Sebelum menyalakan mikroskop, periksa *control box (olympus video)* sudah menyala atau belum. Apabila belum menyala, tekan tombol power pada *control box*.
- d. Tekan tombol power pada mikroskop agar mikroskop menyala.
- e. Periksa kembali koneksi antara komputer dan mikroskop pada koneksi di komputer. Apabila belum terkoneksi, aktifkan *add hardware* pada *control panel* di komputer sampai terdengar bunyi “ding-ding” pada komputer. Namun apabila masih belum terkoneksi periksa kembali kabel konektor dan bersihkan *port usb* pada mikroskop dan komputer sampai terkoneksi.
- f. Ambil gambar struktur mikro yang terlihat pada *olympus video* atau bisa juga pada mikroskop dengan cara menekan tombol *expose* pada *olympus video* dan biarkan sampai proses tersebut selesai.
- g. Lakukan pengambilan gambar sesuai yang dibutuhkan.
- h. Agar gambar yang diinginkan dapat ditransfer pada komputer, tekanlah ikon OLYP 12 pada *desktop* komputer lalu buka folder *My Camera* dan klik kiri *mouse* pada folder DCIM diteruskan dengan membuka folder 100 OLYP. Gambar yang tertera pada *software* tersebut akan membuka sampai semua gambar terbuka.

- i. Simpan gambar yang sudah ditransfer ke komputer dengan cara *drag* gambar yang sudah didapat menuju tempat folder yang diinginkan pada komputer atau folder pada *flashdisk* untuk menyimpan gambar struktur mikro tersebut.
- j. Apabila semua proses selesai dan data sudah didapatkan , mikroskop dan *olympus video* dimatikan terlebih dahulu dengan cara menekan power mikroskop dan *olympus video*. Lalu cabut stopkontak pada kedua alat tersebut.
- k. Matikan komputer jika sudah tidak ada pengerjaan lagi.
- l. Amati struktur mikro dari hasil perbesaran dengan mikroskop.

3.5.4 Langkah Pengujian kekerasan

Tujuan dari pengujian kekerasan yang menggunakan metode *vickers* ini untuk mengetahui nilai kekerasan dari benda uji setelah diberi perlakuan panas sesuai dengan variasi yang ditentukan. Untuk melakukan pengujian ini, langkah-langkah sebagai berikut :

1. Spesimen harus memiliki permukaan yang rata dan halus agar dapat ditumpu dengan baik dan permukaan horisontal.
2. Pada kekerasan metode *Vickers* indenter yang digunakan adalah *pyramid* intan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136°
3. Memasang indenter pada pemegang indenter.
4. Beban diatur pada pembebanan 100 kg.
5. Putarlah *handwheel* untuk mengangkat landasan dengan perlahan untuk menaikkan *penetrator* sampai penunjuk kecilnya berada pada tanda merah dan penunjuk besarnya berputar tiga kali dan berhentilah dengan arah *vertical*.
6. Putarlah kerangka luar dari indikator untuk mendapatkan garis panjang tertulis sejajar dengan penunjuk besar.(diperbolehkan memutar searah jarum jam atau berlawanan jarum jam).
7. Tariklah handle untuk mengaplikasikan gaya uji utama, pada saat itu penunjuk besar dari indikator berputar berlawanan dengan arah jarum jam.

8. Tahan selama 10 sampai 30 detik.
9. Ketika penunjuk indicator berhenti, doronglah handle pelepasnya dengan perlahan untuk melepaskan gaya uji utamanya.
10. Putarlah *handwheel* untuk menurunkan dan mengambil benda uji dan ulangi menurut prosedur nomor 5 sampai 9 untuk mendapatkan 3 identasi pada 1 spesimen

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Impak Aluminium 6061 Hasil Proses *Aging*

Proses *aging* dilakukan pada aluminium 6061 sebelum di uji impact. Variabel yang diubah adalah waktu tahan (*holding time*) dan temperatur dibuat tetap yaitu 150°C. Tujuan uji impact ini untuk mengetahui pengaruh variasi waktu tahan terhadap energi impact dan kekuatan impact. Pada Pengujian impact ini dilakukan dengan menggunakan mesin impact *charpy* tipe HT-8041A. Ada pun data yang digunakan untuk uji impact aluminium 6061 ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

Table 4.1 Data yang Digunakan untuk Uji Impact

Data Uji Impact Aluminium 6061	
Mesin uji	Mesin uji impact <i>charpy</i>
Berat Pendulum (W)	131.7 N
Jarak titik berat dari pendulum ke sumbu putar 0 (L)	0.60 m
Sudut awal (α)	140°
Sudut akhir (β)	Dari uji Impact (°)
Luas penampang patahan (A)	Dari uji impact (mm ²)

4.1.1 Data Uji Impact Aluminium 6061 Hasil Proses *Aging*

Setelah benda kerja diberikan proses *aging*, kemudian benda kerja di uji impact untuk mengetahui berapa energi impact dan

kekuatan impaknya. Adapun data yang diperoleh dari hasil uji impact ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Impact Material *Aging* pada Temperatur 150°C dan Variasi *Holding Time* 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam

Holding Time	Spesimen	Sudut	A	Pengujian Setelah di Quenching di air	
				E (Joule)	IS (Joule/mm ²)
1 jam	1	120	80	20,61	0,25
	2	122	80	18,28	0,22
	3	125	80	14,9	0,01
Rata-rata				17,83	0,21
2 jam	1	118	80	22,93	0,28
	2	116	80	25,28	0,31
	3	116	80	25,28	0,31
Rata-rata				24,5	0,3
3 jam	1	111	80	31,55	0,39
	2	114	80	27,84	0,34
	3	112	80	30,33	0,37
Rata-rata				29,89	0,36
4 jam	1	102	80	43,21	0,53
	2	101	80	44,49	0,54
	3	99	80	47,13	0,58
Rata-rata				44,98	0,55
5 jam	1	83	50	68,69	1,37
	2	85	60	66,05	1,07
	3	81	60	71,34	1,17
Rata-rata				68,69	1,21

Keterangan

E = Energi Impact

IS = Kekuatan Impact

Dari tabel diatas didapatkan nilai rata-rata energi impak dan kekuatan impak dari hasil uji impak benda kerja yang telah diberi proses *aging* pada suhu 150°C dan waktu tahan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam. Hasil dari pengujian impak didapat data berupa sudut (β) yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui energi impak dan kekuatan impak. Detail spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.1 serta nilai rata-rata energi impak dan kekuatan impak ditunjukkan melalui Gambar Grafik 4.2 dan Gambar 4.3 berikut

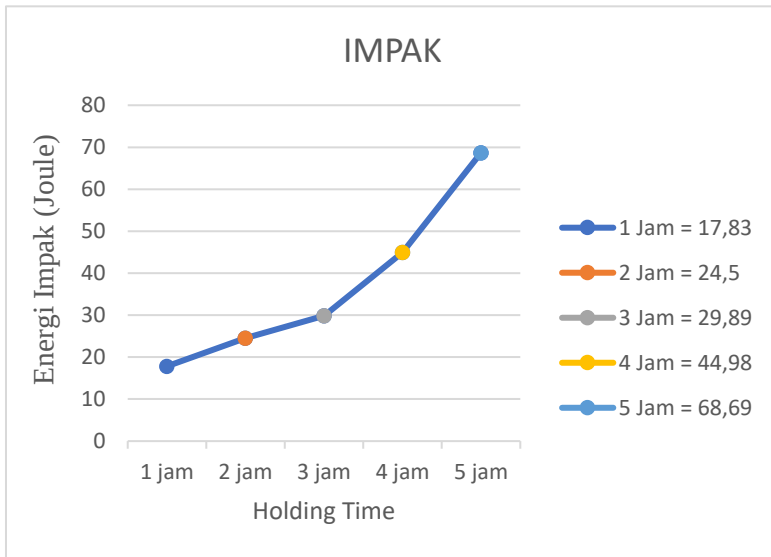


(a)

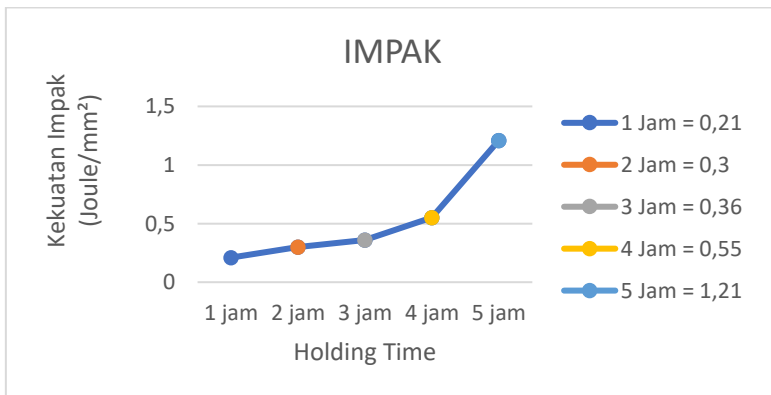


(b)

Gambar 4.1 Material Hasil Uji Impak dengan *Holding Time* a.5 Jam, b.3 Jam



Gambar 4.2 Grafik Energi Impak Material Aging



Gambar 4.3 Grafik Kekuatan Impak Material Aging

4.1.2 Analisa Hasil Uji Impak Aluminium 6061 dengan Variasi *Holding Time*

Dari grafik dapat dilihat bahwa energi impact dan kekuatan impact terus naik dari waktu tahan 1 jam sampai dengan waktu tahan 5 jam. Pada *aging* variasi waktu tahan 1 jam didapatkan nilai energi impact sebesar 17,83 joule dan kekuatan impact sebesar 0,21 joule/mm². Ketika waktu tahan dibuat menjadi 2 jam maka nilai energi impactnya naik menjadi 24,5 joule dan kekuatan impactnya ikut naik menjadi 0,3 joule/mm². Kenaikan nilai energi impact dan kekuatan impact ini terjadi setiap jam pada waktu tahan material. Saat di naikan kembali waktu tahan menjadi 3 jam maka nilai energi impactnya naik menjadi 29,89 joule dan kekuatan impactnya naik menjadi 0,36 joule/mm². Ketika waktu tahan menjadi 4 jam maka nilai energi impactnya naik menjadi 44,98 joule dan kekuatan impactnya ikut naik menjadi 0,55 joule/mm². Namun pada waktu tahan 5 jam nilai energi impactnya naik yang cukup signifikan, yaitu menjadi 68,69 joule dan kekuatan impactnya menjadi 1,21 joule/mm².

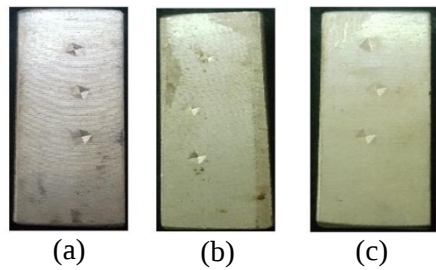
4.1.3 Pembahasan Hasil Uji Impak Aluminium 6061 dengan Variasi *Holding Time*

Dari hasil analisis didapati bahwa seiring dengan kenaikan waktu tahan yang diberikan pada aluminium 6061 terjadi kenaikan nilai energi impact dan kekuatan impact sampai dengan waktu tahan 5 jam. Hal ini disebabkan karena dari waktu tahan 1jam sampai dengan 5 jam sudah mulai mengalami perubahan struktur mikronya. Selain itu pada saat proses *aging* dengan variasi 1jam sampai 5 jam sifat aluminium 6061 bertambah menjadi kemampuan menahan tegangan kejut serta struktur mikro yang ada pada spesimen berdifusi sampai mencapai homogen.

4.2 Uji Kekerasan Aluminium 6061 Hasil Proses *Aging*

Proses *aging* dilakukan pada aluminium 6061 sebelum di uji kekerasan. Variabel yang diubah adalah waktu tahan proses *aging* dan temperatur dibuat tetap. Tujuan uji kekerasan ini untuk

mengetahui pengaruh variasi waktu tahan proses *aging* terhadap nilai kekerasan aluminium 6061. Pada Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menggunakan *Vickers Hardness*. Pada pengujian ini menggunakan data seperti pada Tabel 4.3 berikut ini:



Gambar 4.4 Material Hasil Uji Kekerasan pada *Holding Time* a.1 Jam, b.3 Jam, c.5 Jam

Table 4.3 Data yang Digunakan untuk Uji Kekerasan

Data Uji Kekerasan Aluminium 6061	
Metode uji	Vickers hardness
Gaya Tekan (F)	100 N
Diagonal Tapak Tekan Rata-rata (d)	Mm
Sudut <i>Apex</i> (α)	136°
<i>Indentor</i>	Piramida sisi empat terbuat dari intan
Waktu Penekanan	10-15 detik

4.2.1 Data Uji Kekerasan Aluminium 6061 Hasil Proses *Aging*

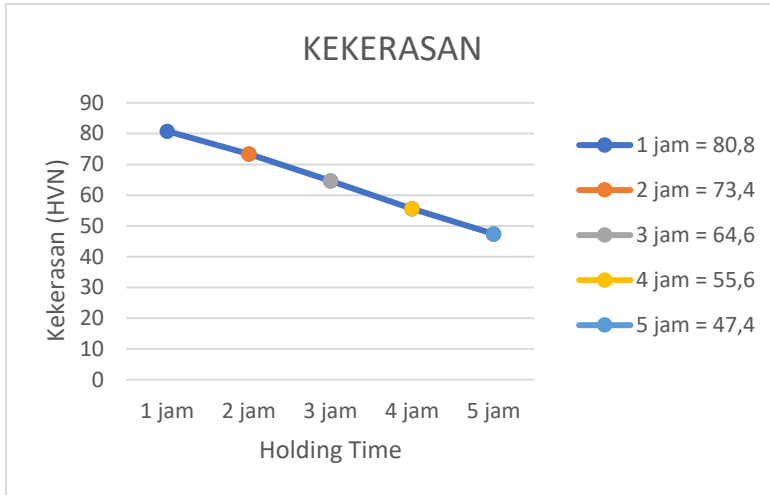
Setelah benda kerja diberikan proses *aging*, kemudian benda kerja di uji kekerasan untuk mengetahui berapa nilai kekerasannya dengan adanya variasi waktu tahan *aging* yang telah diberikan. Adapun data yang diperoleh dari uji kekerasan ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Temperatur 150°C dan Variasi *Holding Time* 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam

Holding Time	Pengujian Setelah di Quenching di air	
	Nilai Kekerasan (HVN)	Rata-rata (HVN)
1 jam	81.3	80.8
	81.3	
	79.7	
2 jam	74.2	73.4
	72.4	
	73.6	
3 jam	66.4	64.6
	62.6	
	64.9	
4 jam	57.2	55.6
	55.6	
	54.2	
5 jam	46.5	47.4
	48.2	
	47.7	

Dari tabel diatas didapatkan nilai rata-rata kekerasan dari hasil uji kekerasan benda kerja yang telah diberi proses *aging* pada suhu 150°C dan variasi waktu tahan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5jam. Hasil dari pengujian kekerasan didapat data berupa diagonal tapak tekan rata-rata (d) yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui

nilai kekerasan. Detail nilai rata-rata kekerasannya ditunjukkan melalui grafik berikut .



Gambar 4.5 Grafik Kekerasan Material *Aging*

4.2.2 Analisa Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 dengan Variasi *Holding Time*

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kekerasan aluminium 6061 terus menurun seiring dengan kenaikan waktu tahan yaitu, dimulai dari waktu 1 jam sampai dengan 5 jam menggunakan temperatur 150°C.

Pada *aging* dengan waktu tahan 1 jam didapatkan nilai kekerasan sebesar 80.8 HVN. Ketika waktu tahan ditambahkan menjadi 2 jam nilai kekerasan tetap menurun sebesar 73.4 HVN. Penurunan nilai kekerasan terus terjadi seiring bertambahnya waktu tahan pada spesimen yang dilakukan proses *aging*. Mulai dari 3 jam yang memiliki nilai kekerasan sebesar 64.6 HVN, 4 jam yang memiliki nilai kekerasan 55.6 HVN hingga 5 jam yang memiliki nilai kekerasan 47.4 HVN.

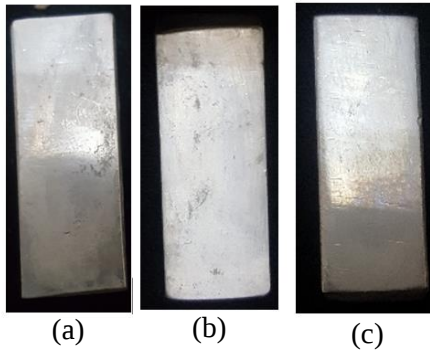
4.2.3 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 dengan Variasi *Holding Time*

Grafik data yang diperoleh dari uji kekerasan aluminium 6061 menunjukkan bahwa variasi waktu tahan dapat mempengaruhi nilai kekerasan. Semakin lama waktu tahannya sampai batas yang ditentukan maka kekerasan aluminium 6061 akan semakin menurun (lunak). *Aging* pada suhu 150°C dan waktu tahan 1 jam mengalami pengerasan yang mempunyai fase zona [GP 2] atau fasa θ'' .

Aging pada temperatur yang sama akan tetapi waktu tahannya ditambah menjadi 2 jam sampai 3 jam menghasilkan nilai kekerasan yang lebih kecil dibandingkan *aging* dengan waktu tahan 1 jam, meskipun temperatur *aging* 150°C masih termasuk dalam fase zona [GP 2] atau fasa θ'' . Hal itu dikarenakan pada temperatur 150°C dan waktu tahan 2 jam sampai 3 merupakan daerah *peak aged*. Pada saat waktu tahan ditambahkan lagi menjadi 4 sampai 5 jam material akan masuk dalam daerah *over aged*. Hal ini disebabkan karena setelah melalui fasa zona [GP 2] atau Fasa θ'' bila waktu tahannya ditambahkan lagi maka fasanya akan berubah menjadi fasa θ . Terbentuknya fasa θ membuat aluminium menjadi lunak.

4.3 Uji Metalografi Aluminium 6061 Hasil Proses *Aging*

Struktur mikro diamati menggunakan mikroskop *optic*. Sebelum diamati dengan mikroskop *optic* paduan terlebih dulu dietsa menggunakan larutan *Reagen Keller's*.

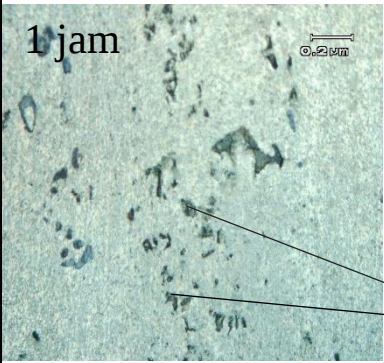
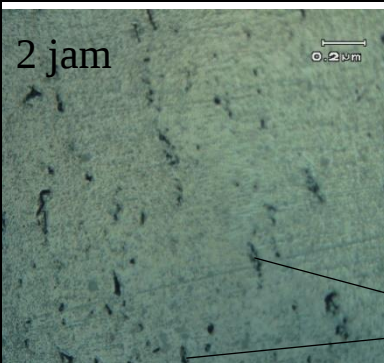
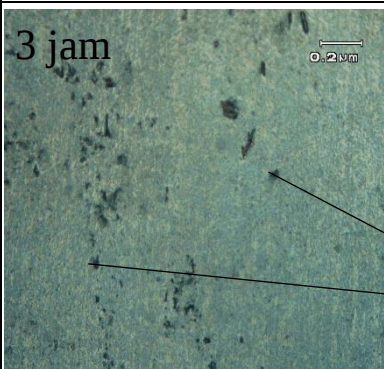


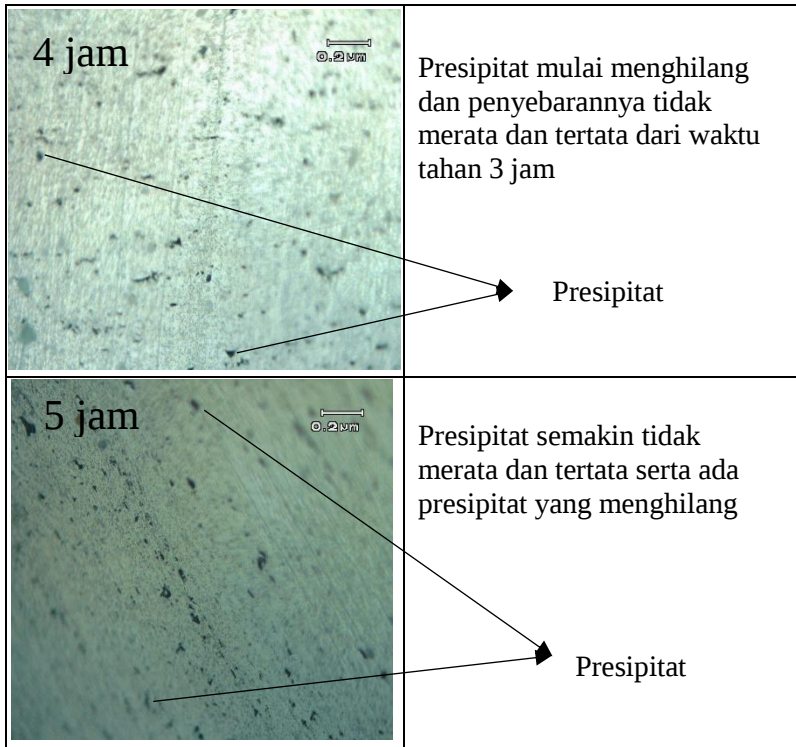
Gambar 4.6 a. Material Uji Metalografi *Holding Time* a.1 Jam, b.3 Jam, dan c.5 Jam Setelah di Etsa dengan Larutan *Reagen Keller's*,

Perubahan struktur mikro ini merupakan data kualitatif untuk mendukung data nilai perubahan kekerasan dan kekuatan impak terhadap perubahan waktu tahan pada proses *aging*.

4.3.1 Data Uji Metalografi Aluminium 6061 Hasil Proses *Aging*

Aluminium 6061 di laku panas *solution treatment* pada temperatur 300°C selama 1 jam kemudian di *quenching* dengan media air. Setelah itu benda kerja di *aging* dengan merubah variasi waktu tahannya yaitu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan temperaturnya yang dibuat tetap yaitu 150 °C. Adapun perbedaan struktur mikro berdasarkan perubahan variasi waktu tahan ditunjukkan melalui gambar berikut.

1 jam 	Presipitat banyak jumlahnya dan penyebaran presipitat masih merata Presipitat
2 jam 	Presipitat mulai menyebar dan penyebarannya mulai tidak merata dan tertata Presipitat
3 jam 	Presipitat semakin menyebar dan penyebaran presipitat tidak merata dan tertata. Presipitat



Gambar 4.7 Struktur Mikro Material *Aging* temperatur 150 °C dengan *Holding Time* 1, 2, 3, 4, dan 5 jam

4.3.2 Analisa Hasil Uji Metalografi Aluminium 6061 dengan Variasi *Holding Time*

Dari gambar struktur mikro ditunjukkan bahwa semakin lama waktu tahan pada proses *aging* maka semakin banyak jumlah presipitat yang menghilang dan persebaran presipitatnya semakin tidak tertata. Karena semakin lama waktu tahan menyebabkan sifat spesimen menjadi homogen.

4.3.3 Pembahasan Hasil Uji Metalografi Aluminium 6061 dengan Variasi *Holding Time*

Perlakuan panas menyebabkan perubahan bentuk struktur mikro paduan. Seiring dengan peningkatan waktu tahan yang diberikan tampak terdapat perbedaan bentuk struktur mikro. Perubahan struktur mikro yang terjadi dapat disebabkan karena waktu pemanasan yang diberikan memberi peluang atom untuk bergerak, sehingga bentuk struktur atom menjadi tidak tertata. Dengan penambahan waktu tahan pada *aging* bentuk presipitat menjadi tidak tertata dan menyebar. Seiring dengan pertambahan waktu tahan pada *aging* dikarenakan Zona GP yang terbentuk terus berkembang baik dari segi ukuran, maupun jumlahnya. Kenaikan waktu tahan menyebabkan presipitat menghilang dan tidak tertata, hal ini menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin renggang. Presipitat yang renggang inilah yang menunjukkan bahwa material menjadi homogen.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan data hasil uji impak, uji kekerasan dan uji metalografi mengenai pengaruh variasi terhadap terhadap aluminium 6061, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa seiring kenaikan waktu tahan aging 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam didapati presipitat aluminium 6061 semakin menghilang serta tidak tertata. Hal itu disebabkan karena sifat pada spesimen yang dinaikkan waktu tahannya menjadi homogen. Yang paling homogen yaitu spesimen pada waktu tahan 5 jam.
2. Hasil uji impak menunjukkan bahwa seiring kenaikan waktu tahan aging 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam mengalami kenaikan terus menerus Hal tersebut dikarenakan dari waktu tahan 1 jam sampai dengan 5 jam sudah mulai mengalami perubahan struktur mikronya. Selain itu pada saat proses aging dengan variasi 1 jam sampai 5 jam sifat aluminium 6061 bertambah menjadi kemampuan menahan tegangan kejut serta struktur mikro yang ada pada spesimen berdifusi sampai mencapai homogen. Nilai kekuatan impak yang paling besar terdapat pada spesimen dengan waktu tahan 5 jam dan yang paling rendah pada spesimen 1 jam.
3. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa seiring kenaikan waktu tahan aging 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam didapati nilai kekerasannya terus menurun. Nilai kekerasan pada setiap ditambahkan waktu aging 1 jam mengalami perubahan fasa dari waktu tahan 1 jam mengalami fasa θ '' atau bias disebut pengerasan optimal. Akan tetapi pada waktu tahan aging di 2 jam dan 3 jam telah memasuki daerah peak aged dan pada waktu tahan 4 jam hingga 5 jam telah melewati

daerah peak aged lalu memasuki daerah over aged. Hal tersebut dikarenakan apabila waktu tahan pada aging ditambahkan maka specimen akan menjadi lunak. Pada spesimen dengan waktu tahan 1 jam merupakan spesimen yang mendapat nilai kekerasan tertinggi dan spesimen dengan waktu tahan 5 jam merupakan spesimen terendah.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian tentang penambahan unsur paduan, waktu tahan aging, media pendingin sehingga didapat sifat mekanik yang lebih baik dan bisa di aplikasikan.
2. Perlu diadakan perawatan pada alat agar didapat hasil penelitian yang lebih baik.
3. Perlu adanya penelitian tentang kandungan paduan yang terbentuk setiap variasi waktu tahan pada aging.
4. Perlu adanya penggantian thermolyne agar pada dilakukan *treatment* pada spesimen tidak terjadinya leleh karena *thermolyne* tidak stabil.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM International Standard E3-95, *Standart Practice for preparation of Metallographic Specimens*.
2. ASTM International Standard E-23, *Standart Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*.
3. Prof. Ir. Tata Surdia MS. Met. E. and Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta; PT. Pradnya Paramita
4. Anonim, 2012, Sejarah Aluminium, Diakses di: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/20315/3/chapter%20II.pdf>. Pada tanggal: 5 Desember 2016. Pukul 08.45 WIB.
5. Adeyemi Dayo Isadarea, Bolaji Aremob, Mosobalaje Oyebamiji Adeoyec, Oluyemi John Olawalec, Moshood Dehinde Shittuc. 2013. *Effect of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of 6061 Aluminium Alloy*. Journal University, Ile-Ife, Nigeria
6. LI Jin-feng, PENG Zhuo-wei, LI Chao xing, JIA Zhi-qiang, CHEN Wen-jing, ZHENG Zi-qiao. 2007. *Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 6061 aluminium alloy with various aging treatments*. Journal Central South University Changsha 410083 China
7. Abdan Syakuura. 2011. *Proses Pengecoran Vakum dan Analisis Evolusi Mikrostruktur Paduan Al-Zn-Mg-Cu dengan Variasi Komposisi Selama Aging Pada Temperatur 120°C dan 190°C*, Journal Universitas Indonesia

8. FUAD ABDILLAH. 2010. *PERLAKUAN PANAS PADUAN AL-SI PADA PROTOTYPE PISTON BERBASIS MATERIAL PISTON BEKAS*. Jurnal Universitas Diponegoro Semarang
9. Avner, H, S. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy. 2nd edition*, New York; Mc Graw Hill International Editions.
10. Callister, D.William dan David G.Rethwisch. 2013 *Material Science and Engineering. 9th edition*, United States Of America: Wiley Binder.
11. Tomoya Aoba, Masakazu Kobayashi, Hiromi Miura. 2017. *Effects of aging on mechanical properties and microstructure of multidirectionally forged 6061 aluminum alloy*. Journal Department of Mechanical Engineering Toyohashi University of Technology Japan.
12. Arino Anzip dan Suhariyanto. 2006. *Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6*. JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 8, No. 2, Oktober 2006: 64 – 68
13. Eddy Widiyono, Suhariyanto, Hari Subiyanto. 2011. *Teori dan Praktikum Ilmu Bahan*. Prodi D3 Teknik Mesin ITS kerjasama PT PLN (persero)
14. Smith, 1995, *Material Science and Engineering (second edition)*, New York. Mc Grew.Hili.inc. Diakses di: <http://trove.nla.gov.au/work/17704220>.

LAMPIRAN

- 1) Perhitungan energi impact dan kekuatan impact mengacu dengan rumus yang ada pada bab 2

Holding Time 1 Jam (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 120^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 120 - \cos 140) \\ &= \mathbf{2,1 \text{ kgfm}} \\ &= 2,1 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= \mathbf{20,61 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{2,1 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,026 \text{ kgfm/mm}^2} \\ &= 0,026 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= \mathbf{0,25 \text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

Holding Time 1 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 122^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 122 - \cos 140) \end{aligned}$$

$$= 1,86 \text{ kgfm}$$

$$= 1,86 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 18,28 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{1,86 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,023 \text{ kgfm/mm}^2$$

$$= 0,023 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 0,22 \text{ joule/ mm}^2$$

Holding Time 1 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 125^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 125 - \cos 140)$$

$$= 1,52 \text{ kgfm}$$

$$= 1,52 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 14,9 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{1,52 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,019 \text{ kgfm/mm}^2$$

$$= 0,019 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= \mathbf{0,186 \text{ joule/ mm}^2}$$

- Rata-rata energi impact sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 1 jam = **1,82 kgfm** = $1,82 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{17,83 \text{ Joule}}$
- Rata-rata kekuatan impact sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan = **0,022 kgfm/mm²** = $0,022 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{0,21 \text{ joule/mm}^2}$

Holding Time 2 Jam (Spesimen 1)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 118^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 118 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{2,34 \text{ kgfm}}$$

$$= 2,34 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= \mathbf{22,93 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{2,34 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{0,029 \text{ kgfm/mm}^2}$$

$$= 0,029 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= \mathbf{0,28 \text{ joule/ mm}^2}$$

Holding Time 2 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 116^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 116 - \cos 140) \\ &= \mathbf{2,58 \text{ kgfm}} \\ &= 2,58 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= \mathbf{25,28 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{2,58 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,032 \text{ kgfm/mm}^2} \\ &= 0,032 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= \mathbf{0,31 \text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

Holding Time 2 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 116^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 116 - \cos 140) \\ &= \mathbf{2,58 \text{ kgfm}} \\ &= 2,58 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$= 25,28 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{2,58 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,032 \text{ kgfm/mm}^2$$

$$= 0,032 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 0,31 \text{ joule/ mm}^2$$

- Rata-rata energi impak sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 2 jam = **2,5 kgfm** = $2,5 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{24,5 \text{ joule}}$
- Rata-rata kekuatan impak sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 2 jam = **0,031 kgfm/mm²** = $0,031 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{0,3 \text{ joule/mm}^2}$

Holding Time 3 Jam (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 111^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 111 - \cos 140)$$

$$= 3,22 \text{ kgfm}$$

$$= 3,22 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 31,55 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{3,22 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2} \\
&= \mathbf{0,040 \text{ kgfm/mm}^2} \\
&= 0,040 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
&= \mathbf{0,39 \text{ joule/ mm}^2}
\end{aligned}$$

Holding Time 3 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 114^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\
&= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 114 - \cos 140) \\
&= \mathbf{2,83 \text{ kgfm}} \\
&= 2,83 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
&= \mathbf{27,84 \text{ joule}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
IS &= \frac{E}{A} \\
&= \frac{2,83 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2} \\
&= \mathbf{0,035 \text{ kgfm/mm}^2} \\
&= 0,035 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
&= \mathbf{0,34 \text{ joule/ mm}^2}
\end{aligned}$$

Holding Time 3 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 112^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 112 - \cos 140) \\ &= \mathbf{3,09 \text{ kgfm}} \\ &= 3,09 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= \mathbf{30,33 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{3,09 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,038 \text{ kgfm/mm}^2} \\ &= 0,038 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= \mathbf{0,37 \text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

- Rata-rata energi impak sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 3 jam = **3,05 kgfm** = $3,05 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{29,89 \text{ joule}}$
- Rata-rata kekuatan impak sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 3 jam = **0,037 kgfm/mm²** = $0,037 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{0,36 \text{ joule/mm}^2}$

Holding Time 4 Jam (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 102^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$

$$E = W.L (\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 102 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{4,41 \text{ kgfm}}$$

$$= 4,41 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= \mathbf{43,21 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{4,41 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{0,055 \text{ kgfm/mm}^2}$$

$$= 0,055 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= \mathbf{0,53 \text{ joule/ mm}^2}$$

Holding Time 4 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 101^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 101 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{4,54 \text{ kgfm}}$$

$$= 4,54 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= \mathbf{44,49 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{4,54 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2} \\
&= \mathbf{0,056 \text{ kgfm/mm}^2} \\
&= 0,056 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
&= \mathbf{0,54 \text{ joule/ mm}^2}
\end{aligned}$$

Holding Time 4 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 99^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\
&= 13,17 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 99 - \cos 140) \\
&= \mathbf{4,81 \text{ kgfm}} \\
&= 4,81 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
&= \mathbf{47,13 \text{ joule}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
IS &= \frac{E}{A} \\
&= \frac{4,81 \text{ kgfm}}{80 \text{ mm}^2} \\
&= \mathbf{0,060 \text{ kgfm/mm}^2} \\
&= 0,060 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
&= \mathbf{0,58 \text{ joule/ mm}^2}
\end{aligned}$$

- Rata-rata energi impak sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 4 jam = **4,59 kgfm** = $4,59 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{44,98 \text{ Joule}}$

- Rata-rata kekuatan impak sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 4 jam = **0,057 kgfm/mm²** = 0,057 kgfm/mm² x 9,8 m/s² = **0,55 joule/mm²**

Holding Time 5 Jam (Spesimen 1)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 13,17 \text{ Kgf.} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 83^\circ ; A = 50 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kgf.} \times 0,6 \text{ m} (\cos 83 - \cos 140) \\ &= \mathbf{7,01 \text{ kgfm}} \\ &= 7,01 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= \mathbf{68,69 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{7,01 \text{ kgfm}}{50 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,14 \text{ kgfm/mm}^2} \\ &= 0,14 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= \mathbf{1,37 \text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

Holding Time 5 Jam (Spesimen 2)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 85^\circ ; A = 60 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 85 - \cos 140) \end{aligned}$$

$$= 6,74 \text{ kgfm}$$

$$= 6,74 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 66,05 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{6,74 \text{ kgfm}}{60 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,11 \text{ kgfm/mm}^2$$

$$= 0,11 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 1,078 \text{ joule/ mm}^2$$

Holding Time 5 Jam (Spesimen 3)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 13,17 \text{ Kgf} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 81^\circ ; A = 60 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,6 \text{ m} (\cos 81 - \cos 140)$$

$$= 7,28 \text{ kgfm}$$

$$= 7,28 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 71,34 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{7,28 \text{ kgfm}}{60 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,12 \text{ kgfm/mm}^2$$

$$= 0,12 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= \mathbf{1,176 \text{ joule/ mm}^2}$$

- Rata-rata energi impact sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 5 jam = **7,01 kgfm** = $7,01 \text{ kgfm} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{68,69 \text{ joule}}$
- Rata-rata kekuatan impact sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 5 jam = **0,12 kgfm/mm²** = $0,12 \text{ kgfm/mm}^2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{1,216 \text{ joule/mm}^2}$

2) Perhitungan nilai kekerasan mengacu dengan rumus yang ada pada bab 2

Holding Time 1 Jam (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,51 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,51^2}$$

$$= \mathbf{81,3 \text{ HVN}}$$

Holding Time 1 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kg}$

f ; $d=1,51 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,51^2}$$

$$= 81,3 \text{ HVN}$$

Holding Time 1 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$P=100\text{kgf} ; d=1,52 \text{ mm} ; \alpha = 136^\circ$$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,52^2}$$

$$= 79,7 \text{ HVN}$$

- Rata-rata nilai kekerasan sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 1 jam = **80,8 HVN**

Holding Time 2 Jam (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$P=100\text{kgf} ; d=1,58 \text{ mm} ; \alpha = 136^\circ$$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,58^2}$$

$$= 74,2 \text{ HVN}$$

Holding Time 2 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$P=100\text{kgf} ; d=1,6 \text{ mm} ; \alpha = 136^\circ$$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,6^2}$$

$$= 72,4 \text{ HVN}$$

Holding Time 2 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$P=100\text{kgf} ; d=1,58 \text{ mm} ; \alpha = 136^\circ$$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,58^2}$$

$$= 73,6 \text{ HVN}$$

- Rata-rata nilai kekerasan sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 2 jam = **73,4 HVN**

Holding Time 3 Jam (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$P=100\text{kgf} ; d=1,67 \text{ mm} ; \alpha = 136^\circ$$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$\begin{aligned}
&= 1,854 \frac{P}{d^2} \\
&= 1,854 \frac{100}{1,67^2} \\
&= \mathbf{66,4 \text{ HVN}}
\end{aligned}$$

Holding Time 3 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,72 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\begin{aligned}
\text{DPH} &= \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2 \\
&= 1,854 \frac{P}{d^2} \\
&= 1,854 \frac{100}{1,72^2} \\
&= \mathbf{62,6 \text{ HVN}}
\end{aligned}$$

Holding Time 3 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,69 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\begin{aligned}
\text{DPH} &= \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2 \\
&= 1,854 \frac{P}{d^2} \\
&= 1,854 \frac{100}{1,69^2} \\
&= \mathbf{64,9 \text{ HVN}}
\end{aligned}$$

- Rata-rata nilai kekerasan sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 3 jam = **64,6 HVN**

Holding Time 4 Jam (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,8 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,8^2}$$

$$= 57,2 \text{ HVN}$$

Holding Time 4 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,82 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,82^2}$$

$$= 55,6 \text{ HVN}$$

Holding Time 4 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,84 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,84^2}$$

$$= 54,2 \text{ HVN}$$

- Rata-rata nilai kekerasan sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 4 jam = 55,6 HVN

Holding Time 5 Jam (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,99 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,99^2}$$

$$= 46,5 \text{ HVN}$$

Holding Time 5 Jam (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,96 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,96^2}$$

$$= 48,2 \text{ HVN}$$

Holding Time 5 Jam (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**
 $P=100\text{kgf}$; $d=1,97 \text{ mm}$; $\alpha = 136^\circ$

$$\text{DPH} = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2$$

$$= 1,854 \frac{P}{d^2}$$

$$= 1,854 \frac{100}{1,97^2}$$

$$= 47,4 \text{ HVN}$$

- Rata-rata nilai kekerasan sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging dengan holding time 5 jam = **47,4 HVN**

3) Sertifikat Aluminium 6061

INSPECTION CERTIFICATE No 11.14698
EN 10204-3.1

Consignee:				Quantity: 30						
Contract Number: V1821-S				Net Weight Kg: 4850.97						
Article number:				Specification No: V1980						
				Lot No: 12						
				Package No: 56887						
Description of Goods: Plates				Requirements on the Products						
Grade of Product		Dimensions: Inch/mm		Material conform to quality of: 6061 T6						
		20x 1219 x 2436 4		Product conform to all requirements of ASTM B209-07						
Mechanical Properties										
The condition of Tested Standards	Lot Number	Cert Number	Number of Tests	Tensile Strength		Yield Strength (0.2% Offset)		Elongation %		Hardness HB
				min	max	min	max	min	max	
Required	67/07	194677	2	42.0		35.0		9.0		
				45.7	45.7	42.1	42.8	13.0	13.0	100.0
Chemical Composition %										
Element	Silicon Si	Iron Fe	Copper Cu	Manganese Mn	Magnesium Mg	Chromium Cr	Nickel Ni	Zinc Zn	Titanium Ti	Zirconium Zr
Required	0.4-1.0	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	-	-	0.25	0.15
Contents	0.64	0.2	0.18	0.08	1.0	0.15	-	-	0.06	0.07
Element	Tin Sn	Barium Ba	Aluminum Al	Molybdenum Mo	Cadmium Cd	Other Elements	Each		Total	Al
Required	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contents	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other Tests										
Method	Micro-Structure	Micro-Structure	UGI	Electro-conductivity	SGF	Contents H ₂ of Mass		on 100g		
Result	-	-	-	-	-	-		-		-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 3 Agustus 1997 di Medan, Provinsi Sumatra Utara. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SD Muhammadiyah 3 Medan sampai kelas 5, selanjutnya pindah ke SDN Sokanegara 1 Purwokerto, SMPN 3 Purwokerto, SMA IT Al-Irsyad Al Islamiyyah Purwokerto.

Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil bidang studi Manufaktur. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT Semen Indonesia Tuban yang ditempatkan pada divisi *maintenance* bagian *packing*. Penulis menyukai belajar dalam hal metalurgi material, dari itulah penulis mendapatkan tema untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.

Selama menempuh kuliah di D3 Teknik Mesin Industri penulis aktif mengikuti kegiatan dan organisasi di kampus. Kegiatan yang pernah di ikuti adalah Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) yang diselenggarakan oleh DIKTI pada tahun 2015. Pengalaman Organisasi yang penulis ikuti antara lain adalah menjadi Staff Himpunan Mahasiswa D3 Mesin (HMDM) 2015/2016. Penulis juga mengikuti beberapa pelatihan yang di adakan baik di jurusan maupun di lingkup ITS yaitu Pelatihan LKMM Pra - TD FTI- ITS tahun 2014, Pelatihan PKTI HMDM tahun 2014. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: miftahnashrullah97@gmail.com