



**ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PADA  
SIFAT MEKANIK PENGELASAN GMAW ALUMINIUM SERI  
5000**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Rangka Memenuhi Penyusunan  
Skripsi Jenjang SI Program Studi Teknik Mesin

Oleh :

**MUHAMMAD RIZQUL AKBAR**

**NPM : 6418500055**

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER**

**UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

**2023**

**LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI**

Skripsi yang berjudul “ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK  
PADA SIFAT MEKANIK PENGELASAN GMAW ALUMINIUM SERI  
5000“

Nama Penulis : Muhammad Rizqul Akbar

NPM : 6418500055

Telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk di pertahankan di hadapan sidang  
dewan penguji skripsi Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.

Hari : Rabu

Tanggal : 12 Juli 2023

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



(Rusnoto, ST., M.Eng)

NIPY. 14054121974



( Ir. Hj. Zulfah, MM )

NIPY. 68531051964

## HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik  
Universitas Pancasakti Tegal.

Pada hari : Selasa

Tanggal : 18/07/2023

### Ketua sidang

Dr. Agus Wibowo, ST.MT.

(.....)

NIPY. 126518101972

### Penguji Utama

Ir. Soebyakto, MT

(.....)

NIPY. 1946321960

### Penguji 1

Rusnoto, ST., M.Eng

(.....)

NIPY. 14054121974

### Penguji 2

Ir. Hj. Zulfah, MM

(.....)

NIPY. 68531051964

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Universitas Pancasakti Tegal



(Dr. Agus Wibowo, S.T., M.T.)  
126518101972

## HALAMAN PERNYATAAN

Dalam penulisan skripsi ini saya tidak melakukan penjiplakan, dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PADA SIFAT MEKANIK PENGELASAN GMAW ALUMINIUM SERI 5000" ini dan seluruh isinya adalah benar-benar karya sendiri. Atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai etika yang berlaku dalam masyarakat keilmuan sebagaimana mestinya.

Demikian pernyataan ini untuk di jadikan sebagai pedoman bagi yang berkepentingan dan saya siap menanggung segala resiko dan sanksi yang di berikan kepada saya apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran atas etika keilmuan dalam karya tulis ini, atau adanya klaim atas karya tulis ini.

Tegal, 12 Juli 2023



**Muhammad Rizqul Akbar**

**NPM. 6418500055**

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

1. Berdoa setiap melakukan sesuatu.
2. Menghargai usaha dan kerja keras.
3. Pantang menyerah dalam setiap keadaan.
4. Restu orangtua adalah kunci.
5. Belajar dalam segala hal terutama yang belum kita ketahui.

### **PERSEMBAHAN**

1. Setiap goresan tinta ini adalah wujud dari keagungan dan kasih sayang yang diberikan Allah SWT kepada umatnya.
2. Setiap detik waktu menyelesaikan skripsi ini merupakan hasil getaran doa kedua orang tua, saudara, dan orang-orang terkasih yang mengalir tiada henti.
3. Setiap pancaran semangat dalam penulisan dan penelitian ini merupakan dorongan dan dukungan dari sahabat-sahabatku tercinta.
4. Setiap makna pokok bahasan pada bab-bab dalam skripsi ini merupakan hampasan kritik dan saran dari dosen pembimbing dan teman-teman .

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT berkat Rahmat, Hidayah, dan Karunia-Nya kepada kita semua sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PADA SIFAT MEKANIK PENGELASAN GMAW ALUMINIUM SERI 5000”**. Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan studi strata Program Studi Teknik Mesin.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST.MT. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer.
2. Bapak Rusnoto, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu Ir.Hj. Zulfah, MM. selaku Dosen Pembimbing II.
4. Segenap Dosen dan Staf Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
5. Bapak dan ibuku yang tak pernah lelah mendoakan ku.
6. Teman-teman baik didalam kampus maupun diluar kampus yang telah memberikan dukungan moral dalam menyusun skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu hingga laporan ini selesai, semoga bantuan dan bimbingan yang telah di berikan mendapat balasan yang sesuai dari Allah SWT.

Kami menyadari skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan dilapangan serta bisa dikembangkan lebih lanjut. Amiin.

Tegal, 12 Juli 2023

Peneliti

## ABSTRAK

Muhammad Rizqul Akbar, 2023. “Analisa pengaruh variasi arus listrik pada sifat mekanik pengelasan GMAW Aluminium seri 5000“ Skripsi Teknik Mesin, Universitas Pancasakti Tegal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan sifat mekanik pada pengelasan GMAW Aluminium 5000 dengan variasi arus listrik 80 *ampere*, 90 *ampere* dan 100 *ampere* terhadap uji kekerasan, uji tarik, dan uji *impact*.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Analisa ini bertujuan untuk mencari nilai kekerasan, nilai kuat tarik dan nilai *impact*. Plat aluminium 5083 diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 80A, 90A dan 100A.

Nilai pengujian kekerasan material dengan metode *vickers* pada arus 80A, 90A dan 100A menunjukkan bahwa nilai tertinggi terdapat pada daerah logam induk yaitu pada kelompok 90A sebesar 32,51 HV. Hasil pengujian uji tarik memperoleh nilai terbaik pada *raw material* dengan nilai sebesar 220 N/mm<sup>2</sup>, adapun nilai terendah terdapat pada variasi 90A sebesar 49 N/mm<sup>2</sup>. Sedangkan hasil pengujian *impact* memperoleh nilai terbesar pada *raw material* yaitu 0,863 J/mm<sup>2</sup> dan harga *impact* terkecil pada variasi 90A dan 100A memperoleh nilai yang sama dengan nilai 0,133 J/mm<sup>2</sup>. Dari penelitian ini pengelasan menyebabkan terjadinya perubahan sifat fisis yang kemudian mengakibatkan perubahan sifat mekanis pada bahan sehingga berpengaruh besar terhadap kekuatan bahan.

**Kata kunci :** Aluminium seri 5000, pengelasan GMAW, kekerasan *Vickers*, Uji Tarik, Uji *impact*,

## ABSTRACT

Muhammad Rizqul Akbar, 2023 “**ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIATIONS IN ELECTRIC CURRENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WELDING GMAW ALUMINUM 5000 SERIES**” . Thesis of Mechanical Engineering, Pancasakti University, Tegal.

*The purpose of this study was to determine the strength of the mechanical properties of welding GMAW Aluminum 5000 with variations of electric current 80 amperes, 90 amperes and 100 amperes against hardness, tensile and impact tests.*

*The research method used in this study is the experimental method. This analysis aims to find the value of hardness, tensile strength and impact value. The 5083 aluminum plate is treated with welding variations of current 80A, 90A and 100A.*

*The material hardness test values using the Vickers method at currents of 80A, 90A and 100A show that the highest values are found in the parent metal region, namely in the 90A group of 32.51 HV. The results of the tensile test test obtained the best value for the raw material with a value of 220 N/mm<sup>2</sup>, while the lowest value was found in the 90A variation of 49 N/mm<sup>2</sup>. Meanwhile, the impact test results obtained the largest value for the raw material, namely 0.863 J/mm<sup>2</sup> and the lowest impact price the 90A and 100A variations obtained the same value with a value of 0.133 J/mm<sup>2</sup>. From this study, welding causes changes in physical properties which then result in changes in the mechanical properties of the material so that it has a major effect on the strength of the material.*

**Keywords:** Aluminum 5000 series, GMAW welding, Vickers hardness, Tensile Test, Impact test,.



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
PRAKATA	vii
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	16
A. Latar Belakang Masalah	16
B. Batasan Masalah	19
C. Rumusan Masalah	19
D. Tujuan Penelitian	20
E. Manfaat Penelitian	20
F. Sistematika Penulisan	21
BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	22
A. Landasan teori	22
1. Aluminium	22
2. Pengelasan	32
3. kerangka box sleding	39
4. Uji kekerasan	40
5. Uji tarik	44
6. Uji impact	46
B. Tinjauan pustaka	51
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	54
A. Metode Penelitian	54

B. Waktu Dan Tempat Penelitian .....	54
C. Instrumen Penelitian.....	56
D. Prosedur penelitian.....	66
E. Variabel Penelitian .....	67
F. Metode Pengumpulan Data .....	67
G. Metode Analisa Data.....	69
H. Diagram Alur Penelitian .....	72
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>A. Hasil Penelitian .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>B. Pembahasan.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>A. Kesimpulan .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>B. Saran.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Fasa Al-Mg (Surdia, 2005).....	32
Gambar 2. 2 Skema Proses GTAW (Herry, 2016).....	34
Gambar 2. 3 Perlengkapan pengelasan GMAW .....	35
Gambar 2.4 Peralatan las GMAW .....	36
Gambar 2.5 Parameter dasar uji kekerasan <i>vickers</i> .....	44
Gambar 2.6 Skema pengujian tarik.....	45
Gambar 2.7 Skema pengujian <i>impact charpy</i> .....	47
Gambar 3.1 Plat aluminium .....	56
Gambar 3.2 Kawat las/elektroda .....	57
Gambar 3.3 Tabung gas argon .....	59
Gambar 3.4 Mesin las GMAW .....	59
Gambar 3.5 Mesin milling .....	60
Gambar 3.6 Gerinda.....	60
Gambar 3.7 Penggaris baja .....	61
Gambar 3.8 Topeng las .....	61
Gambar 3.9 Sarung tangan las .....	62
Gambar 3.10 Tang penjepit.....	62
Gambar 3.11 Alat uji kekerasan .....	63
Gambar 3.12 Alat uji tarik.....	63
Gambar 3.13 Alat uji <i>impact charpy</i> .....	64
Gambar 3.14 Titik pengujian kekerasan.....	64
Gambar 3.15 Spesimen uji Tarik.....	65
Gambar 3.16 Spesimen <i>uji impact charpy</i> .....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik aluminium.....	25
Tabel 2.2 Sifat mekanik aluminium.....	26
Tabel 2.3 Komposisi kimia pada aluminium paduan seri 7075 (ASTM, 1998)	29
Tabel 2.4 Sifat Mekanik alumunium Paduan seri 7075 .....	29
Tabel 2.5 <i>Alumunium alloy designation wrought alloy</i> (Surdia, dan Saito, 1985).	29
Tabel 2.6 Karakteristik uji kekerasan.....	42
Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian.....	55
Tabel 3.2 komposisi aluminium 5083 (ASM, 2005).....	56
Tabel 3.3 contoh tabel uji kekerasan.....	69
Tabel 3.4 Data hasil uji tarik .....	70
Tabel 3.5 Data hasil uji <i>impact charpy</i> .....	71
Tabel 4.1 Hasil uji komposisi Aluminium Alloy 5083 .....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.2 Data Uji Kekerasan .....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.3 Hasil uji kekerasan RAW material.....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.4 Hasil uji kekerasan variasi 80A .....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.5 Hasil uji kekerasan variasi 90A .....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.6 Hasil uji kekerasan variasi 100A .....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.7 Data pengujian Tarik.....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.8 Hasil uji Tarik .....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.9 Data Uji Impak.....	<b>Error! Bookmark not</b>
Tabel 4.10 Data hasil uji Impak .....	<b>Error! Bookmark not</b>

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 pembahasan kekerasan *Vickers*

**Error! Bookmark not defined.**

Grafik 4.2 pembahasan kekuatan tarik

**Error! Bookmark not defined.**

Grafik 4.3 pembahasan nilai impak

**Error! Bookmark not defined.**

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Dokumentasi penelitian .....	122
Lampiran 2 Sertifikat hasil pengujian .....	125

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Banyak proses pengelasan telah digunakan dalam industri, termasuk pengelasan *shieled metal arc welding* (SMAW), pengelasan *gas metal arc welding* (GMAW), pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW), pengelasan *submerged arc welding* (SAW), dan pengelasan tekanan. Salah satu jenis pengelasan busur listrik adalah pengelasan dengan busur tertutup (SMAW), di mana panas diperoleh dari busur nyala yang memancar antara elektroda dengan flux dan benda kerja. Salah satu karakteristik utama proses pengelasan SMAW adalah jenis elektroda yang digunakan, yaitu elektroda terumpan yang dibungkus dengan fluks dan gas pelindung yang digunakan selama proses pengelasan. Pengelasan GMAW adalah jenis pengelasan yang menggunakan elektroda terumpan yang terdiri dari kawat gulungan, juga dikenal sebagai wire, dan dilindungi dengan gas pelindung CO<sub>2</sub>, He, atau Argon. Las GTAW menggunakan gas pelindung Argon, helium, atau campuran keduanya untuk mengelas elektroda tungsten yang tidak terumpan. Input panas dan sifat mekanik bahan yang dihasilkan dari pengelasan dipengaruhi oleh perbedaan proses pengelasan. Tidak jarang, beberapa proses digunakan secara bersamaan pada satu sambungan untuk mencapai hasil visual dan kekuatan pengelasan yang optimal. (Daryanto, 2012:22).

Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan. Pengelasan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah, menghasilkan sambungan yang berkelanjutan. (Yudi dkk., 2019).

Pengelasan kawat logam GMAW atau pengelasan gas logam MIG adalah proses penyambungan logam dengan bahan tambah berupa kawat rol elektroda (Filler) yang diumpan secara terus-menerus dan gas pelindung berupa gas mulia (seperti Argon). Gas pelindung melindungi cairan busur logam dari pengaruh atmosfer dan mencegah proses oksidasi selama proses pengelasan. (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

Pengelasan busur listrik GMAW menggunakan gas di atas daerah pengelasan untuk menyelimuti busur listrik. Kawat las pengisi, yang berfungsi sebagai elektroda, diberikan secara konsisten. Gas perlindungan adalah argon, helium, atau campuran keduanya. (Wijoyo & Aji, 2015). Pengelasan GMAW adalah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan pelindung (shielding) berupa gas inert seperti argon dan helium serta elektroda yang digunakan tergulung sehingga dapat digunakan secara terus menerus tanpa perlu mengganti elektroda (Sindo Kou, 2003).

Aplikasi engineering, seperti mobil, pesawat terbang, dan perkapalan, biasanya menggunakan proses pengelasan untuk memproduksi barang. GMAW (Gas Metal Arc Welding) adalah metode pengelasan yang umum digunakan. Pengelasan ini menggunakan gas inert, sehingga elektroda yang digunakan tidak dilapisi dan dapat mensuplai terus karena berbentuk gulungan. Oleh karena itu, pengelasan ini juga dikenal sebagai MIG. (Semih, 2007). Dalam proses pengelasan, ada tujuh jenis sambungan: butt joint, backing joint, T joint, cross joint, overlap joint, corner joint, dan edge joint. Setiap jenis sambungan memiliki karakteristik unik tergantung pada kondisi material yang digunakan. Namun, ada beberapa jenis posisi pengelasan, yaitu flat, horizontal, vertical, dan overhead. (ASME section IX, 2001).

Jenis aluminium paduan seri 5083 banyak digunakan dalam industri, terutama dalam pembuatan perkapalan dan bejana tekan. Paduan seri 5083 adalah jenis paduan aluminium yang tidak dapat diperbaiki sifat mekaniknya dengan perlakuan panas atau tidak dapat diperlakukan panas. karena akan terdapat ketidaksempurnaan yang terjadi selama proses sambungan las, yang



membuatnya disebut sebagai paduan yang tidak dapat diperlakukan panas (Aljufri, 2008).

Berdasarkan [Handbook Material and Mechanical Design, Third Edition], aluminium adalah logam yang paling banyak dijumpai dan unsur kimia yang paling banyak dijumpai ketiga di kerak bumi. Berat aluminium adalah lebih dari 8% dari total beratnya. Silikon dan oksigen adalah satu-satunya yang lebih umum. Namun, aluminium masih dalam bentuk logam yang tidak diketahui manusia sampai sekitar 150 tahun yang lalu. Ini karena aluminium, seperti besi atau tembaga, tidak ada sebagai logam di alam. Karena aktivitas kimia dan aktifitasnya terhadap oksigen, aluminium selalu ditemukan bersama dengan bahan lain, terutama aluminium oksida. Kuat arus dalam proses pengelasan sangat penting untuk kualitas hasil pengelasan. Pengaruh arus pengelasan yang terlalu tinggi mengakibatkan lubang cacung dan retak yang lebih besar, sedangkan arus pengelasan yang terlalu rendah mengakibatkan penembusan yang lebih sedikit dan kemungkinan terak terperangkap yang lebih tinggi. [Jokosisworo, S., 2009]. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil las yang optimal, pemilihan arus yang baik diperlukan. Variasi arus yang signifikan selama proses pengelasan merupakan salah satu faktor penting untuk mendapatkan kualitas hasil las yang memenuhi persyaratan.

Penulis mengangkat kasus tentang bahan yang digunakan dalam tugas akhir ini berupa aluminium seri 5000 khususnya di bidang pengelasan, tujuan penelitian ini untuk menganalisa kekuatan mekanik dari hasil pengelasan menggunakan variasi arus listrik untuk pengaplikasian pada kerangka box sleding sepeda motor untuk memudahkan pedagang ketika pengisian bahan bakar tanpa perlu harus menurunkan muatannya.

Dengan demikian, penulis memilih judul penelitian berdasarkan alasan di atas **“Analisa Pengaruh Variasi Arus Listrik Pada Sifat Mekanik Pengelasan GMAW Aluminium Seri 5000 “.**

## **B. Batasan Masalah**

Pembatasan masalah diperlukan agar penulisan tugas akhir ini lebih fokus dan terarah antara lain :

1. Bahan yang digunakan adalah aluminium seri 5000(Almg5).
2. Pengelasan menggunakan teknik las GMAW.
3. Voltase yang digunakan 24V.
4. Laju aliran gas argon 20L/Menit.
5. Arus listrik yang digunakan 80A, 90A, 100A
6. Jenis elektroda yang digunakan (ER5356) dengan diameter 0,8 mm
7. Gas inert yang digunakan adalah Argon HP (High Purity).
8. Pengujian yang akan dilakukan adalah
  - a. Pengujian kekerasan.
  - b. Pengujian tarik.
  - c. Pengujian impak.
9. Kerangka slide box sepeda motor

## **C. Rumusan Masalah**

Berdasarkan batasan masalah di atas, penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi arus listrik 80A, 90A, 100A, terhadap kekerasan pengelasan aluminium seri 5000.
2. Bagaimana pengaruh variasi arus listrik 80A, 90A, 100A, terhadap kekuatan tarik pengelasan aluminium seri 5000.
3. Bagaimana pengaruh variasi arus listrik 80A, 90A, 100A, terhadap kekuatan impak pengelasan aluminium seri 5000.

#### **D. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai tujuan berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus 80A, 90A, 100A, terhadap sifat-sifat mekanik pada hasil las dengan uji kekerasan
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus 80A, 90A, 100A, terhadap sifat-sifat mekanik pada hasil las dengan uji tarik.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus 80A, 90A, 100A, terhadap sifat-sifat mekanik pada hasil las dengan uji dampak.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Beberapa keuntungan yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi mahasiswa
  - a. dapat memberikan wawasan luas tentang perkembangan ilmu secara keseluruhan, terutama dalam hal inovasi dalam teknologi pengelasan logam.
  - b. Memberikan gambaran bagaimana pengaruh variasi arus pada pengelasan aluminium.
2. Bagi akademik
  - a. Sebagai referensi untuk kemajuan dan penelitian selanjutnya, di bawah bidang teknik mesin.
  - b. Dapat menggunakan metode tersebut pada perkuliahan khususnya dalam bidang pengelasan.
3. Bagi industri
  - a. Ada kemungkinan bahwa ini akan berkontribusi pada kemajuan industri pengelasan dan ilmu teknologi material.
  - b. mengetahui kualitas, keuntungan finansial, dan keamanan suatu bahan.

## **F. Sistematika Penulisan**

Untuk membuat pemahaman yang lebih baik tentang struktur dan isi skripsi, strukturnya disusun secara sistematis, dan bagian-bagiannya akan dijelaskan di bawah ini:

1. Halaman judul, abstrak, pengesahan, motto, dan persembahan, serta kata pengantar, serta daftar isi, tabel, dan gambar termasuk dalam bagian pendahuluan skripsi.
2. Bagian dari skripsi terdiri dari:

### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Bab ini membahas latar belakang masalah, batasan dan rumusan masalah, tujuan dan keuntungan penelitian, dan prosedur penulisan..

### **BAB 2. LANDASAN TEORI DAN TINJUAN PUSTAKA**

Tinjauan literatur dan landasan teori disajikan dalam bab ini.

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang : metodologi penelitian,waktu dan tempat penilitian, teknik dan pengambilan sampel, fenomena atau variabel yang diamati dalam penelitian, teknik pengumpulan data, dan teknik analisis data.

### **BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Hasil dan pembahasan penelitian dibahas pada bab ini..

### **BAB 5. PENUTUP**

Bab ini membahas kesimpulan dan rekomendasi tentang tujuan penelitian serta langkah-langkah untuk meningkatkan penelitian berikutnya setelah penyimpulan dari hasil analisis dan diskusi. Bab ini juga menjawab pertanyaan yang diajukan dalam Bab I.

## BAB II

### LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Landasan teori

##### 1. Aluminium

Setelah ditemukan sebagai unsur oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809, aluminium pertama kali direduksi menjadi logam oleh H. C. Oersted pada tahun 1825. Secara industri, Paul Heroul dari Prancis dan C. M. Hall dari Amerika Serikat telah memperoleh logam aluminium dari alumina melalui elektrolisa garam yang terfusi pada tahun 1886. Di antara logam *non-ferro*, aluminium digunakan secara tahunan paling banyak setelah besi dan baja. (Tata & Saito,2005).

Logam ringan aluminium memiliki ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik. Jika ditambahkan dengan unsur-unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, atau lainnya untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya, aluminium akan memiliki sifat tambahan seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah, dan sebagainya. (Surdia, dan Saito, 1999).

Dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol, aluminium adalah unsur kimia golongan IIIA dalam tabel periodik unsur, dan merupakan logam yang ringan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Pada udara bebas, aluminium mudah teroksidasi dan membentuk lapisan tipis oksida ( $Al_2O_3$ ) yang tahan terhadap korosi. Selain itu,

aluminium memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan larutan yang terdiri dari asam dan basa. (Hartono, 1992).

Unsur kimia aluminium (Al) memiliki massa atom 26,9815 dan nomor atom 13. Isotop alamnya adalah Al-27, yang memiliki kemampuan untuk meluruhkan sinar dengan waktu paruh 105 tahun. Ada berat jenis 2,70 aluminium pada 20°C, dengan titik cair 660,5°C dan titik didih 2.467°C. Ketahuilah bahwa logam yang paling banyak terkandung dikerak bumi adalah aluminium, yang mencakup kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari massa padat dikerak bumi. Produksi tahunan aluminium dari bauksit dan batuan lain mencapai sekitar 15 juta ton. Aplikasi aluminium dalam industri otomotif, rumah tangga, dan elektrik saat ini semakin meningkat.

Terdapat beberapa sifat penting yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik, diantaranya adalah sebagai berikut:

1) Mudah dalam pembentukannya (*easy fabrication*)

Salah satu logam yang paling mudah dibentuk dan paling mudah diproses dalam berbagai proses fabrikasi, termasuk *ekstrusi*, *forging*, *bending*, *rolling*, *casting*, *drawing*, dan *machining* adalah aluminium. Aluminium tetap ulet meskipun pada suhu yang sangat rendah karena struktur kristalnya yang dikenal sebagai FCC (face-centered cubic). Barang-barang yang terbuat dari aluminium, seperti

rel, gording, bingkai jendela, lembaran foil, dan banyak lagi, dapat dibuat dengan sangat mudah .

2) Konduktifitas panas tinggi (*high thermal conductivity*)

Aluminium banyak digunakan pada radiator mobil, koil evaporator, peralatan masak, bagian mesin, dan alat penukar kalor karena konduktifitas panasnya tiga kali lebih besar dari besi.

3) Ringan (*light in weight*)

Dengan densitas sekitar 1/3 dari besi, aluminium lebih ringan, bahkan lebih ringan dari magnesium. Kekuatan tarik sebesar 700 mpa (100 Ksi). Aluminium banyak digunakan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, tangga, scaffolding, dan roket karena ringan dan kuat.

4) Konduktifitas listrik tinggi (*high electrical conductivity*)

Aluminium sangat cocok untuk kabel transmisi listrik karena konduktifitas listriknya dua kali lipat dari tembaga dengan berat yang sama.

5) Tangguh pada temperatur rendah (*high toughness at cryogenic temperature*)

Aluminium dapat digunakan pada material bejana yang beroperasi pada suhu rendah karena tidak menjadi getas bahkan pada suhu hingga -1000 derajat Celcius dan bahkan menjadi lebih keras.

6) Tahan terhadap korosi (*corrosion reistance*)

Fenomena pasivasi adalah ketika logam bereaksi terhadap komponen udara dan membentuk lapisan yang melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Permukaan aluminium memiliki kemampuan untuk membentuk lapisan saat bereaksi, yang membuat logam tahan korosi.

7) Mudah didaur ulang (*reciclability*)

Aluminium dapat didaur ulang dengan mudah, dan bahkan 30% produksi aluminium Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Memisahkan aluminium dari bauksit hanya membutuhkan energi 5%.

8) Tidak beracun (*non toxic*)

Alumina sering digunakan dalam industri makanan, seperti kaleng dan pipa penyalur, karena tidak berbahaya bagi manusia.

Salah satu kekurangan aluminium adalah kekuatan dan kekerasan yang rendah dibandingkan dengan logam lain seperti besi dan baja (Wessel, 2004). Berikut ini adalah tabel sifat fisik dan sifat mekanik aluminium:



Tabel 2.1 Sifat fisik aluminium

No.	Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium (%)	
		99,996	>99,0
1	Massa jenis (20°C)	2,6986	2,71
2	Titik cair	660,2	653-657
3	Panas jenis (Cal/g. °C) (100)	0,2226	0,2297
4	Hantaran listrik	64,94	59 (dianil)
5	Tahanan listrik koefisien temperature (°C)	0,00429	0,0115
6	Koefisien pemuai (20-100°C)	23,86 x 10 <sup>-6</sup>	23,5 x 10 <sup>-6</sup>
7	Jenis kristal, Konstanta kisi	fcc, a=4,013 kX	fcc, a=4,04 kX

Sumber : (Surdia dan Saito, 1999)

Tabel 2.2 Sifat mekanik aluminium

No.	Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium (%)			
		99,996		>99,0	
		Dianil	75% Dirol dingin	Dianil	H18
1	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3	16,9
2	Kekuatan mulur	1,3	11	3,5	14,8

	(0,02%) (kg/mm <sup>2</sup> )				
3	Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
4	Kekerasan brinell	17	27	23	44

Sumber : (Surdia dan Saito, 1999)

#### a) Klasifikasi Alumunium

Aluminium tempa dan cor adalah dua jenis aluminium yang berbeda. Pada aluminium tempa dan aluminium cor dapat dibagi menjadi beberapa seri.

Berikut adalah beberapa pembagian seri pada alumunium :

1. Aluminium murni (A seri 1xxx) didapatkan dalam keadaan cair dengan elektrolisa, pada umumnya mencapai nilai kemurnian 99,83% berat. Dengan mengelektrolisa kembali dapat mencapai 99,99% (Surdia, dan Saito, 2000).
2. Sebagai paduan coran, aluminium paduan seri 2xxx (Al-Cu dan Al-Cu-Mg) digunakan bersama dengan paduan yang mengandung unsur 4-5% Cu. Dari sifatnya, paduan ini memiliki daerah pembekuan yang luas, tingkat penyusutan yang tinggi, risiko kegetasan panas yang tinggi, dan retakan yang mudah terjadi pada coran. (Surdia & Saito, 2000). Aluminium seri 2xxx memiliki kekuatan tinggi, ketangguhan dan kemampuan las yang baik (Mandal, 2005).
3. Aluminium paduan seri 3xxx (Al-Mn), Mn merupakan unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi (Surdia & Saito, 2000). Seri 3xxx dapat dikeraskan dengan regangan,

memiliki ketahanan korosi yang baik, mudah dilas, *bracing* dan disolder (Mandal, 2005).

4. Aluminium paduan seri 4xxx (Al-Si) merupakan paduan berkekuatan tinggi sedang yang dapat diolah panas yang digunakan untuk tempa dengan bentuk yang rumit. Karakteristik aliran yang baik karena kandungan Silikonnya, Al-Si dapat memastikan pengisian cetakan tempa dengan baik dan dalam pengelasan dapat mengisi celah alur pada bagian sambungan pengelasan (Mandal, 2005).
5. Aluminium paduan seri 5xxx (Al-Mg), penambahan paduan Mg pada aluminium seri 5xxx dapat meningkatkan ketangguhan, ketahanan korosi bahkan didalam air asin dan kemampuan las yang baik serta *strain* dapat ditingkatkan (Mandal, 2005).
6. Aluminium paduan seri 6xxx (Al-Mg-Si) dengan penambahan Mg-Si sifat dari aluminium paduan seri 6xxx mempunyai mampu potong, mampu las dan tahan korosi, tetapi kekurangannya adalah panas yang terjadi selama proses pengelasan dapat melunakan area hasil lasan. Namun dapat diperkuat dengan pengerjaan panas / *heat treatable* (Surdia & Saito, 2000). Aluminium paduan seri 6xxx memiliki sifat mudah las sehingga aluminium seri 6xxx banyak diaplikasikan pada bidang struktural (Mandal, 2005).
7. Aluminium paduan seri 7xxx (Al-Zn-Mg) merupakan aluminium paduan dengan tingkat kekerasan tertinggi diantara paduan – paduan lainnya. Paduan seri 7xxx dapat diolah panas dan memiliki

kemampuan las yang baik. Pengaplikasian pada aluminium seri 7xxx dapat diaplikasikan pada industri pesawat terbang dan aplikasi dalam bidang otomotif (Mandal, 2005).

Tabel 2.3 Komposisi kimia pada aluminium paduan seri 7075 (ASTM, 1998)

	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Al
<i>Composition,</i>	5,1-	2,1-	1,2-	0,5	0,4	0,3	0,18-	<i>balance</i>
<i>Wt%</i>	6,1	2,9	2,0				0,28	

Tabel 2.4 Sifat Mekanik aluminium Paduan seri 7075

AA	<i>Temper</i>	Ketebalan (mm)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Kekuatan Luluh (Mpa)	<i>Elongation</i>
7075	<i>0 Sheet &amp; Plate</i>	0,38-50,80	276	145	9-10
	<i>T6 Sheet</i>	0,203-6,32	510-538	462-476	5-8

Tabel 2.5 Aluminium alloy designation wrought alloy (Surdia, dan Saito, 1985).

Standar AA	Keterangan
1001	Almurni 99,3% atau di atasnya
1100	Almurni 99.0% atau di atasnya

2010 - 2029	Cu merupakan unsur paduan utama
3003 - 3009	Mn merupakan unsur paduan utama
4030 - 4039	Si merupakan unsur paduan utama
5050 - 5086	Mg merupakan unsur paduan utama
6061 - 6069	Mg <sub>2</sub> Si merupakan unsur paduan utama
7070 - 7079	Zn merupakan unsur paduan utama

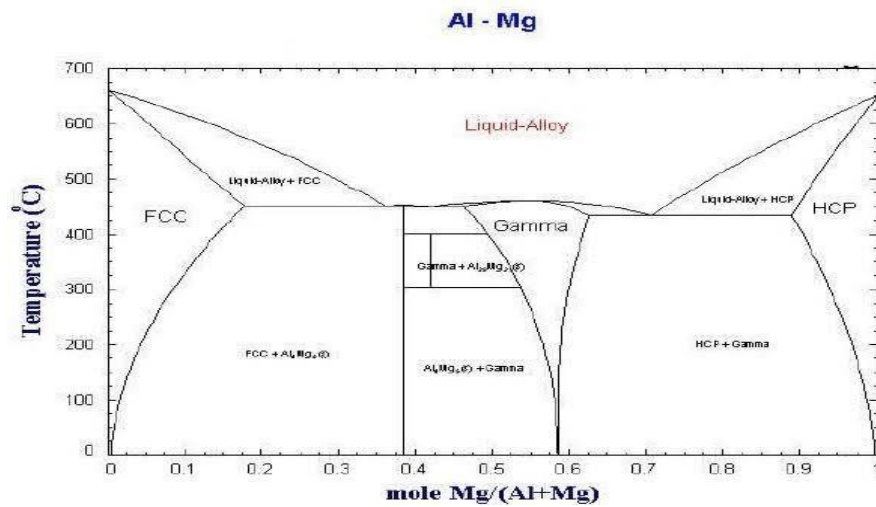
**b) Unsur-Unsur Paduan Aluminium**

1. Besi (Fe) : Penambahan elemen besi ke dalam aluminium dapat membantu mengurangi keretakan panas.
2. *Manganase* (Mn) : Jika elemen mangan ditambahkan ke aluminium, itu dapat meningkatkan kekuatan logam.
3. *Silicon* (Si) : Jika silikon ditambahkan pada aluminium, itu akan membuatnya tahan karat, tetapi sulit *dimachining*.
4. *Copper* (Cu) : Material aluminium dapat menjadi lebih mudah untuk *dimachining* jika ada unsur *copper*.
5. *Magnesium* (Mg) : Meskipun unsur magnesium akan meningkatkan kekuatan material aluminium, namun membuat proses penuangan akan lebih sulit.
6. *Zinc* (Zn) : Adanya seng pada aluminium akan mengurangi keretakan panas dan pengerutan serta meningkatkan sifat tahan terhadap korosi.

Logam paduan aluminium yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan aluminium tempa seri 5XXX dengan tipe 5083.

### c) Aluminium 5083

Paduan aluminium 5083, yang juga dikenal sebagai paduan tempa, adalah aluminium yang tidak dapat diperlakukan, yang membuatnya disebut sebagai paduan yang tidak dapat diperlakukan. Karena sifatnya yang tidak dapat diperlakukan, pengelasan akan lebih mudah. Karena sifatnya yang tahan karat, material ini sering digunakan dalam industri perkapalan. Aluminium jenis ini terdiri dari 93,1% Al, 0,4% Si, 0,4% Fe, 0,1% Cu, 0,4% Mn, 4,9% Mg, 0,25% Cr, 0,25% Zn, 0,15% Ti, dan 0,05% unsur lainnya (Budiarsa,2008). Logam aluminium Al-5083, yang merupakan paduan aluminium-magnesium, memiliki sifat tidak dapat diperlakukan panas tetapi sangat tahan korosi, terutama korosi oleh air laut. Logam ini banyak digunakan untuk struktur umum, seperti kapal, karena sifatnya yang mampu las. Aluminium 5083 adalah paduan sistem yang memiliki kekuatan tempaan yang lebih rendah dibandingkan dengan paduan lain. Namun, aluminium 5083 sangat liat dan mampu membentuk dengan baik untuk penembakan, dan memiliki kemampuan ekstrusi yang luar biasa dalam pembentukan dalam suhu tinggi dan rendah. (Surdia, 2005). Diagram fasa Al-Mg menunjukkan bahwa Mg kehilangan kelarutannya terhadap larutan pada Al dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Al-Mg (Surdia, 2005)

Aluminium 5083 adalah bahan yang tepat untuk penelitian ini karena memiliki sifat yang baik dan banyak digunakan dalam industri..

## 2. Pengelasan

Mengelas adalah proses menyambungkan dua logam atau paduan dengan panas di atas atau di bawah titik cair logam, dengan atau tanpa tekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. (Suharto, 1991). Oleh karena itu, pengelasan adalah proses menggabungkan dua logam menggunakan peralatan khusus.

Pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan metalurgi menggunakan berbagai sumber panas. (Wiryosumarto, 1996). Pengelasan adalah proses penyambungan yang menggabungkan dua bahan dengan memanaskannya hingga suhu pengelasan, dengan atau tanpa tekanan, atau hanya dengan tekanan, dan dengan atau tanpa menggunakan logam

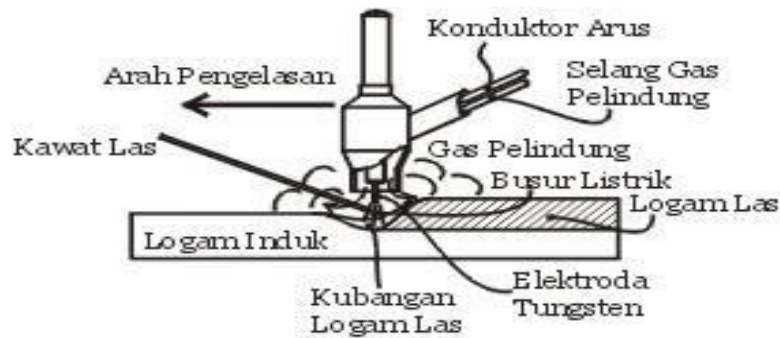
pengisi. Teknik pengelasan banyak digunakan dalam konstruksi, termasuk perkapalan, pipa saluran, bejana tekan, jembatan, dan rangka baja lainnya.

Pengelasan GTAW dan pengelasan GMAW adalah dua metode pengelasan yang dapat digunakan pada logam aluminium dan gabungannya.

**a) Proses GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)**

Dalam proses pengelasan ini, sebagian logam induk mencair karena pemanasan busur listrik (Herry, 2016). Busur listrik yang muncul di antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja adalah cara pengelasan GTAW ini dilakukan. Menggunakan gas seperti Argon dan Helium sebagai gas pelindung adalah prinsip utama proses GTAW. Proses GTAW elektrodanya terbuat dari *Wolfram* (*Tungsten*) yang mana tidak ikut menjadi cair. Untuk penyuplaian logam las, kawat las, yang merupakan logam pengisi atau filler metal, dibuthkan secara manual. Gambar 2.2 menunjukkan skema proses GTAW atau TIG.



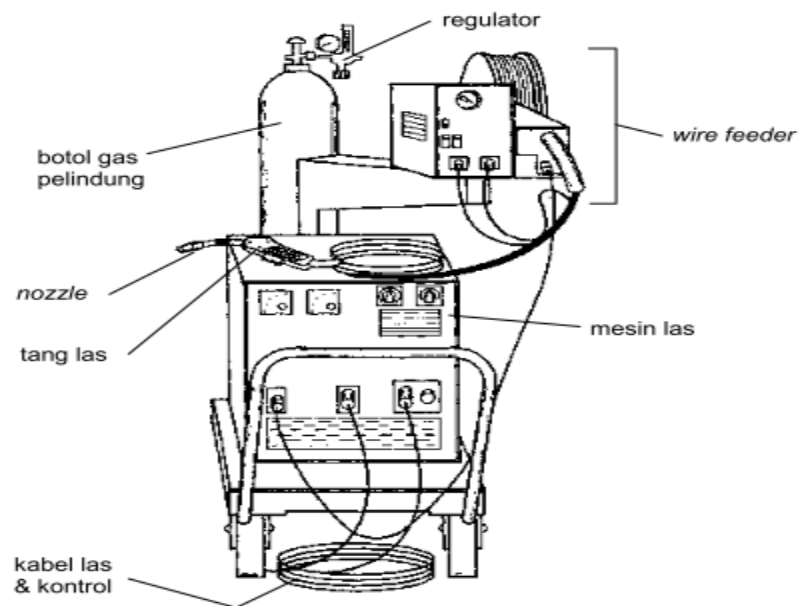


Gambar 2.2 Skema Proses GTAW (Herry, 2016)

#### b) Proses pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding)

Pengelasan GMAW adalah cara untuk menyambungkan logam dengan memanaskan dua bahan atau lebih melalui busur listrik. (Prasetya & Rusiyanto, 2017). Pengelasan ini memiliki elektroda yang diatur sesuai kebutuhan tertentu. Gas mulia seperti argon (Ar), helium (He), atau keduanya dapat digunakan, yang merupakan jenis gas yang dikenal sebagai gas tidak aktif (MIG), serta gas aktif, seperti CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan nitrogen (N), yang dikenal sebagai gas aktif logam (MAG). (Wardani, Carsoni, & Ma'mun, 2021). Dalam proses pengelasan, gas pelindung, juga dikenal sebagai gas perlindungan, berfungsi untuk melindungi logam las supaya tidak bersentuhan dengan udara terdekat. Jika ada kesalahan pada gas pelindung, ini akan mempengaruhi hasil pengelasan dan dapat menyebabkan cacat. (A, Syahroni, & Hadiwidodo, 2018). Peralatan utama yang digunakan dalam pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding) adalah mesin las, botol gas pelindung, regulator gas

pelindung, unit pengontrol elektroda (wire feeder), kabel las dan kabel kontrol, tang las dan nozzle. (AusAiD, 2001).



Gambar 2.3 Perlengkapan pengelasan GMAW

### 1) Kelebihan dan kekurangan pengelasan GMAW

Kelebihan :

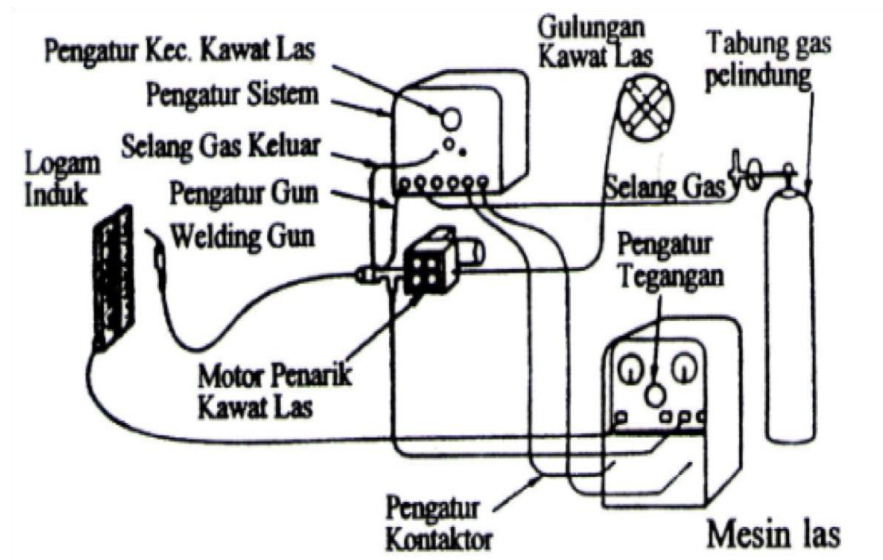
- Bisa dioperasikan secara otomatis dan semi-otomatis
- Tidak terdapat slag setelah selesai dalam mengelas
- Proses pengerjaan cepat dan sangat efisien
- Cocok digunakan untuk pekerjaan konstruksi

Kekurangan :

- Biaya perawatan lebih mahal
- Dapat terjadi burnback pada saat pengelasan berlangsung

- Dapat terjadi cacat porosity
- Akibat penggunaan yang kurang maksimal, mengakibatkan busur tidak stabil
- Set-up awal yang sulit

## 2) Peralatan mesin GMAW



Gambar 2.4 peralatan las GMAW

- **Mesin las**
- Mesin utama yang digunakan untuk proses pengelasan GMAW memiliki banyak komponen listrik yang berguna untuk mengkonversi energi listrik menjadi panas dan melakukan banyak fungsi lainnya.
- **Tabung Gas.**  
Tempat penyimpanan gas pelindung (CO<sub>2</sub>, Ar, He).

- **Welding Gun.**

Gun las mengeluarkan gas dan kawat las untuk mengelas.

Jika ditekan dan didekatkan pada benda kerja, busur las akan menyala..

- **Gulungan kawat las.**

Kawat las GMAW memiliki diameter antara 0,6 hingga 1,6 mm, tetapi biasanya 1,2 mm. Tempat kawat las digulung dimasukkan ke dalam alat yang disebut feeder kawat.

- **Wire feeder**

Ada pengatur motor penarik, ampere, dan voltase pada feeder kawat las. Fungsinya adalah untuk mengontrol kecepatan keluar kawat las.

- **Kabel Kawat Las.**

Tempat keluarnya atau jalannya kawat las dari feeder wire ke ujung gun las.

### 3) **Parameter pengelasan GMAW :**

yang dapat mempengaruhi hasil lasan dalam proses pengelasan arc gas tertutup adalah

- Voltase.
- Ampere.
- Kecepatan Las dan kecepatan kawat las.
- Mode Transfer.

#### **4) Jenis & Fungsi Gas Pelindung pada Las GMAW:**

➤ Gas CO<sub>2</sub>.

Biasanya, gas pelindung CO<sub>2</sub> ini digunakan untuk pengelasan logam atau baja karbon rendah. Jika digunakan untuk transfer metal spray, harus dicampur dengan gas pelindung lain seperti Argon dan Helium.

➤ Gas Inert (Helium dan Argon).

Pengelasan GMAW dengan gas argon dan helium biasanya digunakan untuk pengelasan bahan non-logam seperti baja tahan karat dan aluminium. Penggunaan gas ini menghasilkan las dengan sifat mekanik yang baik dan penetrasi yang lebih dalam dibandingkan dengan perlindungan gas CO<sub>2</sub>.

#### **5) Kawat Las GMAW**

Dua kelompok besar elektroda digunakan dalam las busur, menurut Wiryosumarto, H., dan Okumura, T. (2000: 16). Kelompok elektroda tak terumpan menggunakan batang wolfram sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik tanpa mencair, sedangkan kelompok elektroda terumpan menggunakan kawat las sebagai elektroda.

Bahan penambah yang digunakan dalam pengelasan dikenal sebagai filler. Metal tersebut digunakan ketika kampuhnya cukup lebar dan diperlukan kekuatan sambungan

sekuat bahan dasar yang utuh. Dalam proses pengelasan, komposisi kimiawi bahan penambah didasarkan pada komposisi kimiawi bahan induk. Dalam teknik pengelasan, pilihan filler metal ditentukan oleh faktor-faktor berikut: Bahan filler harus dipilih dengan tepat terhadap bahan induk.

1. Kuat tarik yang mendekati bahan dasar
2. Keuletan ( toughness ) yang mendekati bahan dasar
3. Konduktivitas listrik bahan filler
4. Konduktivitas termal bahan filler
5. Ketahanan terhadap serangan karat
6. Tampak wujud yang baik.

Untuk kawat las GMAW diklasifikasikan dengan kode ER XXS-X yang mempunyai pengertian sebagai berikut.

- Kode ER : Electrode atau Welding Rod.
- Kode XX : Kekuatan tarik dari kawat las x 1000 psi, misalnya jika diisi 70 berarti  $70 \times 1000$  psi.
- Kode S : Solid Wire, artinya bentuk dari kawat las GMAW adalah Solid atau tidak berongga.
- Kode X : kode dari komposisi kimia kawat las.

### **3. kerangka box sleding**

kerangka/ Rangka adalah struktur datar yang terdiri dari sejumlah batang yang disambungkan satu sama lain pada ujungnya sehingga membentuk rangka kokoh. Rangka berfungsi untuk mendukung gaya atau

beban yang bekerja pada sistem tersebut. Untuk memenuhi tugasnya, beban harus ditumpu dan diletakan pada peletakan-peletakan tertentu.

Kerangka box sleding adalah sebuah rangka variasi pada behel motor diperuntukan bagi penjual yang menggunakan sepeda motor dengan sistem slide/geser sehingga dapat memudahkan penjual ketika akan pengisian bahanbakar sepeda motor tanpa perlu menurunkan bawaannya/dagangannya.

#### **4. Uji kekerasan**

Kekerasan adalah sifat yang dapat diandalkan sebagai pengganti kekuatan bahan, dan karena pengukurannya mudah, bahan ini banyak dipilih. Ada beberapa jenis alat penguji kekerasan yang berbeda yang digunakan tergantung pada bahan, kekerasan, ukuran, dan elemen lainnya dari produk ( Tata & Kenji, 2006).

Uji kekerasan menguji kemampuan suatu benda untuk menahan tekanan yang tepat sehingga benda tersebut akan mengalami deformasi ketika gaya tertentu diberikan padanya. Tergantung pada metode pengujian, ada tiga kategori kekerasan yang umum. Ini adalah kekerasan goresan (*hardness of scratch*), kekerasan lekukan (*hardness of incision*), kekerasan pantulan (*hardness of rebound*), atau kekerasan dinamik (*hardness of dynamic*). Dalam rekayasa, hanya kekerasan lekukan logam yang menjadi perhatian utama. (Dieter, 1933:328).

Ketahanan sebuah benda kerja terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan yang lebih keras (penetrator) dapat diukur melalui pengujian

kekerasan, yang dilakukan dengan menekan bola baja atau piramida intan pada permukaan benda kerja dan mengukur bekas tekanan dari penetrator.

Dalam aplikasi manufaktur, material diuji dengan dua tujuan: untuk mengetahui karakteristik material baru dan untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi spesifikasi kualitas tertentu. Pengujian kekerasan melibatkan menekan sebuah indenter ke permukaan benda uji. Angka kekerasan dihitung berdasarkan hasil penekanan.

Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui tingkat kekerasan suatu bahan dengan menggunakan metode Brinell, Rockwell, Vickers, dan Micro hardness. Dua metode yang paling umum digunakan untuk melakukan pengujian kekerasan adalah:

a) Metode Dinamis (*Dynamical Methode*)

Salah satu ciri metode dinamis adalah:

- Stres muncul secara tiba-tiba..
- Waktu penetrasi yang cepat (*Short penetration time*).
- Ketelitian rendah (*Low accuracy*).
- Pengujian dilakukan dalam waktu singkat..

Ada beberapa jenis tes kekerasan yang dilakukan dengan teknik ini, antara lain: *Shore scleroscope*, *Herbert*, *Hammer Poldi*, dsb.

b) Metode Statis (*Statical Methode*)

Karakteristik metode statis adalah sebagai berikut:

- Dengan beban tertentu, pembebanan terjadi secara bertahap.



- Waktu penetrasinya panjang (*Long penetration time*).
- Ketelitian tinggi (*High accuracy*).
- Metode dinamis membutuhkan waktu lebih lama

Jenis pengujian kekerasan seperti *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, *Vickers micro hardness*, dan *Knoop micro hardness* adalah beberapa contoh yang menggunakan metode ini.

Tabel 2.6 Karakteristik uji kekerasan

<b>Cara Pengujian</b>	<b><i>Brinell</i> (HB)</b>	<b><i>Rockwell</i> (HRA, HRB, HRC)</b>	<b><i>Vickers</i> (HVN)</b>
<b>Penekan (Indentor)</b>	Bola baja Ø10 mm karbida	Kerucut intan 120 <sup>0</sup> , Bola baja $\frac{1}{16} - \frac{1}{2}$	Piramida intan sudut bidang 136 <sup>0</sup>
<b>Beban</b>	500-3000 kg	Beban mula 10 kg, Beban total 660, 100, 150 kg	1-120 kg
<b>Kekerasan</b>	Beban luas penekan	Dalamnya penekanan	Beban luas penekanan

Sumber : (Dieter, 1993:30)

Metode pengujian statis adalah yang paling umum digunakan untuk menguji kekerasan. Metode ini didasarkan pada hasil pengujian yang lebih akurat dan dapat dikategorikan berdasarkan sasaran dari material yang akan diuji, yaitu :

- a) Pengujian kekerasan *Brinell, Rockwell, dan Vickers* digunakan untuk mengukur kekerasan suatu material.
- b) Test kekerasan mikro digunakan untuk mengukur kekerasan fasa pada struktur mikro atau lapisan tipis dari suatu material.

Pengujian kekerasan yang dilakukan yakni dengan metode vicker. Untuk material yang lunak, seperti aluminium, pengujian kekerasan Vickers tepat digunakan. Sesuai dengan standar ASTM E92, kekerasan vicker diuji. Dengan pembebanan 100 kgf, intan piramida digunakan sebagai indentor. Diameter indentasi didapat dari pengujian, yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan.

Uji kekerasan *vickers* dirumuskan dengan:

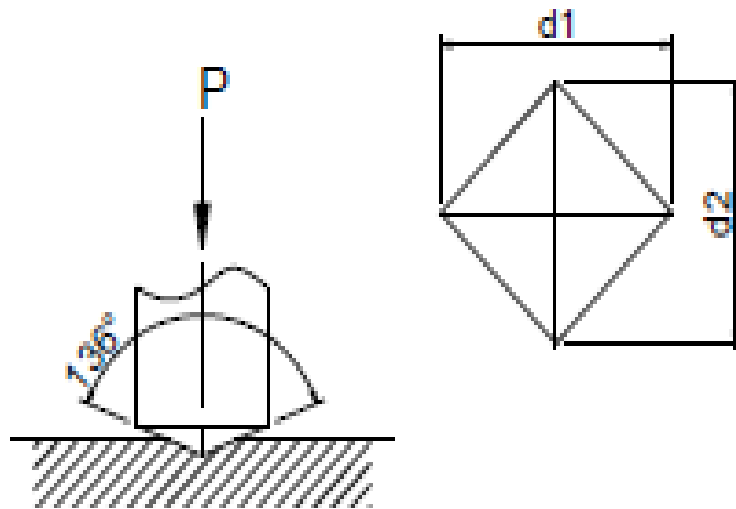
$$VHN = \frac{1,854P}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

VHN = *Vickers Hardnes Number* (VHN)

P = Beban yang menginjak atau menekan (kg)

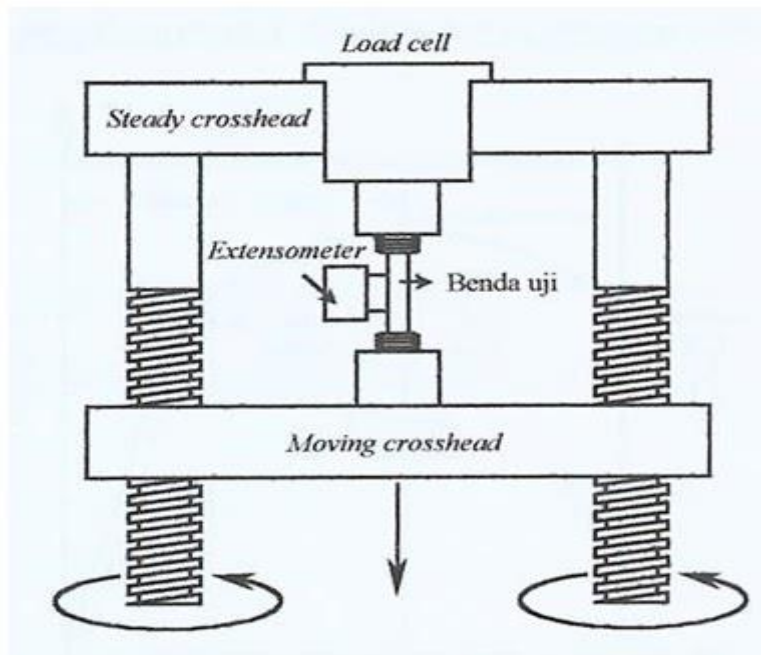
d = Diameter injakan penetrator (mm)



Gambar 2.5 Parameter dasar uji kekerasan *vickers*

## 5. Uji tarik

Salah satu metode pengujian bahan yang paling dasar adalah uji tarik. Proses pengujiannya mudah dan diakui oleh standar global (Amerika ASTM E8 dan Jepang JIS 2241). Uji tarik menunjukkan bagaimana suatu bahan bereaksi terhadap energi tarikan dan seberapa panjangnya. Uji tarik ini membutuhkan alat eksperimen dengan cengkraman yang kuat dan kekakuan yang tinggi.



Gambar 2.6 Skema pengujian tarik

Sumber : dari ASTM E8

Nilai modulus elastis suatu benda, yang juga merupakan perbandingan antara regangan pada daerah proporsional, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Surdia, 1995).

Rumus berikut digunakan untuk menghitung tingkat tarik:

- Rumus tegangan tarik

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

- Rumus regangan tarik

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

F = Beban (N)

A<sub>o</sub> = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Regangan

$l_i$  = Panjang akhir (mm)

$l_o$  = Panjang awal (mm)

$\Delta l$  = Pertambahan panjang (mm)

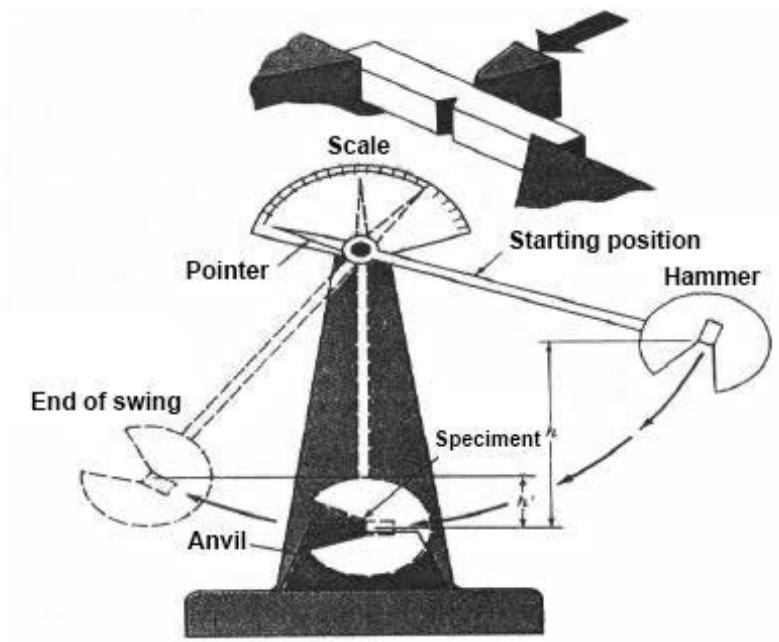
## 6. Uji impact

Pengujian kuat impact mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Metodenya bergantung pada pendulum beban yang berayun dari ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga mengalami deformasi.

Dalam pengujian impact, energi yang diserap oleh benda uji biasanya diukur dalam satuan joule dan dibaca langsung pada skala petunjuk yang sudah dikalibrasi pada mesin penguji. Ini menunjukkan ketahanan atau ketangguhan bahan terhadap benturan.

Alat uji impact biasanya dimasukkan ke dalam dua kategori sampel: batang uji izod yang umum di Inggris dan Eropa dan uji charpy yang biasa digunakan di Amerika. Benda uji charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar 10 mm x 10 mm, dengan jari-jari 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Takiknya berbentuk huruf V dengan sudut 45°.

Skema pengujian tekanan charpy adalah sebagai berikut:



Gambar 2.7 Skema pengujian *impact charpy*

Sumber: (Hamdi, 2011)

Berikut ini adalah rumus untuk beban charpy yang diuji:

$$HI = \frac{E}{A} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$E = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

E = Energi yang diserap untuk mematahkan *specimen* (J)

G = Berat *hammer* (N)

R = Panjang pendulum (m)

HI = Harga *impact* per satuan luas ( $J/cm^2$ )

A = Luas penampang *specimen* ( $mm^2$ )

$\alpha$  = Besarnya sudut awal jatuh pendulum ( $^{\circ}$ )

$\beta$  = Besarnya sudut pantul pendulum setelah menabrak specimen ( $^{\circ}$ ),

Dimana E adalah energi yang diserap dalam satuan joule dan luas penampang di bawah takik satuan  $\text{mm}^2$ .

## 7. Energi listrik

Listrik adalah energi yang dapat diubah menjadi energi lain untuk menghasilkan panas, cahaya, kimia, atau gerak (mekanik), menurut Frick dan Setiawan (2002). Kegiatan sehari-hari, seperti menyalakan lampu dan alat elektronik lainnya, menunjukkan betapa pentingnya listrik.

Mohruni (2013) menyatakan bahwa tegangan tarik, dan susunan struktur mikro spesimen dipengaruhi oleh kekuatan kuat arus pengelasan. Ini disebabkan oleh fakta bahwa arus listrik yang diberikan pada spesimen seharusnya meningkatkan masukan panasnya, atau masukan panas, dan nilai kekerasan spesimen seharusnya semakin tinggi pada arus listrik rendah dan tegangan tarik spesimen seharusnya semakin rendah pada arus listrik tinggi.

Rumus energi listrik

$$E = V \times I \times t \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

E = Energi listrik (J)

V = Tegangan (V)

$t = \text{Waktu (s)}$

## **8. PERSYARATAN PENGELASAN**

### **1. Kemampuan prosedur**

Dalam proses produksi, ada lima komponen penting yang dikenal sebagai 5M: manusia, mesin, bahan (material), cara (metode), dan manajemen. Prosedur pengelasan yang ditentukan harus mempertimbangkan keempat komponen di atas untuk membuat rencana konstruksi las yang baik, yaitu manusia harus mengingat kemampuan dan keterampilan pekerjaannya. Jika Anda mencari mesin las, Anda harus mempertimbangkan kemampuan mesin lasnya, baik yang ada di pabrik maupun yang digunakan di lapangan. Pemilihan metode yang tepat untuk menjalankan seluruh konstruksi adalah yang paling penting, dan yang terakhir, manajemen harus memiliki kemampuan untuk mengatur pelaksanaan sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan.

### **2. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam prosedur pengelasan**

- a. Sangat penting untuk memastikan bahwa pengelasan dapat dilakukan dengan posisi elektroda yang seharusnya.
- b. Sangat penting bahwa juru las dapat melihat busur listrik.
- c. Sangat penting untuk memastikan bahwa pengelasan dapat dilakukan di posisi yang alami.

### **3. Instalasi pengelasan busur logam**

- a. sumber daya yang dapat berupa arus bolak balik (AC) atau arus searah (DC).



- b. Kabel timbel las dan pemegang electrode
- c. Kabel balik las ( bukan timbel hubungan ke tanah ) dan penjepit

## **B. Tinjauan pustaka**

Mutombo dkk (2010), melakukan penelitian tentang “*sifat mekanik dari aluminium AA 5083 H116 setelah pengelasan manual dan otomatis las GMAW dengan elektroda ER5356*”. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan otomatis mempunyai nilai lebih baik daripada pengelasan manual berdasarkan hasil pengujian tarik.

A Naufal, Jokosisworo dan Samuel (2016) “*pengaruh arus listrik dan sudut kampuh V terhadap kekuatan tarik dan tekuk aluminium 5083 pengelasan GTAW*”, Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kampuh las dan faktor arus listrik dalam proses pengelasan sangat berpengaruh pada kualitas hasil pengelasan berdasarkan kekuatan. Dengan sudut kampuh 80o, arus 130 A memiliki keadaan yang paling ideal. Ini memberikan kekuatan tarik sebesar 150,4 N/mm<sup>2</sup> dan regangan sebesar 0,70%, serta kekuatan tekuk sebesar 591,38 N/mm<sup>2</sup>. Selain pengujian, spesimen juga diuji menggunakan software Ansys LS-Dyna. Hasilnya menunjukkan kekuatan tarik spesimen 139000000 pa atau 139 N/mm<sup>2</sup> untuk beban tarik maksimum 17893,33 N pada sambungan las, kekuatan tarik spesimen 153000000 pa atau 153 N/mm<sup>2</sup> untuk beban tarik maksimum 18800 N, dan kekuatan tekuk spesimen 528000000 pa atau 528 N/mm<sup>2</sup> untuk beban tekuk maksimum 3619 N pada sambungan las selama 24 jam.

Afwandia dan Irfa’i (2016) meneliti tentang “*pengaruh kuat arus las MIG (Metal Inert Gas) terhadap kekuatan tarik sambungan V baja*

*tahan karat AISI 304*". Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus 90 A, 110 A, dan 120 A adalah yang terbaik, dengan nilai rata-rata 589,71 Mpa. Kekuatan sambungan las meningkat dengan arus lebih tinggi, tetapi pada 120 A, kekuatan las menurun, mungkin karena masukan panas yang berlebihan, yang menyebabkan logam las menjadi getas.

Laksono, Solichin dan Yoto (2017) tentang "*Analisa Kekuatan Tarik Alumunium 5083 Hasil Pengelasan GMAW Posisi 1G dengan Variasi Kuat Arus dan Debit Aliran Gas Pelindung*" yang menunjukkan kekuatan tarik tertinggi 21,04 kg/mm<sup>2</sup> dan terendah 9,14 kg/mm<sup>2</sup> untuk pengelasan dengan arus 125A dan 90A dengan aliran gas pelindung 16 L/menit dan 14 L/menit, masing-masing.

Rusnoto, Agung Prasetyo N, dkk, (2022) tentang "*variasi temperatur pemanasan mula pada sifat mekanik pengelasan baja ss400*". Nilai kekerasan rata – rata terbesar terjadi pada variasi suhu preheating 1100 C yaitu menghasilkan kekerasan rata – rata 164,63 HB. Sedangkan pada variasi suhu preheating 900 C dan 1000 C memiliki nilai kekerasan rata – rata 154,57 HB, dan 152,91 HB, hanya suhu 1100 C yang mengalami kenaikan, dan suhu 900° C dan suhu 1000 C mengalami penurunan dari raw material dengan nilai kekerasan sebesar 156,22 HB. Nilai bending rata – rata terbesar terjadi pada variasi suhu preheating 1100 C yaitu menghasilkan bending rata – rata 81,11 N/mm<sup>2</sup> . Sedangkan pada pada variasi suhu preheating 900 C dan 1000 C memiliki nilai kuat tarik

rata – rata 66,52 N/mm<sup>2</sup> , dan 81,07 N/mm<sup>2</sup> , semuanya mengalami kenaikan dari raw material dengan nilai bending sebesar 51,59 N/mm<sup>2</sup>.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, atau uji coba langsung. Dalam penelitian, metode eksperimen melibatkan melakukan percobaan untuk menghasilkan hasil. Hasil dari percobaan ini akan menunjukkan bagaimana hubungan (sebab-akibat) antara variabel-variabel yang diteliti berada. (Arikunto,1998).

Dimana penelitian ini menggunakan plat Aluminium 5083 dengan ketebalan 5 mm. Alat penelitian ini menggunakan mesin las GMAW dengan variasi arus 80A, 90A, 100A, aliran gas yang digunakan 20L/menit dengan jenis elektroda ER5356 dengan diameter 0,8 mm. Dengan menggunakan uji kekerasan, tarik, dan *impact*, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perubahan arus mempengaruhi sifat mekanis yang dihasilkan.

#### **B. Waktu Dan Tempat Penelitian**

##### **1. Waktu Penelitian**

Keseluruhan kegiatan penelitian digambarkan dalam tabel berikut:

Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian

No.	Kegiatan	Bulan					
		Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul
1	Pengajuan judul proposal						
2	Penyusunan proposal						
3	Seminar proposal						
4	Pembuatan spesimen						
5	Pengujian specimen dan pengolahan data						
6	Penyusunan laporan						
7	Ujian skripsi						

## 2. Tempat Penelitian

### a) Tempat pembuatan specimen

Dilakukan di UPTD Industrial Lab Komplek LIK Takaru, kabupaten Tegal.

b) Tempat pengujian

Dilakukan di Laboratorium Industri UPTD di Komplek LIK Takaru kab. Tegal dan Laboratorium Bahan Teknik UGM Yogyakarta.

### C. Instrumen Penelitian

1. Bahan Penelitian

a) Plat aluminium

Penelitian ini menggunakan plat aluminium.



Gambar 3.1 plat aluminium

Plat aluminium 5083 yang digunakan memiliki komposisi berikut:

Tabel 3.2 komposisi aluminium 5083 (ASM, 2005)

Unsur	Presentase
Aluminium	92,4 – 95,6 %
Kromium	0,05 – 0,25 %
Tembaga	< 0,1 %
Besi	< 0,4 %
Magnesium	4 - 4,9 %
Mangan	0,4 – 1 %

Silikon	< 0,4 %
Titanium	< 0,15 %
Zink	< 0,25 %

b) Elektroda

Elektroda yang digunakan adalah ER5356 dengan diameter 0,8mm yang digunakan dalam pengelasan aluminium magnesium.



Gambar 3.2 kawat las/elektroda

Spesifikasi

1. sangat baik flowability
2. wide penerapan
3. beredar permeabilitas
4. intensitas tinggi
5. berlaku untuk industri kimia

Standar:

AWS A5.10

ASME SFA A5.10



Keterangan:

ER5356 adalah paduan aluminium tujuan umum yang biasanya dipilih untuk kekuatan geser yang agak tinggi. Selain itu, ketika terkena air garam, menawarkan ketahanan korosi yang sangat baik. ER5356 harus dipertimbangkan untuk pengelasan seri 5000 aluminium basis bertemu.

komposisi kimia Metal(%) deposit

Elemen	Si	Fe	Cu	MN	Mg	CR	Zn	TI
Sampel	< 0,25	< 0,40	< 0,10	0,05-0.2	4,5-5,5	0,05-0.2	0,10	0.06-0.2

Keterangan Metal(%) deposit

ITEM	Tarik Strength(MPa)	Elongation(%)
Standar	$\geq 100$	$\geq 5$

### c) Gas Argon

Pada saat pengelasan, gas argon berfungsi sebagai pelindung agar hasil las tidak terpengaruh oleh udara luar yang dapat mempengaruhi hasil las.



Gambar 3.3 Tabung gas argon

## 2. Alat-alat penelitian

### a) Mesin las GMAW

Mesin utama yang digunakan dalam proses pengelasan GMAW memiliki banyak komponen listrik yang membantu mengkonversi energi listrik menjadi panas.



Gambar 3.4 mesin las GMAW

b) Mesin milling

Mesin milling ini digunakan untuk meratakan permukaan pada specimen setelah proses pengelasan.



Gambar 3.5 mesin milling

c) Gerinda

Digunakan untuk memotong plat sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.6 gerinda

d) Penggaris

Alat bantu untuk mengukur pembuatan specimen.



Gambar 3.7 penggaris baja

e) Topeng las

digunakan untuk menjaga mata aman selama proses pengelasan GMAW.



Gambar 3.8 Topeng las

f) Sarung tangan las

Digunakan untuk melindungi tangan pada saat pengelasan.



Gambar 3.9 sarung tangan las

g) Tang penjepit

Digunakan untuk memindahkan spesimen setelah di las.



Gambar 3.10 tang penjepit

3. Alat pengujian

a) Alat penguji kekerasan

Kekerasan vickers adalah alat uji kekerasan yang digunakan untuk mengukur kekerasan suatu material



Gambar 3.11 alat uji kekerasan

b) Alat penguji tarik

Untuk mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarik



Gambar 3.12 alat uji Tarik

c) Alat penguji *impact*

Dalam uji *impact*, bahan diuji dengan memberikan tekanan langsung pada bahan spesimen dengan alat yang dikenal sebagai *impact charpy*.

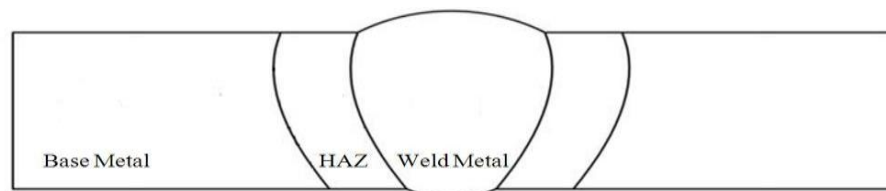


Gambar 3.13 alat uji *impact charpy*

4. Desain benda uji

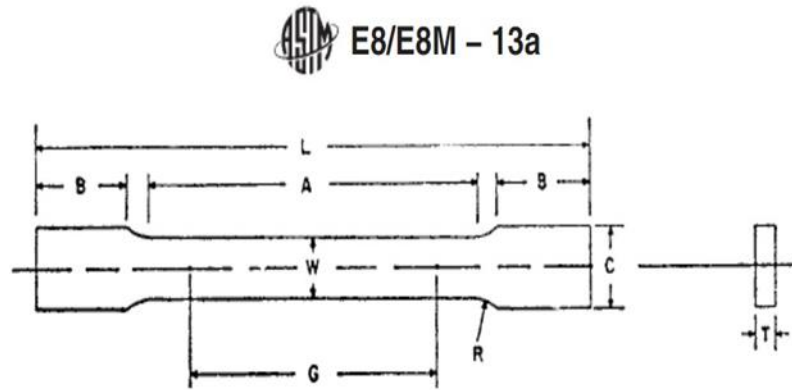
a) Spesimen uji kekerasan

Setelah menghaluskan dengan mesin milling potong pelat 10 cm x 5 cm dengan resin sebagai dudukan agar pelat tidak bergerak selama pengujian.



Gambar 3.14 titik pengujian kekerasan

b) Spesimen uji tarik ASTM E8

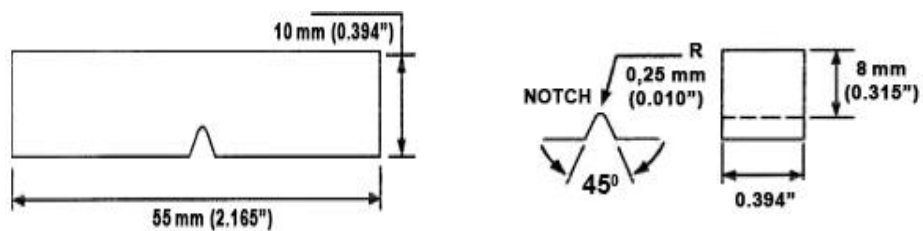


Gambar 3.15 spesimen uji Tarik

Keterangan :

- 1)  $G = 50 \text{ mm}$
- 2)  $B = 65 \text{ mm}$
- 3)  $W = 13 \text{ mm}$
- 4)  $C = 25 \text{ mm}$
- 5)  $T = 5 \text{ mm}$
- 6)  $L = 200 \text{ mm}$
- 7)  $R = 10 \text{ mm}$

c) Spesiman uji *impact charpy* JIS Z 2005 ed 2006



Gambar 3.16 spesimen uji *impact charpy*



Keterangan :

- 1)  $P = 55 \text{ mm}$
- 2)  $T = 10 \text{ mm}$
- 3) Sudut  $V = 45^\circ$

#### **D. Prosedur penelitian**

1. Tahap proses pengelasan
  - a) Mempersiapkan bahan dan alat pengelasan
  - b) Menentukan ukuran dan bentuk dimensi spesimen
  - c) Pengelasan posisi datar bawah tangan
  - d) Menentukan arus listrik yang digunakan untuk pengelasan yaitu:
    - 1) 80 A
    - 2) 90 A
    - 3) 100 A
  - e) Menyetel aliran gas 20L/menit
  - f) Kemudian spesimen di las sesuai dengan arus yang telah ditentukan
  - g) Pendinginan dilakukan dengan udara ruangan
  - h) Kemudian spesimen di *milling* pada daerah lasnya agar permukaannya rata

2. Tahap akhir

Hasil pengelasan telah dibuat dan dibentuk menjadi spesimen siap uji pada tahapan terakhir ini. Setelah itu, uji kekerasan dilakukan. uji tarik, uji *impact* dilakukan.

## **E. Variabel Penelitian**

### 1. Variabel bebas

Dengan mengukur, melihat, dan memanipulasi faktor-faktor yang akan digunakan dalam penelitian, disebut variable bebas. Variable penelitian ini adalah variasi arus pengelasan dengan metode Gas Metal Arc Welding (GMAW), dengan arus pengelasan sebagai berikut:

1. 80 Ampere
2. 90 Ampere
3. 100 Ampere

### 2. Variabel terikat

Variable terikat adalah faktor yang harus diamati dan diukur untuk mengetahui apakah pengaruh variable bebas berubah. Pengujian kekerasan, tarik, dan dampak adalah variabel yang digunakan dalam penelitian ini.

## **F. Metode Pengumpulan Data**

### 1. Observasi

Observasi dilakukan di Lab. Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal, dan UPTD Laboratorium Perindustrian Kab. Tegal. Dimana penulis mencatat informasi meliputi bagaimana pengaruh variasi arus listrik terhadap sifat mekanis pada bahan aluminium.

## 2. Interview

Penulis mengumpulkan data dengan cara tanya langsung ke Pembimbing.

## 3. Eksperimen

Penulis melakukan eksperimen langsung dengan tujuan mengetahui bagaimana pengaruh variasi arus listrik pada pengelasan aluminium terhadap sifat mekanis yang dihasilkan

## 4. Studi pustaka

penulis mencari data dan informasi melalui dokumen-dokumen baik itu skripsi, jurnal maupun tugas akhir yang telah lampau untuk mendukung dalam proses penulisan.

## G. Metode Analisa Data

Dalam penelitian ini, analisis deskriptif akan digunakan untuk menganalisis data. Ini akan menggunakan data dari uji kekerasan, uji tarik, dan uji impact untuk menghasilkan rata-rata angka. Semua data ini akan diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghasilkan data kuantitatif atau numerik. sehingga lebih mudah dipahami dan membantu menyelesaikan masalah penelitian. Akibatnya, analisis data dapat didefinisikan sebagai pengolahan data yang telah dikumpulkan.

Tabel 3.3 contoh tabel uji kekerasan

Material	Daerah uji	Titik uji	VHN	VHN Rata-rata
Aluminium 5083	Base Metal	Titik 1		
		Titik 2		
		Titik 3		
	HAZ	Titik 1		
		Titik 2		
		Titik 3		
	Weld Metal	Titik 1		
		Titik 2		
		Titik 3		

Tabel 3.4 Data hasil uji tarik

No.	Spesimen	Panjang benda uji p(mm)	Lebar benda uji l(mm)	Luas penampang A = p×l (mm)	Beban F (N)	Kekuatan tarik $\sigma = \frac{F}{A_0}$
1	80A					
2						
3						
<b>Rata-rata</b>						
1	90A					
2						
3						
<b>Rata-rata</b>						
1	100A					
2						
3						
<b>Rata-rata</b>						

Tabel 3.5 Data hasil uji *impact charpy*

No.	Spesimen	Energi <i>impact</i> E (J)	Berat <i>hammer</i> G (N)	Panjang pendulum R (m)	Harga <i>impact</i> HI (j/cm <sup>2</sup> )	Luas penampang A (mm <sup>2</sup> )	Sudut awal jatuh pendulum A	Sudut pantul pendulum $\beta$
1	80A							
2								
3								
<b>Rata-rata</b>								
1	90A							
2								
3								
<b>Rata-rata</b>								
1	100A							
2								
3								
<b>Rata-rata</b>								

## H. Diagram Alur Penelitian

