

**PENGARUH PENGGUNAAN GAS ARGON + CO<sub>2</sub> DAN TANPA GAS PADA  
PENGELASAN GMAW BAJA AISI 1045**

(Skripsi)

Oleh:

**Bagas Muharam Pratama**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

**PENGARUH PENGGUNAAN GAS ARGON + CO2 DAN TANPA GAS PADA  
PENGELASAN GMAW BAJA AISI 1045**

**Oleh:**

**BAGAS MUHARAM PRATAMA**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### PENGARUH PENGGUNAAN GAS ARGON + CO<sub>2</sub> DAN TANPA GAS PADA PENGELASAN GMAW BAJA AISI 1045

Oleh:

Bagas Muharam Pratama

Pengelasan GMAW merupakan suatu proses pengelasan yang sering menggunakan campuran gas Argon dan CO<sub>2</sub> sebagai gas pelindung. Pengelasan ini menggunakan sumber panas energi listrik yang diubah menjadi energi panas. Sementara Baja AISI 1045 merupakan baja yang memiliki kadar karbon antara 0,43 dan 0,50% sehingga tergolong dalam baja karbon sedang. Baja ini banyak digunakan karena mempunyai sifat mampu las yang baik (*machinability*). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh gas pelindung (*shielding gas*) dan tanpa Gas Metal Arc Welding (GMAW) terhadap sifat sambungan las berbahan baja AISI 1045, serta kekuatan sambungan las yang dibuat menggunakan dua prosedur pengelasan GMAW. Variasi gas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Argon+CO<sub>2</sub> dan tanpa gas pelindung dan arus yang digunakan yaitu 100 *Ampere*.

Dari pengujian yang dilakukan, diketahui bahwa hasil uji visual terhadap pengelasan GMAW menggunakan gas pelindung Ar+CO<sub>2</sub> dan tanpa gas menghasilkan karakteristik pengelasan yang berbeda dimana pengelasan menggunakan gas pelindung lebih mengkilap dan tanpa gas pelindung lebih gelap. Sementara untuk perbandingan hasil uji tarik dan uji impak apabila menggunakan gas Ar+CO<sub>2</sub> dan tanpa gas dengan menggunakan arus 100 *Ampere*, hasil pengujian pengelasan tanpa gas pelindung menghasilkan hasil yang lebih optimal.

Kata kunci: Pengelasan GMAW, Uji Visual, Uji Impak, Uji Tarik

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF USING ARGON + CO<sub>2</sub> GAS AND WITHOUT GAS ON GMAW WELDING OF AISI 1045 STEEL**

By:

Bagas Muharram Pratama

GMAW welding is a welding process that often uses a mixture of Argon and CO<sub>2</sub> gas as a protective gas. This welding uses a heat source, electrical energy which is converted into heat energy. Meanwhile, AISI 1045 steel is steel that has a carbon content of between 0.43 and 0.50%, so it is classified as medium carbon steel. This steel is widely used because it has good weldability (machinability). This research aims to examine the effect of shielding gas and without Gas Metal Arc Welding (GMAW) on the properties of welded joints made from AISI 1045 steel, as well as the strength of welded joints made using two GMAW welding procedures. The gas variation used in this research is Argon+CO<sub>2</sub> and without protective gas and the current used is 100 Ampere.

From the tests carried out, it is known that the visual test results of GMAW welding using protective gas Ar+CO<sub>2</sub> and without gas produce different welding characteristics where welding using protective gas is brighter and without protective gas is darker. Meanwhile, to compare the results of the tensile test and impact test when using Ar+CO<sub>2</sub> gas and without gas using a current of 100 Ampere, the welding test results without protective gas produced more optimal results.

Keywords: GMAW Welding, Visual Test, Impact Test, Tensile Test

Judul Skripsi

: PENGARUH PENGGUNAAN GAS ARGON + CO2  
DAN TANPA GAS PADA PENGELASAN GMAW  
BAJA AISI 1045

Nama Mahasiswa

: *Bagas Muharam Pratama*

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1915021022

Program Studi

: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

*[Signature]*  
Ir. Tarkono, S.T., M.T., IPP.

*[Signature]*  
Prof. Ir. Irza Sukmana. S.T., M.T., Ph.D., IPU.

NIP 19700415 199803 1 002

NIP 19700812 200112 1 001

Ketua Jurusan

Ketua Program Studi

Teknik Mesin

S1 Teknik Mesin

*[Signature]*  
Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.

*[Signature]*  
Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP 19710817 199802 1 003

NIP 19701104 199703 2 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua Penguji**

**: Ir. Tarkono, S.T., M.T., IPP.**



**Anggota Penguji**

**: Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU.**



**Penguji Utama**

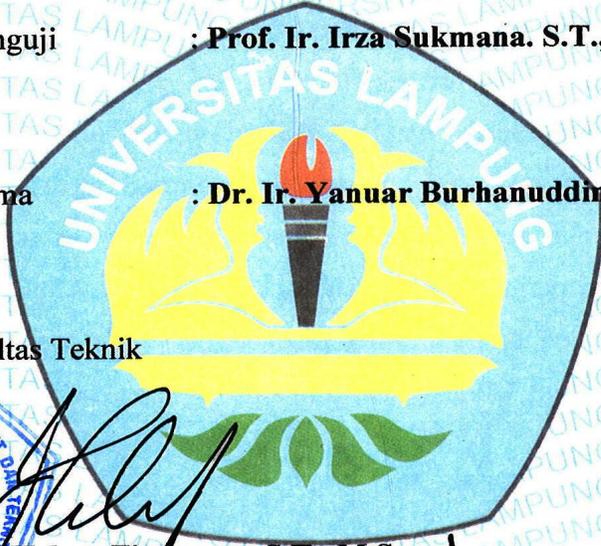
**: Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ✓**

**NIP. 19750928 200112 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 20 Desember 2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelat akademik (Sarjana), baik di Universitas Lampung maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dari komisi pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Bandar Lampung, 29 November 2023

Membuat Pernyataan,



Bagas Muharam Pratama

NPM. 1915021022

## RIWAYAT HIDUP



Penulis Bernama lengkap Bagas Muharam Pratama, yang dilahirkan di Kalianda, 27 Maret 2001. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara, yang merupakan putra dari Bapak Sutiyono Herianto dan Ibu Susilawati. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 1 Way Urang dan diselesaikan pada tahun 2013, selanjutnya sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Kalianda yang lulus pada tahun 2016 dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Kalianda yang diselesaikan pada tahun 2019. Kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi tahun 2019 pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Kepala Bidang Danus pada Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) pada tahun 2021/2022. Penulis mengabdikan ilmu dan keahlian yang dimiliki kepada masyarakat dengan melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ketapang Kecamatan Ketapang Kabupaten Lampung Selatan pada gelombang 1 tahun 2022 dan penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. South East Asian Pipe pada tahun 2022.

## **MOTTO**

“ Karena sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al Insyirah: 5)

“Tantangan adalah sesuatu yang membuat hidup lebih menarik dan mengatasinya adalah sesuatu yang membuat hidup ini bermakna.”

(Anonim)

## **PERSEMBAHAN**

### **Alhamdulillah Hirobbil Alamin,**

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kemudahan untuk segala urusan serta memberikan rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat mempersembahkan tulisan ini sebagai tanda terimakasih dan kasih sayang kepada:

### **Kedua Orang Tua**

Bapak Sutiyono Herianto dan Ibu Susilawati atas cinta dan kasih sayang yang selalu diberikan serta didikan, dukungan, pengorbanan, kesabaran dan doa-doa yang tiada henti yang senantiasa mengiringi langkahku.

### **Adikku**

Rhima Agustin Putri.

### **Para Pendidik dan Bapak Ibu Dosen**

Yang telah berjasa memberikan bimbingan dan ilmu yang sangat berharga melalui ketulusan dan kesabaran.

### **Almamaterku Tercinta**

Universitas Lampung

## SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puja dan puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Penggunaan Gas Argon+CO2 Dan Tanpa Gas Pada Pengelasan GMAW Baja AISI 1045".

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terwujud tanpa adanya suatu usaha maksimal, bimbingan serta bantuan baik moril maupun materil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini perkenankanlah penulis mengucapkan terimakasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan ridho serta keberkahannya ilmunya, penulis sudah diberikan kesehatan, kekuatan dan kemampuan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Kedua orangtua yang aku sayangi dan aku banggakan, Bapak Sutiyono Herianto dan Ibu Susilawati, terimakasih atas segala doa, didikan, pengorbanan dan kasih sayang yang telah diberikan.
3. Rektor, Wakil Rektor dan segenap pimpinan serta tenaga kerja Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Ir.Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan banyak dukungan, selama penulis menempuh pendidikan.
7. Bapak Ir. Tarkono, S.T., M.T., IPP. Selaku dosen pembimbing satu yang sudah melunagkan waktunya untuk memberikan pengarahan serta

memberikan banyak saran dan kritik yang bermanfaat dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Bapak Prof. Irza Sukmana. S.T., M.T., Ph.D., IPU. selaku dosen pembimbing dua yang memberikan saran-saran perbaikan, nasihat serta motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
9. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan nasihat, motivasi, dan kritik serta masukan positif dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Segenap dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mendidik, memberikan ilmu dan nasihat selama proses perkuliahan.
11. Untuk adiku tercinta Rhima yang tidak pernah lelah membantu penulis dalam segala keadaan.
12. Untuk Nenek yang senantiasa berdoa yang terbaik bagi penulis.
13. Untuk bibi-bibiku yang tidak kenal lelah mendukung penulis.
14. Untuk sepupu-sepupuku tersayang, Andi, Jeti, Bila, Gibran, Fadil, Fadhli, Ayra. Terimakasih atas senyuman dan tawa kalian menjadi semangatku dalam menjalankan pendidikan.
15. Untuk Chintia Irma yanti partner terbaik. Terimakasih selalu support dan selalu menemani disaat susah maupun senang, terimakasih sudah menjadi teman cerita dan tukar pikiran, Terimakasih untuk selalu ada, semoga kamu selalu dalam lindungan Allah SWT Aamiin.
16. Terimakasih untuk teman ku sejak sekolah di TK Depag Ihza M.K yang senantiasa memberikan semangatnya kepada penulis, terimakasih selalu menemani dan menghibuku, Semoga kita tetap menjalin silaturahmi dengan baik.
17. Untuk teman-temanku Rafli, Yopan, Irham, Kristo, Alfandi, Dayat, Dewa, Rafi, Randi, Ari, Edo. Terimakasih atas canda tawa dan dukungan yang kalian berikan membuat semangat penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
18. Teman-teman jurusan Teknik Mesin angkatan 2019 yang telah berbagi ilmu, pengalaman dan kebersamaan selama proses perkuliahan.

19. Untuk teman-teman KKN terimakasih atas segala memori kebersamaannya
20. Untuk HIMATEM, terimakasih untuk segala kesempatan yang diberikan membuat penulis lebih mengembangkan diri dan memiliki banyak teman.

Penulis berdoa dan berharap kepada Allah SWT membalas semua kebaikan, motivasi, dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis. Akhir kata penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari kata sempurna, namun penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 29 November 2023

Penulis

Bagas Muharam Pratama

## DAFTAR ISI

|                                       | <b>Halaman</b> |
|---------------------------------------|----------------|
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                | <b>i</b>       |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>             | <b>iii</b>     |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>             | <b>iv</b>      |
| <b>I. PENDAHULUAN .....</b>           | <b>1</b>       |
| 1.1 Latar Belakang.....               | 1              |
| 1.2 Tujuan Penelitian.....            | 3              |
| 1.3 Batasan Masalah.....              | 3              |
| 1.4 Sistematika Penulisan.....        | 4              |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>      | <b>5</b>       |
| 2.1 Tinjauan Tentang Pengelasan.....  | 5              |
| 2.2 Tinjauan Tentang Baja .....       | 15             |
| 2.3 Baja AISI 1045 .....              | 18             |
| 2.4 Pengujian Tarik .....             | 19             |
| 2.5 Pengujian Impak.....              | 22             |
| 2.6 Pengujian Visual.....             | 24             |
| <b>III. METODE PENELITIAN.....</b>    | <b>25</b>      |
| 3.1 Diagram Alir.....                 | 25             |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian ..... | 26             |
| 3.3 Alat dan Bahan .....              | 26             |
| 3.4 Prosedur Penelitian.....          | 32             |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>  | <b>39</b>      |
| 4.1 Analisa Uji Visual .....          | 39             |
| 4.2 Analisa Uji Tarik .....           | 42             |
| 4.3 Analisa Uji Impak .....           | 46             |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| <b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b> | <b>52</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                 | 52        |
| 5.2 Saran.....                      | 53        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>         | <b>54</b> |

**DAFTAR TABEL**

| Tabel   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 1 Ketentuan umum peyetalan besaran arus dan tegangan..... | 12      |
| Tabel 2 Komposisi kimia baja AISI 1045.....                     | 19      |
| Tabel 3 Spesifikasi <i>impact testing machine</i> .....         | 28      |
| Tabel 4 Sifat mekanis baja AISI 1045 .....                      | 32      |
| Tabel 5 Contoh tabel data hasil uji visual.....                 | 37      |
| Tabel 6 Contoh tabel data hasil kekuatan pengujian tarik .....  | 38      |
| Tabel 7 Contoh hasil uji impak .....                            | 38      |
| Tabel 8 Data hasil uji visual.....                              | 40      |
| Tabel 9 Data hasil uji visual.....                              | 41      |
| Tabel 10 Hasil uji tarik.....                                   | 43      |
| Tabel 11 Hasil uji impak .....                                  | 47      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar   | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 1 Klasifikasi cara pengelasan .....                             | 7       |
| Gambar 2 Las OAW ( <i>Oxygen Acetyln Welding</i> ) .....               | 8       |
| Gambar 3 Proses las MIG ( <i>Metal Inert Gas</i> ).....                | 9       |
| Gambar 4 Proses las MAG ( <i>Metal Active Gas</i> ).....               | 10      |
| Gambar 5 Skema proses pengelasan GMAW.....                             | 11      |
| Gambar 6 Pemindahan sembur pada las MIG.....                           | 11      |
| Gambar 7 Las SAW ( <i>Submerged Arc Welding</i> ) .....                | 14      |
| Gambar 8 Proses las GTAW ( <i>Gas Tungsten Arch Welding</i> ).....     | 15      |
| Gambar 9 Spesimen sebelum dan sesudah pengujian tarik .....            | 20      |
| Gambar 10 Kurva tegangan dan regangan uji tarik .....                  | 20      |
| Gambar 11 Pembebanan metode <i>charpy</i> dan <i>metode izod</i> ..... | 23      |
| Gambar 12 Diagram alir penelitian.....                                 | 25      |
| Gambar 13 Mesin las GMAW .....   | 27      |
| Gambar 14 Mesin uji tarik .....  | 27      |
| Gambar 15 Mesin uji impak.....   | 28      |
| Gambar 16 Gerinda potong.....  | 29      |
| Gambar 17 Amplas .....   | 29      |
| Gambar 18 Jangka sorong.....   | 30      |
| Gambar 19 Gas Ar+Co <sub>2</sub> .....                                 | 30      |
| Gambar 20 Kawat las .....  | 31      |
| Gambar 21 Baja AISI 1045.....  | 31      |
| Gambar 22 Sketsa pembuatan bevel angle plat baja AISI 1045 .....       | 32      |
| Gambar 23 Spesimen uji tarik standar ASTM E-8 .....                    | 35      |
| Gambar 24 Spesimen uji impak standar ASTM E-23.....                    | 36      |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 25 Pengambilan uji visual .....                                 | 37 |
| Gambar 26 Hasil las menggunakan Gas Ar+Co2 tarik baja AISI 1045 .....  | 39 |
| Gambar 27 Hasil las menggunakan Gas Ar+Co2 tarik baja AISI 1045 .....  | 40 |
| Gambar 28 Perbandingan hasil las gas Ar+Co2 dan tanpa gas.....         | 41 |
| Gambar 29 Sampel 1 Uji tarik baja AISI 1045 dengan gas Ar+Co2 .....    | 43 |
| Gambar 30 Sampel 2 Uji tarik baja AISI 1045 dengan gas Ar+Co2.....     | 43 |
| Gambar 31 Sampel 3 Uji tarik baja AISI 1045 tanpa gas .....            | 44 |
| Gambar 32 Sampel 4 Uji tarik baja AISI 1045 tanpa gas .....            | 44 |
| Gambar 33 Grafik rata-rata uji tarik sampel Ar+Co2 dan tanpa gas ..... | 45 |
| Gambar 34 Sampel 1 Uji impak baja AISI 1045 dengan gas Ar+Co2 .....    | 47 |
| Gambar 35 Sampel 2 Uji impak baja AISI 1045 dengan gas Ar+Co2 .....    | 47 |
| Gambar 36 Sampel 3 Uji impak baja AISI 1045 dengan gas Ar+Co2 .....    | 48 |
| Gambar 37 Sampel 4 Uji impak baja AISI 1045 tanpa gas .....            | 48 |
| Gambar 38 Sampel 5 Uji impak baja AISI 1045 tanpa gas .....            | 48 |
| Gambar 39 Sampel 6 Uji impak baja AISI 1045 tanpa gas .....            | 49 |
| Gambar 40 Grafik rata-rata energi uji impak .....                      | 49 |
| Gambar 41 Grafik rata-rata nilai ketangguhan uji impak .....           | 50 |

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Bisnis konstruksi dan perbaikan logam sangat bergantung pada proses pengelasan, sehingga pengelasan memainkan peranan penting dalam industri pembangunan dan manufaktur. Pengelasan adalah teknik industri yang umum dibidang teknis seperti sector dirgantara, otomotif, dan maritime. Pengelasan menurut Wiryosumarto (2004), merupakan proses penggabungan lebih dari satu logam melalui penggunaan energi panas. Hal ini sesuai dengan pandangan Suratman, pengelasan juga dikatakan sebagai penggabungan cara meleburkan potongan logam dasar dan logam pengisi dilebur dengan menggunakan tekanan atau tidak sehingga memperoleh sambungan yang kontinyu (Suratman, 2006). Metode pengelasan yang banyak digunakan salah satunya adalah GMAW (*Gas Metal Arc Welding*).

Mengutip dari Fuadi (2015), pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) yaitu proses menyatukan logam menggunakan busur cair, elektroda kawat pilin, dan gas pelindung. Saat pengelasan menggunakan metode GMAW dimana kawat las pengisi (yang berfungsi juga sebagai elektroda) diumpankan secara kontinyu. Kawat las berfungsi sebagai elektroda dan bahan kerja dalam pengelasan busur gas atau GMAW. Elektroda adalah kumparan kawat yang digerakan motor listrik. Gas pelindung digunakan untuk mencegah logam cair teroksidasi oleh udara lingkungan. Cacat porositas terbentuk ketika oksigen bereaksi dengan logam cair, menciptakan lubang-lubang kecil, sehingga dapat melemahkan sambungan las. Argon dan helium digunakan sebagai gas pelindung dalam

pengelasan MIG, sedangkan karbon dioksida, oksigen, dan hydrogen digunakan dalam pengelasan MAG. Beberapa faktor, antara lain tegangan, kecepatan pengumpanan kawat, kecepatan pengelasan, laju aliran gas, dan jenis kawat elektroda, mempengaruhi kualitas sambungan las GMAW. Baja tahan karat sering dilas menggunakan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) karena mengandung gas pelindung. Salah satu baja yang sering digunakan dalam pengelasan GMAW yaitu Baja AISI 1045.

AISI 1045 merupakan baja karbon yang biasanya memiliki kandungan karbon antara 0,43 dan 0,50 %, sebagaimana ditentukan oleh *American Iron and Steel Institute* (AISI). Baja ini merupakan baja karbon sedang yang banyak digunakan karena kekuatan dan daya tahannya yang mana telah digunakan secara luas dalam lingkungan industri. Karena baja ini dapat dibentuk dengan menggunakan berbagai peralatan perkakas pemrosesan (Purnomo, 2011). Angka 45 pada penunjukan AISI 1045 menunjukkan bahwa 0,45 % karbon terdapat dalam baja. Baja AISI 1045 memiliki ciri mekanik yang sangat baik, antara lain kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi, kemampuan las yang baik, dan sifat mekanik. Dalam perindustrian, baja AISI 1045 banyak digunakan untuk *gears*, baut, poros, dan batang penghubung.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Eko Hendry (2011) yaitu bahwa kekuatan tarik dan kekuatan impact baja karbon sedang bergantung pada campuran gas yang digunakan dan juga kekuatan arus yang dipakai pada saat mengelas.

Pengelasan GMAW pada baja AISI 1045 dapat dilakukan dengan atau tanpa gas pelindung. Pengelasan GMAW tanpa gas dapat menghasilkan sambungan las yang lebih cepat dan lebih efisien daripada pengelasan dengan gas pelindung. Namun, penggunaan gas pelindung dalam pengelasan GMAW dapat menghasilkan sambungan las yang lebih kuat dan berkualitas tinggi. Oleh karena

itu, penelitian ini bermaksud membandingkan pengelasan GMAW baja AISI 1045 dengan dan tanpa penggunaan gas pelindung.

Penelitian ini diharapkan menghasilkan metode pengelasan yang tepat untuk baja AISI 1045 dan meningkatkan pemahaman tentang kekuatan sambungan las pada pengelasan GMAW dengan dan tanpa gas pelindung pada baja AISI 1045. Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi industri dalam memilih metode pengelasan yang tepat untuk memperoleh hasil yang optimal dan efektif pada pengelasan baja AISI 1045.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini untuk mengkaji pengaruh gas pelindung (*shielding gas*) dan tanpa *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) terhadap sifat sambungan las berbahan baja AISI 1045, serta kekuatan sambungan las yang dibuat menggunakan dua prosedur pengelasan GMAW.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang dipakai pada penelitian ini yaitu baja AISI 1045.
2. Proses pengelasan pada penelitian ini yaitu *Gas Metal Arc Welding* (GMAW).
3. Variasi gas yang digunakan pada penelitian ini yaitu Argon+CO<sub>2</sub> dan tanpa gas pelindung.
4. Arus yang digunakan 100 A.
5. Pendinginan dengan suhu ruang (*normalizing*).
6. Pengujian kualitas pada penelitian ini yaitu uji visual, uji tarik, uji impak.

## 1.4 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab diantaranya:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab I membahas: latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematikan penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab II membahas landasan teori diantaranya mengenai: pengelasan, *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), baja, baja AISI 1045, sifat mekanis Baja AISI 1045, pengujian tarik, pengujian impak, dan uji visual.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Pada bab III membahas: tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian dan diagram alir penelitian.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV membahas: penyajian data dari hasil penelitian peneliti.

### **BAB V : SIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab V membahas: literatur yang dikutip pada penelitian.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Pada bagian ini berisikan: literatur yang digunakan dalam penelitian dan penyusunan laporan.

### **LAMPIRAN**

Pada bagian ini: melampirkan lampiran data sebagai bahan pendukung dalam penyusunan laporan.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Tinjauan Tentang Pengelasan**

#### **2.1.1 Pengertian Pengelasan**

Menurut Siswanto (2011), pengelasan diartikan sebagai proses penggabungan logam dimana logam dasar dan logam pengisi dilebur bersama-sama, dengan atau tanpa dimasukannya logam lain, untuk menghasilkan sambungan yang kontinyu. Definisi yang sama juga diungkapkan oleh Suwahyo (2011), adalah proses pemanfaatan panas untuk menyatukan dua logam atau lebih. Pengelasan juga adalah proses penggabungan komponen-komponen yang berbeda dengan memberikan panas dan tekanan yang cukup pada bagian-bagian yang terlibat (logam pengisi, yang memiliki titik leleh atau struktur yang sama atau berbeda, juga dapat dimasukan).

#### **2.1.1 Klasifikasi Las**

Secara konvensional, klasifikasi pengelasan mencakup berdasarkan kinerjanya dan berdasarkan konsumsi energi (Wiryosumarto, 2000). Pengelasan cair, pengelasan tekan, pengelasan solder, dan sebagainya merupakan contoh klasifikasi berbasis kinerja. Pengelasan listrik, pengelasan kimia, pengelasan mekanis, dan sebagainya merupakan subkategori berbasis energy. Klasifikasi berdasarkan metode kerja adalah yang paling umum dari kedua jenis kategorisasi tersebut. Pengelasan dapat dibagi menjadi tiga jenis diantaranya (Wiryosumarto, 2000):

1. Pengelasan Cair (*Fusion Welding*)

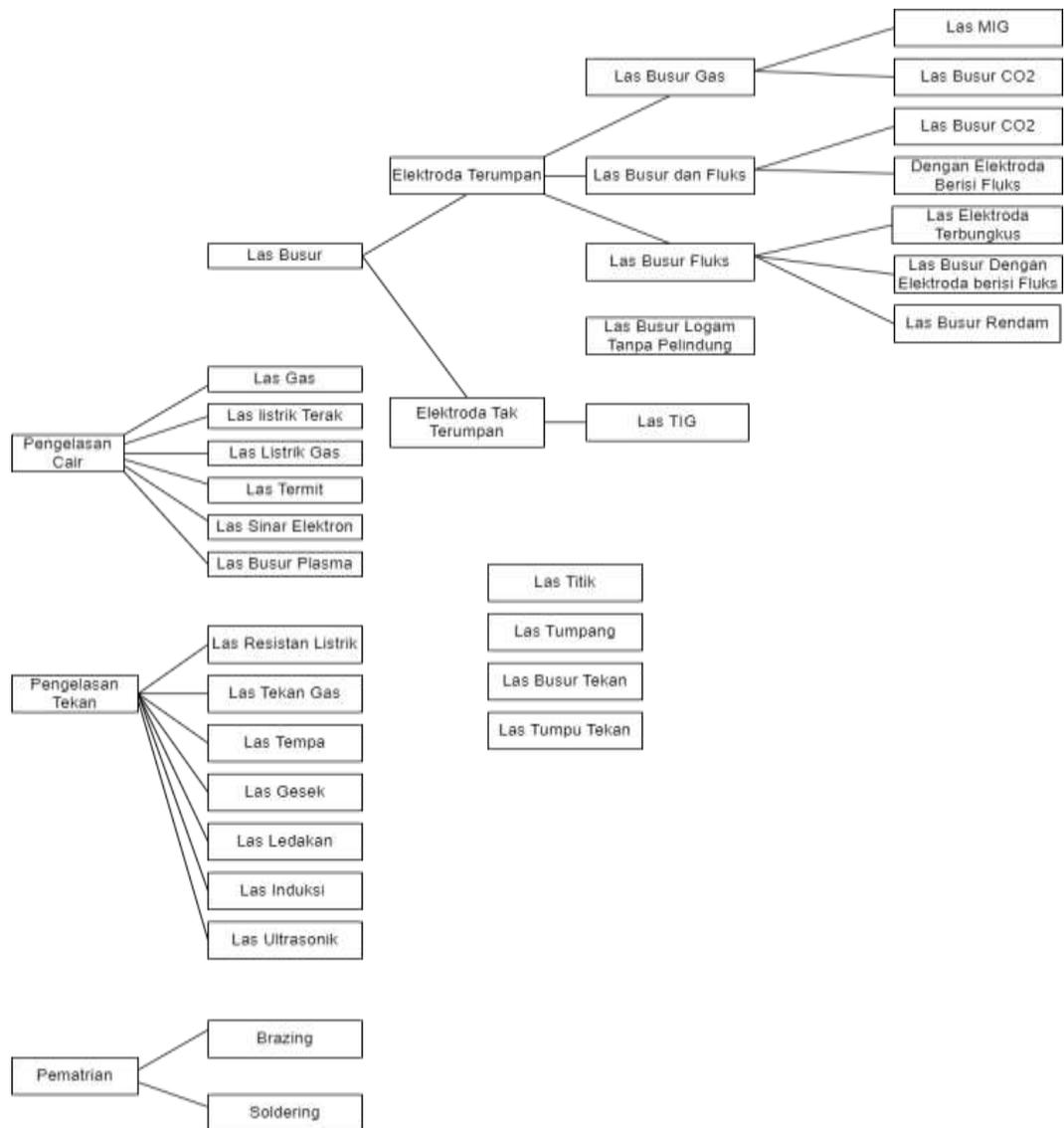
Dengan menggunakan busur listrik atau sumber panas yang menghasilkan gas yang mudah terbakar, sambungan tersebut dicairkan dalam pengelasan cair (Wiryosumarto, 2000).

2. Pengelasan Tekan (*Pressure Welding*)

Pengelasan tekan merupakan suatu metode pengelasan dimana sambungannya dipanaskan kemudian dikompresi (Wiryosumarto, 2000).

3. Pematrian

Dalam proses pengelasan yang disebut *Brazing*, paduan logam dengan titik leleh rendah digunakan untuk menyambung dan mengikat dua bagian yang dilas menjadi satu. Apabila dipanaskan dengan cara ini, logam dasar tidak akan meleleh (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 1 Klasifikasi Cara Pengelasan.

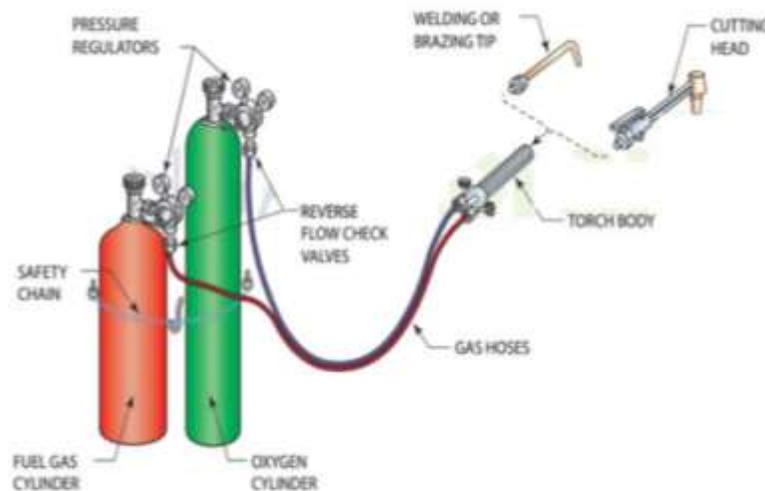
Sumber: Wiryosumarto, 2000

### 2.1.2 Jenis-jenis Pengelasan

Pengelasan cair menggunakan pengelasan busur dan gas adalah dua bentuk pengelasan yang paling umum digunakan saat ini. Berikut cara membedakan kedua jenis tersebut:

### 1. OAW (*Oxygen Acetyln Welding*)

Pengelasan karbida/gas panas, juga dikenal sebagai OAW, dibuat dengan membakar gas asetilen ( $C_2H_2$ ) dengan asam atau oksigen ( $O_2$ ), dan pengelasan OAW juga menggunakan gas propane ( $C_3H_8$ ). Pengelasan jenis ini menggunakan gas pembakaran yang dikeluarkan oleh *torch* untuk menghasilkan panas. Dalam pengelasan, logam pengisi dan logam dasar hanya dicairkan sebagai nyala api.



Gambar 2 Las OAW (*Oxygen Acetyln Welding*).

Sumber : (Jeffus, 2012)

### 2. Busur Logam Gas (*Gas Metal Arc Welding*)

Pengelasan busur logam gas, atau GMAW, adalah sejenis pengelasan busur gas dimana gas pelindung disemprotkan dari nosel ke kawat las dan elektroda. Perhatikan baik-baik teknik pengelasan, dan hilangkan atau minimalkan potensi sumber kesalahan pengelasan (Jukliv, 2014). Dengan melebur bahan pelengkap berupa kawat pilin dan gas pelindung, GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) menyatukan dua atau lebih logam sejenis.

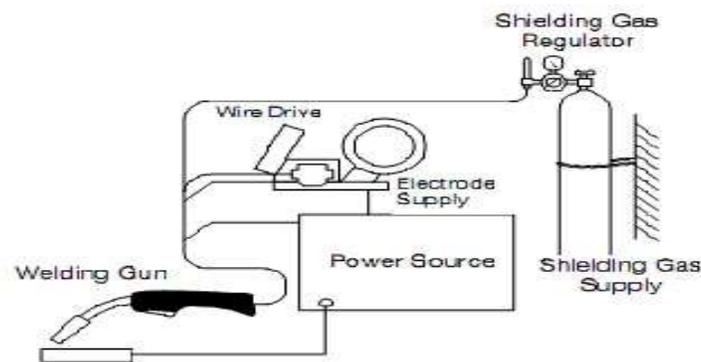
Produktivitas yang tinggi, penetrasi yang lebih baik, kebutuhan arus yang lebih rendah, percikan yang lebih kecil, dan kemampuan untuk dilakukan

dalam posisi pengelasan apa pun hanyalah beberapa dari banyak manfaat GMAW (*Gas Metal Arc Welding*). Teknik pengelasan ini lebih disukai dalam industri dimana alumunium digunakan sebagai bahan utama daripada baja karena dampak negatifnya terhadap lingkungan lebih sedikit, penghematan bahan bakar lebih besar, bobot lebih ringan, dan kapasitas bahan lebih tinggi. Teknik pengelasan ini, khususnya untuk alumunium mulai populer disektor transportasi karena bobotnya yang rendah dan kekuatannya yang tinggi.

Berdasarkan gas pelindung yang dipakai, proses las GMAW dibedakan menjadi dua jenis yaitu las MIG (*Metal Inert Gas*) yang memakai gas *inert* yaitu las *helium* (He), las *argon* dan MAG (*Metal Active Gas*) yang menggunakan gas aktif atau CO<sub>2</sub>.

#### 1. MIG (*Metal Inert Gas*)

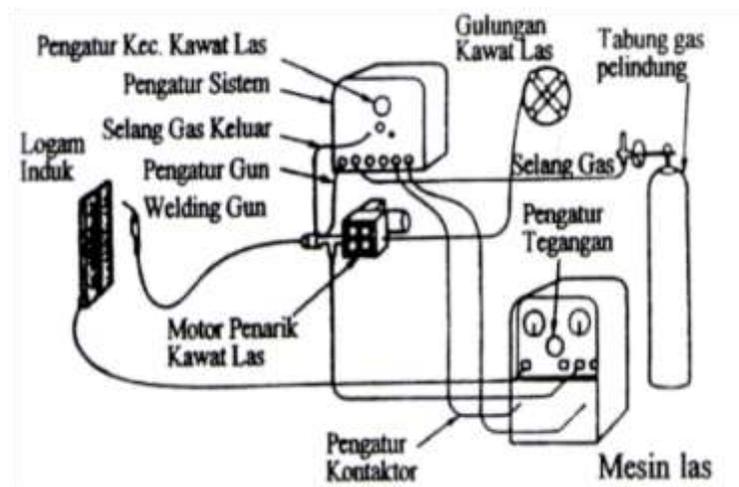
Dengan menggunakan kawat/elektroda spiral yang ditenagai motor listrik, metode pengelasan logam gas *inert* merupakan teknik pengelasan busur, seperti yang dijelaskan Dewanto dkk. (2016). Argon (Ar) dan helium (He) digunakan sebagai gas pelindung dalam pengelasan *gas inert* logam (MIG). Gambar 3 di bawah ini adalah gambar proses las MIG yang sedang bereaksi, sumber :



Gambar 3 Proses Las MIG (Metal Inert Gas).

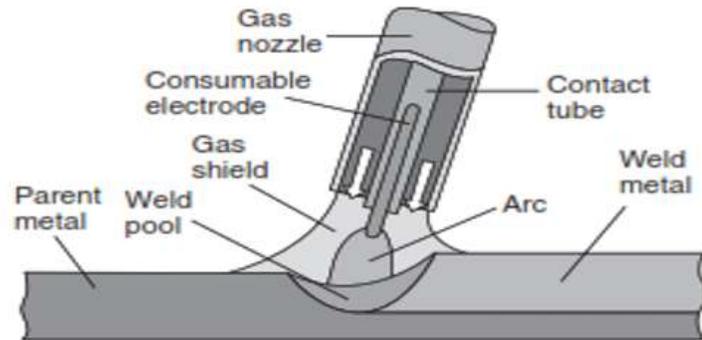
## 2. MAG (*Metal Active Gas*)

Pengelasan MAG (*Metal Active Gas*) merupakan bagian dari GMAW yang menggunakan gas karbon dioksida sebagai gas pelindung dengan elektroda bergulir yang ditenagai oleh motor listrik. Karena logam las cair menempel pada ujung elektroda, busur yang dihasilkan buruk, dan percikan api atau percikan mudah terbentuk saat menggunakan gas ini (Prabu Dewanto, 2016). Gambar 4 di bawah menggambarkan prosedur MAG:



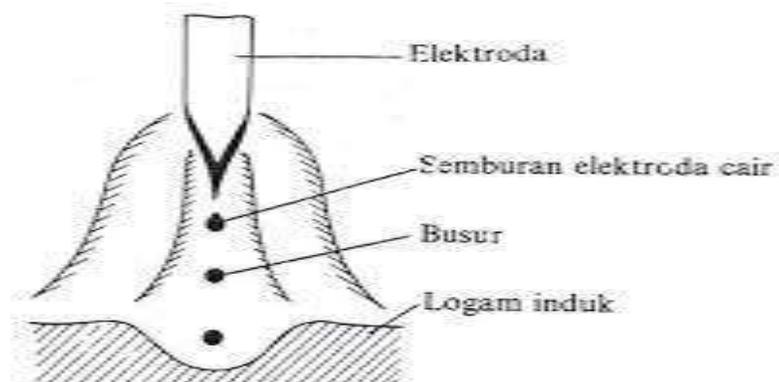
Gambar 4 Proses Las MAG (*Metal Active Gas*).

Gas mulia argon murni digunakan untuk melindungi busur pada saat pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) untuk menghindari oksidasi dan peleburan logam akibat pengaruh lingkungan. Logam pengisi disuntikan secara otomatis atau terus-menerus ke logam yang dilas selama proses pengelasan busur gas, dimana kawat logam (pengisi) berfungsi sebagai elektroda dan logam pengisi dan gas mulia bersama-sama berfungsi sebagai pelindung. Gambar 5 dibawah mengilustrasikan hal ini.



Gambar 5 Skema proses pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding).  
Sumber: (Mathers, 2002).

Karena alasan-alasan itu, pengelasan MIG secara rutin digunakan, dan lainnya, pengelasan MIG secara rutin digunakan, dan ini sangat populer untuk pengelasan baja berkualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat, dan aluminium. Logam bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara lain. Fitur-fitur yang disebutkan di atas sebagian besar dapat dikaitkan dengan sifat intrinsic busur. Dalam pengelasan MIG, seperti terlihat pada gambar 6, ujung elektroda tetap berorientasi pada arah busur. Hal ini menghasilkan gerakan seperti semprotan dan permukaan halus pada butiran logam cair (Wiryo Sumarto, 2000).



Gambar 6 Pemindahan Sembur pada las MIG  
Sumber: (Wiryo Sumarto, 2000).

Kawat elektroda untuk pengelasan MIG memiliki diameter 1,2 mm hingga 2,4 mm, dan proses pengelasan sering dilakukan secara otomatis atau semi otomatis menggunakan arus searah polaritas terbaik. Pelat alumunium tebal, seperti yang digunakan dalam tangki penyimpanan gas alam cair, baru-baru ini mengalami peningkatan dalam penggunaan pengelasa MIG dengan arus tinggi dan elektroda kawat dengan diameter 3,2 dan 6,4 mm (Wiryosumarto dkk,2000). Arus pengelasan dihitung menggunakan diameter elektroda, seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan umum penyetelan besaran arus dan tegangan, Sumber: (Kosasih, 2015).

| Diameter kawat | Arus (ampere) | Tegangan (volt) | Tebal bahan |
|----------------|---------------|-----------------|-------------|
| 0,6 mm         | 50-80         | 13-14           | 0,5-1,0 mm  |
| 0,8 mm         | 60-150        | 14-22           | 0,8-2,0 mm  |
| 0,9 mm         | 70-220        | 15-22           | 1,0-10 mm   |
| 1,0 mm         | 100-290       | 16-29           | 3,0-12 mm   |
| 1,2 mm         | 120-350       | 18-32           | 6,0-25 mm   |
| 1,6 mm         | 160-390       | 18-34           | 12,0-50 mm  |

#### a. Standar Parameter Pengelasan GMAW

Karena masukan panas digunakan secara luas di GMAW, penting untuk menyesuaikan pengaturannya. Berikut ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi pengelasan GMAW seperti yang dijelaskan oleh Aryanto (2012):

##### 1. Arus Listrik

Besarnya arus yang digunakan pada pengelasan bsuur listrik bisa mempengaruhi pengelasan GMAW seperti yang dijelaskan oleh Aryanto (2012):

##### 2. Kecepatan Pengelasan

Geometri sambungan, presisi sambungan, material yang dilas, diameter inti elektroda, dan kecepatan pengelasan semuanya berperan dalam seberapa cepat pengelasan selesai. Pengelasan cepat memerlukan arus pengelasan yang tinggi agar diperoleh hasil pengelasan yang baik, kecepatan pengelasan tidak ada hubungannya dengan tegangan. Jika kecepatan pengelasan dinaikan maka lebih sedikit panas yang dihasilkan per satuan panjang, sehingga pendinginan lebih cepat.

### 3. Gas Pelindung

Gas las MIG merupakan gas mulia karena bersifat inert dan tidak mudah bercampur dengan zat lain. Untuk mencegah cairan las teroksidasi oleh udara, digunakan gas pelindung las. Bahan pengisi dan bahan las tidak akan menyatu sempurna, namun sangat sulit ditemukan di pasaran, sehingga harganya di atas rata-rata. Gas Ar+CO<sub>2</sub> memiliki kelemahan yaitu menimbulkan lebih banyak percikan api sangat pengelasan.

### 4. Elektroda

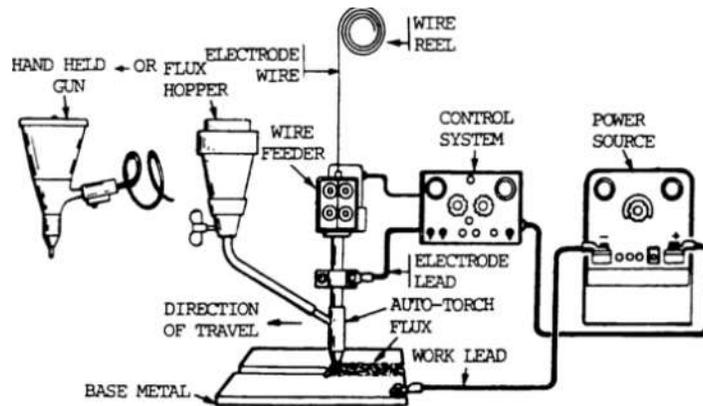
Dalam pengelasan MIG, elektroda ini berfungsi sebagai pembangkit busur dan logam pengisi. Dimensi elektroda bergantung pada material tertentu.

### 3. SMAW (*Shield Metal Arch Welding*)

Selama pengelasan SMAW, busur listrik tercipta antara elektroda dan benda kerja, sehingga melelehkan logam dasar. Elektroda adalah kawat yang dilapisi fluks untuk keamanan. Elektroda ini akan menyatu dengan logam dasar dan mengeras pada sambungan las selama proses pengelasan. Ketika logam di ujung elektroda meleleh dan menghasilkan butiran yang kemudian diangkut oleh arus busur listrik, hal tersebut membuat elektroda dapat digerakan. Butiran logam cair yang diangkut akan menjadi halus atau besar tergantung pada besarnya arus listrik yang digunakan.

#### 4. SAW (*Submerged Arc Welding*)

Pengelasan busur terendam (SAW) melibatkan pengumpanan logam pengisi secara terus menerus dalam bentuk kawat padat sambil melewati logam cair berlapis fluks melalui reservoir fluks. Busur listrik terendam seluruhnya dalam fluks selama jenis pengelasan ini, seperti terlihat pada gambar 7. Nama pengelasan busur terendam berasal dari pendekatan ini (Wiryo Sumarto H., 2000).



Gambar 7 Las SAW (*Submerged Arc Welding*).

#### 5. GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

GTAW, atau las busur tungsten gas, adalah jenis pengelasan yang menggunakan api busur yang dibuat dengan menggunakan elektroda tungsten atau yang murah. Sedangkan komponen pelengkap dibuat dari komponen yang sama atau sebanding dengan struktur utama. Gas argon atau gabungan gas argon dan helium sering digunakan sebagai gas pelindung pada pengelasan GTAW, seperti yang diungkapkan Dadang (Dadang, 2013).



### 2.3.1 Klasifikasi Baja

Buku pegangan ASM (1993), menyatakan bahwa baja dapat dikategorikan menurut susunan kimianya, dibagi menjadi beberapa kategori berikut:

#### A. Baja Karbon

Baja adalah logam besi yang hanya mengandung sejumlah kecil unsur seperti karbon, belerang, fosfor, silikon, mangan, dan sebagainya. Kandungan karbon dan struktur mikro suatu baja mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik khas material tersebut. Perlakuan panas dan komposisi baja sama-sama mempengaruhi struktur mikro baja karbon. Kekerasan baja, ketahanan gores, dan toleransi panas dapat ditingkatkan dengan menambahkan karbon dan elemen paduan lainnya untuk menghasilkan karbida. Salah satu cara mengkategorikan baja adalah berdasarkan kandungan karbonnya. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

##### 1. Baja Karbon Rendah

Jumlah karbon dalam baja karbon rendah kurang dari 0,3 persen. Karena konsentrasi karbonnya kurang dari 0,3 % C, baja ini tidak termasuk baja keras. Karena kekurangan karbon untuk menghasilkan struktur martensit, baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan (Amanto, 2003).

##### 2. Baja Karbon Sedang

Konsentrasi karbon baja karbon sedang, yang berkisar antara 0,3 % C hingga 0,5 % C, memungkinkan baja dikeraskan sebagian melalui perlakuan panas. Kekuatan baja ditingkatkan dengan penggilingan selama proses pengerjaan panas. Jika dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang lebih tangguh dan kuat (Amanto, 2003).

##### 3. Baja Karbon Tinggi

Baja panas yang mengandung 0,6%-1,5% karbon dikenal sebagai baja karbon tinggi. Batang bor dan batang pipih keduanya terbuat dari baja

ini, yang dibuat dengan menggerinda permukaannya. Peralatan mesin berat, roda kemudi, perkakas tangan seperti palu, obeng, gagang, kunci, pelat baja, pegas, dan berbagai peralatan pertanian merupakan contoh produk yang memerlukan perlakuan panas dan penggunaan baja tersebut (Amanto, 2003).

### **2.3.2 Sifat Mekanis Baja**

Sifat-sifat baja secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tangguh dan Ulet

Baja memiliki sifat padat yaitu kuat tarik, tekan atau lentur, hal tersebut membuat baja dapat dibentuk atau dicor menjadi berbagai bentuk namun tidak patah dan tetap kuat.

2. Elastisitas

Elastisitas merupakan sifat baja yang merupakan kemampuan untuk mengubah bentuknya sesuai dengan beban tertentu, tetapi mampu mempertahankan susunan partikel dibawah beban tertentu, tetapi mampu mempertahankan susunan partikel di bawah beban tertentu. Saat beban dihilangkan, baja kembali ke bentuk aslinya.

3. Kekenyalan atau Keliatan

Baja mempunyai kualitas ketahanan atau plastisitas jika mampu menahan pembaharuan dan gangguan structural yang besar tanpa modifikasi yang merugikan berupa kerusakan atau patahan yang tampak jelas dan dalam waktu yang relative singkat.

4. Dapat ditempa sifat baja ketika baja tersebut dalam proses merah pijar akan menjadi lunak sehingga dapat diubah atau ditempa sesuai keinginan.

5. Kekerasan baja mempunyai struktur yang kuat sehingga kekuatannya tahan terhadap masuknya pengotor/komponen/benda lain.

### 2.3 Baja AISI 1045

Menurut (Glyn dkk. 2001 dalam Purnomo 2011), AISI 1045 merupakan baja karbon dengan kandungan karbon 0,43 hingga 0,50 sehingga termasuk baja karbon sedang. Angka 45 pada AISI 1045 menunjukkan adanya 0,45% karbon dalam baja. Baja AISI 1045 menawarkan kualitas mekanik yang sangat baik termasuk kemampuan las, kekerasan, dan ketahanan aus. Baja AISI diperkirakan memiliki ketahanan aus yang cukup untuk bertahan terhadap keausan akibat gesekan rantai. Ketahanan aus suatu material diukur dari kemampuannya menahan abrasi atau hilangnya ukuran akibat gesekan. Kekuatan tarik untuk baja AISI 1045 berkisar 570 sampai 700 Mpa, sedangkan kekerasan *Brinell* adalah 170 hingga 210 BHN. Kemampuan las yang sangat baik, kemampuan mesin yang sangat baik, dan pengurangan beban kejut yang moderat merupakan atribut yang dicapai dengan memanaskan baja AISI 1045 hingga fase austenitiknya, yang terjadi antara 820 dan 860 derajat *celcius*.

Adapun data-data dari baja ini sebagai berikut:

1. Menurut standar *American iron and stell institute* (AISI), AISI 1045 disebut sebagai berikut: 1xxx = baja, 10xx = karbon steel, dan 45 = kandungan karbon (dalam persen).
2. Baja AISI 1045 setara dengan DIN C 45, JIS S 45 C, dan UNS G 10450, diantara standar lainnya.
3. Baja untuk aplikasi mekanis
4. Baja hipoeutektoid (dengan kandungan karbon kurang dari 0,8% C) karena struktur mikronya.
5. Kekuatan tarik, kekerasan, keuletan, ketangguhan, dan kemampuan las semuanya meningkat ketika kandungan karbon meningkat, sedangkan kemampuan tarik menurun. Bekerja pada suhu tinggi secara signifikan mengurangi efektivitasnya. Ketangguhanturun sangat signifikan dalam cuaca dingin.

Seperti terlihat pada tabel 2, baja AISI 1045 memiliki komposisi kimia sebagai berikut.

Tabel 2 Komposisi Kimia Baja AISI 1045

| Unsur        | Jumlah Kandungan |
|--------------|------------------|
| Carbon (C)   | 0,42-0,50%       |
| Iron (Fe)    | 98,51-98,98%     |
| Mangan (Mn)  | 0,60-0,90%       |
| Phosphor (P) | $\leq 0,040\%$   |
| Sulfur (S)   | $\leq 0,050\%$   |

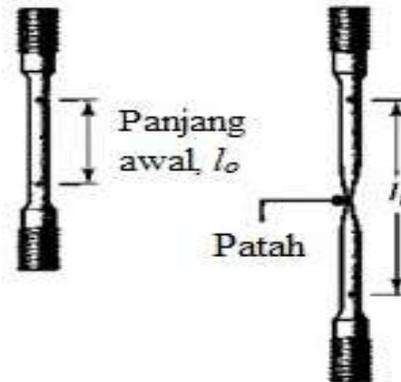
Sumber: (AZO Materials, 2014).

## 2.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengukur ketahanan tarik pada gaya tertentu, dan kata “pengujian tarik” digunakan untuk menggambarkan temuan yang dicapai dengan menarik suatu bahan ke titik di mana bahan tersebut mengalami tegangan dan regangan maksimum hingga putus atau patah (Davis, 2004). Jika anda menggunakan bahan berbeda untuk melakukan tes, hasil yang anda peroleh akan berbeda. Sifat material dapat berupa *elastic*, *plastic-elastic*, *plastic*, *hyperelastic*, *visco elastic*, dan *viscoplastic*.

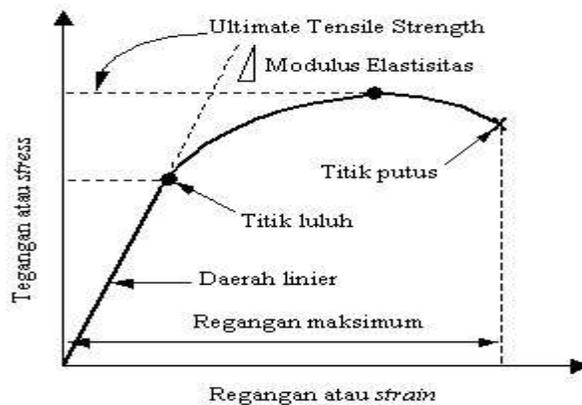
Gambaran lengkap tentang perilaku material di bawah tekanan mekanis dapat diperoleh melalui pengujian tarik benda uji berbentuk silinder atau datar yang disesuaikan dengan berbagai standar (ASTM, JIS, DIN, dan SNI) untuk material logam dan non-logam, yang informasinya mencakup batasan proporsionalitas, beban elastis, titik luluh, kekuatan putus, keuletan, modulus *young*, modulus ketahanan, modulus ketangguhan, dan kurva tegangan-regangan adalah istilah-istilah yang digunakan untuk menggambarkan sifat mekanik suatu bahan.

Dibawah ini merupakan skema pengujian tarik:



Gambar 9 Spesimen sebelum dan sesudah pengujian tarik (Kalpakjian *and* Schmid, 2009).

Untuk pengujian tarik dapat menggunakan Mesin Uji Universal, sampel dijepit pada mesin tarik sebelum secara progresif meningkatkan hingga sampel yang diinginkan patah. *Plotter* terhubung langsung dengan besaran beban dan perpanjangan, memungkinkan pembuatan grafik tegangan (Mpa) dan regangan (%) yang mengungkapkan informasi tentang tegangan leleh ( $\sigma_s$ ), tegangan ultimate (ult), modulus elastisitas material ( $\sigma_s$ ), dan modulus elastisitas material (E), ketangguhan, keuletan, yang mengalami uji tarik serupa dengan yang terlihat pada gambar 10:



Gambar 10 Kurva tegangan dan regangan uji tarik (Alpakjian, 2009)

Anda dapat mengukur respons material terhadap gaya tarik dan besarnya pertambahan panjangnya hanya dengan menarik material. Gambar 10 menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan, yang memperlihatkan bagaimana material merespons beban tarik hingga putus. Besar kecilnya beban yang diterapkan selama pengujian ini disebut sebagai kekuatan tarik maksimum, dan kekuatan luluh serta modulus elastisitas dapat dihitung darinya. Persentase pemanjangan dan pengurangan dan pengurangan luas dihitung dengan menggunakan panjang ultimet dan luas penampang benda uji setelah patah. Mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) menerapkan gaya tarik pada benda uji tarik, meregangkannya hingga retak. Dengan menggunakan persamaan berikut (Callister, 2007) karakteristik tarik dapat ditentukan dengan memberikan beban yang semakin besar pada benda uji hingga terjadi kegagalan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$E$  = Modulus elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)

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

$\varepsilon$  = Regangan

Regangan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_o}{L_o} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$\varepsilon$  =Regangan

$L$  =Panjang awal batang uji (mm)

$L_o$  =Panjang batang uji yang dibebani (mm)

Tegangan dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

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

$F$  =Beban (N)

$A_0$  =Luas Penampang batang uji (mm<sup>2</sup>)

## 2.5 Pengujian Impak

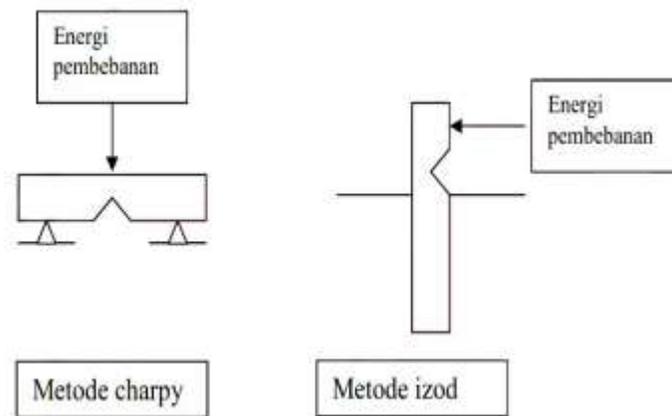
Uji impak melibatkan pembebanan cepat. Ketika dijatuhkan pada spesimen dalam uji ini, spesimen tersebut menyerap banyak energi. Perbedaan energi potensial dapat digunakan untuk menentukan jumlah energi yang diserap oleh sampel tersebut. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengukur berapa banyak energi yang dapat diambil oleh spesimen sebelum patah. Energi potensial maksimum dicapai ketika beban diangkat ke ketinggian tertentu; energi kinetik maksimum dicapai ketika beban dijatuhkan ke atas benda uji. Sampai benda uji benar-benar patah, benda uji tersebut akan menyerap sebagian energy kineetik maksimal yang mungkin diberikan padanya.

Menurut Dieter (1988), bahan dapat diklasifikasikan sebagai bahan rapuh atau ulet tergantung pada hasil uji tumbukan yang mengukur ketangguhan bahan tersebut. Perbedaan yang tidak dapat diperoleh dengan pengujian tegangan-regangan akan ditunjukkan melalui pengujian ini. Karena komponen gaya tegangan tiga dimensi batang uji tidak dapat diukur selama uji tumbukan, data tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan status patah batang uji. Selain itu, tidak ada konsensus mengenai cara menafsirkan atau menggunakan temuan uji dampak ini.

Patahan getas logam telah diukur dengan berbagai eksperimen tumbukan menggunakan batang uji dengan takik dengan pola yang bervariasi. Baik teknik *charpy* maupun pendekatan izod telah menetapkan standar untuk pengujian

impak. Berbeda dengan negara-negara Eropa lainnya yang didominasi oleh teknik *izod*, pendekatan *charpy* sangat populer di Amerika Serikat. Spesifikasi batang uji teknik *charpy* antara lain takik berbentuk V dan ukuran penampang 10 mm x 10 mm. Prosedur pembebanan uji impak *charpy* dan *izod* meliputi sudut 45 derajat, kedalaman takik 2 mm, dan radius pusat 0,25 mm.

Selanjutnya, sebuah pendulum berat (kecepatan pembebanan 5 m/s) diayunkan ke belakang sisi takikan batang uji *charpy* sambil bertumbu secara horizontal pada batang penopang. Tingkat regangan yang tinggi pada orde  $10^{3-1}$  s digunakan untuk membengkokkan batang uji hingga titik putusnya. Berbeda dengan batang uji tradisional, batang *izod* modern memiliki penampang yang berbeda dan lekukan berbentuk v ke arah ujung batang. Area lain dimana kedua pendekatan ini berbeda adalah pada saat pembebanan (Dieter, 1988). Gambar 11 menunjukkan prosedur ini dalam tindakan.



Gambar 11 *Pembebanan Metode Charpy dan Metode Izod.*

Kerentanan baja terhadap patah getas merupakan masalah serius dalam industri. Pada baja berkekuatan rendah, patah getas dapat menyebar dengan kecepatan hingga 2000 mm/detik, menyebabkan kerusakan signifikan dalam waktu singkat. Ketahanan patah getas suatu bahan dapat dievaluasi dengan melakukan eksperimen yang mempertimbangkan hal ini. Sejumlah faktor dinamik, termasuk

kecepatan regangan, takik, ketebalan pelat, dan tegangan sisa, dapat mempengaruhi patah getas. Ketangguhan dampak mengacu pada kemampuan material untuk menahan dampak yang kuat. Hal inilah yang membedakan pengujian dampak dengan prosedur pembebanan yang lebih lambat seperti pengujian tarik dan kekerasan.

## 2.6 Pengujian Visual

Pengujian visual merupakan pengujian peralatan dan struktur dengan menggunakan indera manusia yaitu penglihatan. Teknik inspeksi las seperti inspeksi partikel magnetik, pengujian *liquid dye penetrant test* (PT), inspeksi x-ray, dan pengujian ultrasonic 22 (UT) semuanya merupakan metode pengujian non-destruktif, meskipun pengujian visual adalah salah satu yang paling umum.

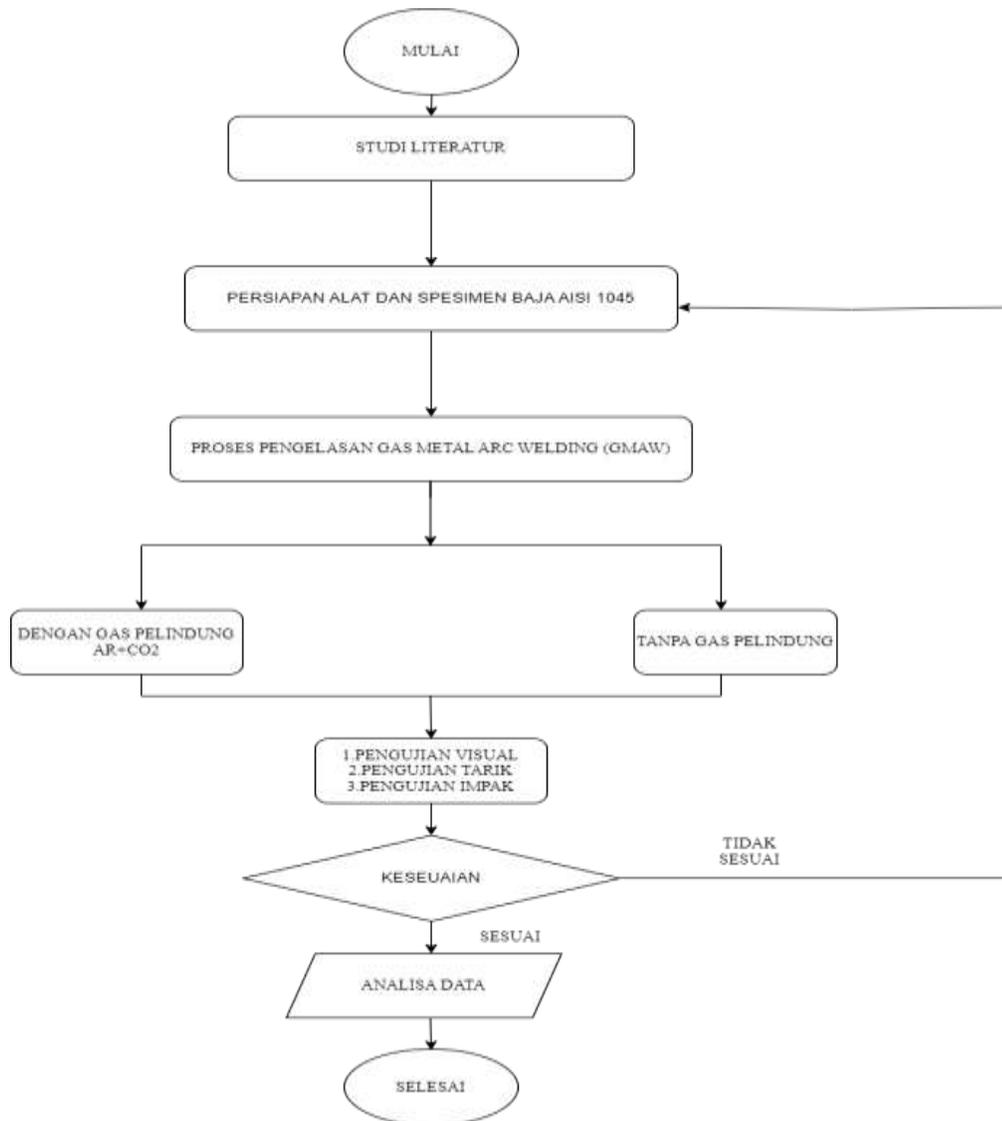
Pengujian seperti pengujian destruktif hanya dilakukan setelah inspeksi visual selesai. Metode pengujian sederhana, seperti kaca pembesar, senter, dan instrumen bantu lainnya diperlukan untuk melakukan inspeksi visual. Untuk melakukan ujian visual, anda hanya perlu melihat contoh materi yang dimaksud. Ini adalah metode yang sangat baik untuk menemukan cacat permukaan yang kecil dan besar, seperti yang terlihat pada hasil pengelasan dibawah standar. Pendekatan pengujian visual menguntungkan karena tidak memerlukan peralatan pengujian yang mahal atau khusus.

Salah satu keterbatasan pengujian visual adalah hanya dapat mendeteksi kekurangan yang terlihat dengan mata telanjang atau dengan menggunakan alat bantu optik pada permukaan bahan uji (Irwansyah, 2019).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir

Diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 12 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun pelaksanaan waktu dan tempat dipenelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan mei 2023 sampai dengan bulan Agustus 2023.

b. Tempat Penelitian

Penelitian ini berlangsung di beberapa tempat yaitu:

1. Proses pembuatan kampuh dan spesimen Baja AISI 1045 dilakukan di SMK Negeri 2 Bandar Lampung.
2. Proses pengelasan dilakukan di SMK Negeri 2 Bandar Lampung.
3. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Institut Teknologi Sumatera (ITERA).
4. Pengujian impak dilakukan di Laboratorium Material Universitas Lampung (UNILA).

### 3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat

Adapun alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

a. Mesin Las GMAW

Mesin las yang digunakan adalah *Metal Inert Gas* (MIG) yang terdapat di SMK Negeri 2 Bandar Lampung yang digunakan untuk proses pengelasan spesimen Baja AISI 1045 yang ditunjukkan pada gambar 13.

Merk : LAS CALDWELL MIG 200 DF



Gambar 13 Mesin Las GMAW.

b. Alat Uji Tarik

Pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 14.

Merk : Universal Testing Machine Zwick Roell All Round Z250SR



Gambar 14 Mesin Uji Tarik (*Universal Testing Machine*).

c. Alat Uji Impak

Pengujian impak dilakukan dengan metode *charpy* dimana dengan membuat takikan persis di tengah spesimen.



Gambar 15 Mesin Uji Impak (*Impact testing machine*).

Tabel 3 spesifikasi *Impact Testing Machine*

| Model  | RMU Testing Equipment  |
|--|--|
| Pendulum energy  | 300 J <i>Charpy</i> -Div. 1 J<br>150 J <i>Charpy</i> -Div. 0.5 J<br>165 J <i>Izod</i> -Div. 2.5 J  |
| <i>Rising Angle</i>                                      | 160°   |
| <i>Distance between centers of Pendulum and specimen</i> | 380 mm   |
| <i>Pendulum moment</i>                                   | 0.5 J PL = 0.258 Nm<br>1 J PL = 0.516 Nm<br>2 J PL = 1.031 Nm<br>4 J PL = 2.062 Nm<br>5 J PL = 2.578 Nm  |
| <i>Dial scale</i>  | 0-0.5 <i>Minimum Scale</i> : 0.005 J<br>0-1 J <i>Minimum Scale</i> : 0.001 J<br>0-2 J <i>Minimum Scale</i> : 0.002 J<br>0-4 J <i>Minimum Scale</i> : 0.004 J<br>0-5 J <i>Minimum Scale</i> : 0.005 J |
| <i>Corner dimension of striking edge</i>                 | 30 degree  |
| <i>Round angle radius of striking edge</i>               | R = 2 mm   |
| <i>Specimen</i>  | <i>Conform to ISO 180</i>  |

d. Gerinda Pematong

Gerinda pematong untuk memotong spesimen.



Gambar 16 Gerinda Pematong.

e. Amplas

Amplas digunakan sebagai penghalus permukaan spesimen dari berbagai kotoran seperti debu, minyak, dll.



Gambar 17 Amplas.

f. Jangka Sorong

Jangka sorong dipakai guna memastikan dimensi dari spesimen sudah sesuai standar.



Gambar 18 Jangka Sorong.

g. Gas Ar+CO<sub>2</sub>

Gas Ar+CO<sub>2</sub> berfungsi sebagai gas pelindung pada saat proses pengelasan.



Gambar 19 Gas Ar+CO<sub>2</sub>.

h. Kawat Las

Kawat las dengan diameter 1mm, AWS ER70S -6



Gambar 20 Kawat Las

## 2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### a. Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 digunakan sebagai spesimen uji tarik dan juga uji impak yang akan digunakan untuk mengetahui hasil eksperimen setelah dilakukan proses pengelasan GMAW dengan menggunakan gas pelindung dan tanpa menggunakan gas pelindung.



Gambar 21 Baja AISI 1045

Adapun tabel 4 menunjukkan kandungan unsur baja AISI 1045 sebagai berikut:

Tabel 4 Sifat Mekanis Baja AISI 1045 (Azom, 2010)

| <i>Tensile Strength</i> | <i>Yield Strength</i> | Modulus Elastisitas  | <i>Hardness, Brinell</i> | <i>Hardness, Vrickel</i> |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 585 Mpa<br>84800 psi    | 450 Mpa<br>65300 psi  | 200 Gpa<br>29000 Ksi | 163 BHN                  | 173N                     |

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

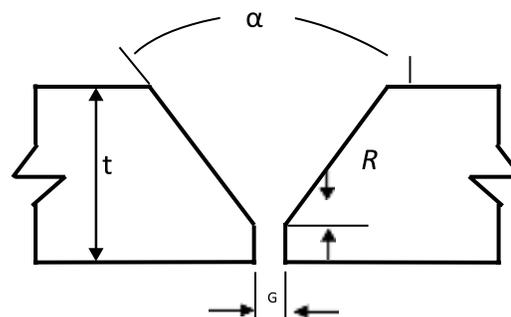
#### 1. Preparasi bahan.

##### A. Pemotongan bahan

Ukuran Potongan bahan harus sesuai dimensi yang diinginkan yaitu memiliki panjang 200 mm , lebar 65 mm, dan tebal 4 mm untuk spesimen uji tarik. Lalu, untuk spesimen uji impak dengan dimensi P = 100 mm, L = 65 mm dan T = 10 mm.

##### B. Pembuatan kampuh

Sebelum dilakukan pengelasan, membuat kampuh V tunggal dengan kemiringan sudut  $60^\circ$ .



Keterangan:

R= Kaki akar = 2 mm

G = Celah akar= 2mm

$\alpha$  = Sudut alur=  $60^\circ$

t = Tebal= 10 mm

Gambar 22 Sketsa Pembuatan Bevel Angle Plat Baja AISI 1045

## 2. Proses Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW)

Pengelasan busur logam gas (GMAW) atau pengelasan gas inert logam (MIG) digunakan dalam penelitian ini. Logam yang akan dilas harus bebas dari kontaminan sebelum proses pengelasan dapat dimulai. Ini termasuk hal-hal semacam debu, minyak, minyak atau lemak, karat, air, dan sebagainya. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengelasan baja menggunakan pengelasan Metal Inert Gas (MIG) dengan gas pelindung argon+CO<sub>2</sub>, sesuai standar praktik pengelasan dan memanfaatkan parameter berikut:

1. Proses pengelasan menggunakan gas pelindung *argon+co2* dengan arus 100 *Ampere*.
2. Proses pengelasan tanpa gas pelindung dengan arus 100 *Ampere*.

Adapun prosedur penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel Baja AISI 1045 yang akan digunakan dalam proses pengelasan dan pengujian.
2. Melakukan proses Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW)

Berikut adalah tahapan dalam melakukan proses pengelasan GMAW:

### A. Pengelasan GMAW dengan gas pelindung *Argon+CO2*:

1. Menyiapkan material yang akan dilas lalu membersihkan permukaan dari kotoran, karat, dan minyak.
2. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan, termasuk mesin las GMAW, kawat las, gas pelindung *Argon+CO2*, dan perlengkapan pengelasan seperti helm pengaman, sarung tangan, dan kacamata pengaman.
3. Menyetel mesin las GMAW sesuai dengan jenis kawat las dan ukuran material yang akan dilas. Pastikan juga tekanan gas pelindung *Argon+CO2* sudah sesuai dengan jenis material yang akan dilas.
4. Memasang kawat las ke dalam mesin las dan menyesuaikan pengaturannya sesuai dengan jenis kawat las yang digunakan
5. Menyiapkan titik las dengan menggunakan sumber panas yang

terpisah, seperti baut las atau alat pemotong listrik.

6. Melakukan proses pengelasan dengan membentuk busur listrik antara kawat las dan material yang akan dilas di titik las tersebut.
7. Memantau pengelasan selama proses penting dilakukan untuk memastikan kualitas hasil las. Pastikan gas pelindung *Argon+CO2* mengalir dengan lancar dan busur listrik tetap terjaga.
8. Setelah selesai melakukan pengelasan, matikan mesin las dan biarkan hasil las dingin dengan suhu ruang.
9. Melakukan inspeksi pada hasil las untuk memastikan kualitasnya. Jika ditemukan cacat pada hasil las, lakukan perbaikan sesuai dengan kebutuhan.

#### B. Pengelasan GMAW tanpa gas pelindung:

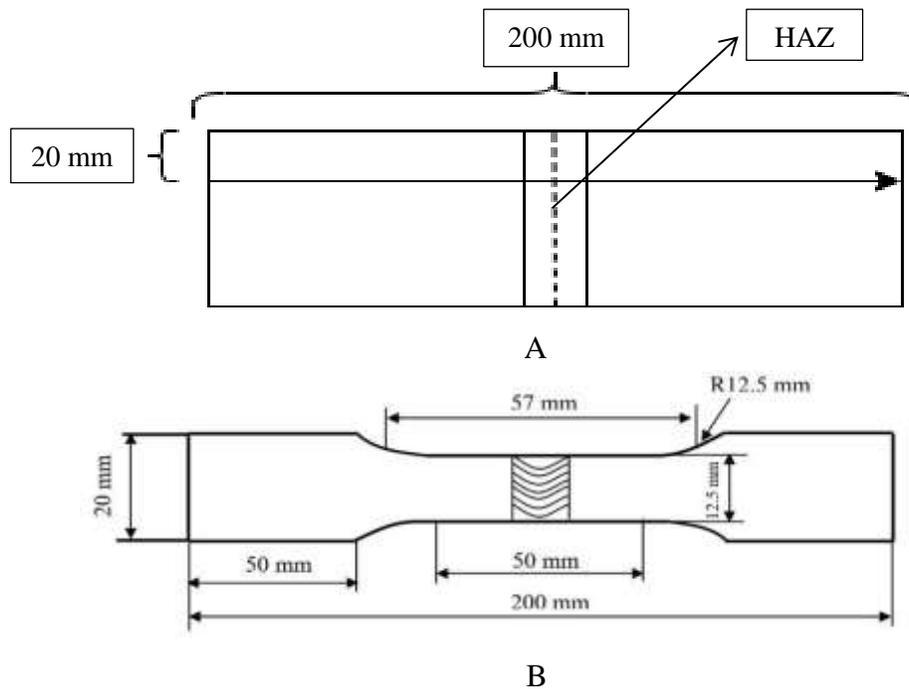
1. Menyiapkan material yang akan dilas.
2. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
3. Menyetel mesin las GMAW.
4. Memasang kawat las ke dalam mesin las.
5. Memantau pengelasan selama proses dilakukan untuk memastikan kualitas hasil las.
6. Setelah selesai melakukan pengelasan, matikan mesin las dan biarkan hasil pengelasan dingin dengan suhu ruang.
7. Melakukan inspeksi pada hasil pengelasan untuk memastikan kualitasnya. Jika terdapat cacat pada hasil las, lakukan perbaikan sesuai dengan kebutuhan.

### 3. Pembuatan Spesimen Uji

#### A. Spesimen uji tarik

Pembuatan sampel uji tarik yang sesuai standar merupakan langkah selanjutnya setelah sejumlah operasi pengelasan selesai. Pengujian tarik pada penelitian ini sesuai dengan ASTM E-8. Dimensi benda uji tarik ditunjukkan pada Gambar 23. Pada gambar 23 bagian A merupakan

proses pemotongan baja AISI 1045 yang telah dilas dan proses pengelasan dilakukan dari atas ke bawah, pemotongan sampel 1 dan seterusnya dimulai dari titik awal pengelasan dan kemudian akan dibentuk menjadi sampel uji tarik seperti gambar 23 bagian B.



Gambar 23 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E-8

L : 200 mm

R : 12,5 mm

W : 12,5 mm

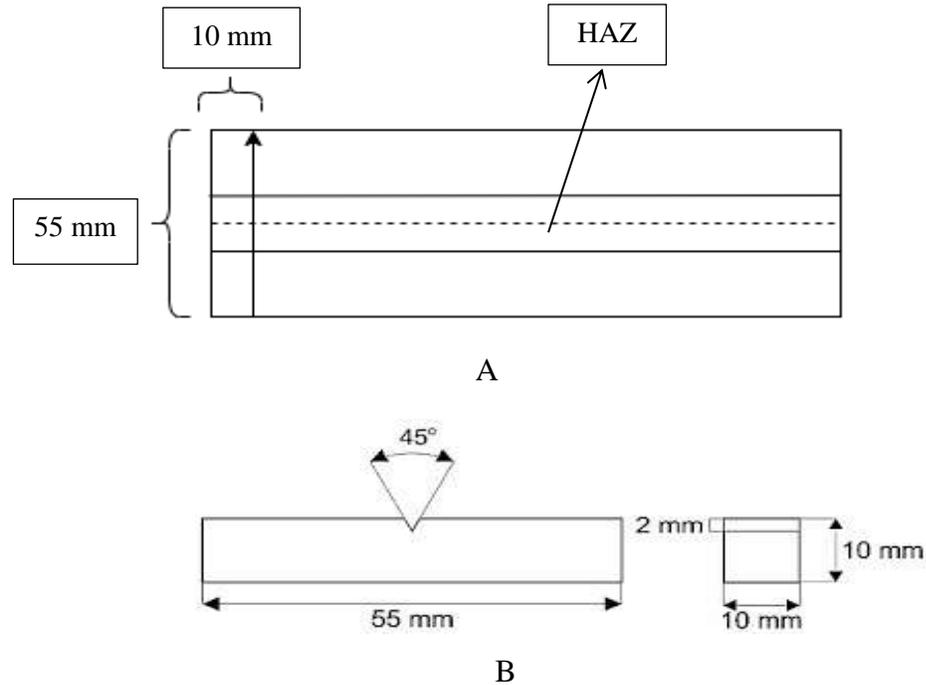
T : 4 mm

C : 20 mm

B : 50 mm

#### B. Spesimen Uji Impak

Buat spesimen uji impak sesuai standar. Pengujian dampak sesuai dengan ASTM E-23 dalam penelitian ini. Ukuran benda uji tumbukan ditunjukkan pada Gambar 24. Pada gambar 24 bagian A merupakan proses pemotongan baja AISI 1045 yang telah dilas, pemotongan sampel 1 dan seterusnya dimulai dari titik awal pengelasan dan proses pengelasan dilakukan dari kiri ke kanan dan kemudian akan dibentuk menjadi sampel uji impak seperti gambar 24 bagian B.



Gambar 24 Spesimen Uji Impak Standar ASTM E-23.

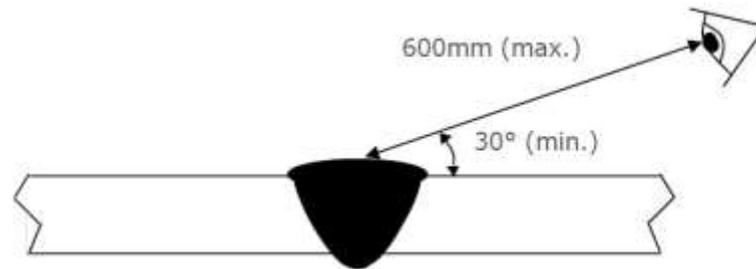
#### 4. Pengujian

Pengujian tarik, pengujian impak, dan pengujian visual semuanya akan berperan dalam penelitian ini. Tujuan pengujian tarik adalah untuk memastikan kekuatan tarik benda uji. Tujuan dari pengujian tumbukan adalah untuk menentukan kerapuhan logam dan nilai dampaknya. Langkah selanjutnya adalah inspeksi visual untuk mencari kekurangan apa pun, baik yang kecil maupun yang terlihat jelas.

##### A. Uji Visual

Melakukan pengujian visual berdasarkan standar dari ISO 17637 minimal pencahayaan yang diperlukan saat melakukan uji visual yaitu 350 lux, namun cahaya yang direkomendasikan yaitu 500 lux seperti pencahayaan normal dalam sebuah kantor ataupun *workshop*. Guna mengukur intensitas cahaya dapat menggunakan *lux meter*.

Posisi saat melakukan inspeksi atau pengecekan visual, mulai dari jarak mata dari permukaan las yang akan dilakukan inspeksi maksimal 600 mm dan posisi sudut 30 derajat.



Gambar 25 Pengambilan Uji Visual

Tabel 5 Contoh Tabel Data Hasil Uji Visual

| Spesimen   | Jenis Cacat | Penyebab | Intensitas<br>(***) |
|------------|-------------|----------|---------------------|
| Gas Ar+CO2 |             |          |                     |
| Tanpa Gas  |             |          |                     |

#### B. Uji Tarik (*Tensile*)

Seluruh pengujian tarik yang dilakukan terhadap benda uji harus sesuai dengan standar yang berlaku, dalam hal ini ASTM E-8.

Adapun tahapan dalam uji tarik adalah sebagai berikut:

1. Spesimen uji yang dilas dan dibentuk sesuai spesifikasi ASTM E-8 harus disiapkan.
2. Spesimen yang akan diuji dipasang pada pencekam.
3. Melakukan uji
4. Perhatikan perubahan beban atau indikasi visual bahwa spesimen telah putus selama pengujian berlangsung.
5. Ketika pengujian selesai, spesimen dilepaskan dan proses diulangi dengan spesimen berikutnya.

Tabel 6 Contoh Tabel Data Hasil Kekuatan Pengujian Tarik

| Arus  | Jenis Gas  | Spesimen | Kekuatan Tarik (Mpa) | Rata-Rata Kekuatan Tarik (Mpa) |
|-------|------------|----------|----------------------|--------------------------------|
| 100 A | Gas Ar+Co2 | 1        |                      |                                |
|       |            | 2        |                      |                                |
|       | Tanpa Gas  | 3        |                      |                                |
|       |            | 4        |                      |                                |

### C. Uji Impak (*Impact*)

Standar ASTM E-23 menetapkan prosedur yang harus diikuti untuk melakukan pengujian dampak pada benda uji.

Adapun tahapan-tahapan dalam uji impak adalah sebagai berikut:

1. Melakukan kalibrasi pada alat uji impak untuk meminimalisir kesalahan perhitungan
2. Meletakkan spesimen pada meja uji.
3. Mengangkat pendulum pada mesin uji impak.
4. Melepaskan tuas pada mesin uji impak.
5. Menentukan jenis perpatahan yang terjadi.
6. Melakukan analisis makro pada perpatahan.
7. Menghitung harga impak yang dihasilkan dari pengujian.

Tabel 7 Contoh Hasil Uji Impak

| Jenis Gas  | Spesimen | Luas A (mm <sup>2</sup> ) | Energi E (Joule) | Rata-Rata Energi (J) | Harga Impak (Joule/mm <sup>2</sup> ) |
|------------|----------|---------------------------|------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Gas Ar+Co2 | 1        | 80                        |                  |                      |                                      |
|            | 2        | 80                        |                  |                      |                                      |
|            | 3        | 80                        |                  |                      |                                      |
| Tanpa Gas  | 1        | 80                        |                  |                      |                                      |
|            | 2        | 80                        |                  |                      |                                      |
|            | 3        | 80                        |                  |                      |                                      |

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengamatan visual pada penelitian pengelasan GMAW menggunakan gas pelindung Ar+CO<sub>2</sub> dan tanpa gas menghasilkan karakteristik pengelasan yang sangat berbeda dimana pengelasan menggunakan gas pelindung cenderung lebih mengkilap dibanding pengelasan tanpa gas pelindung yang cenderung lebih gelap atau kehitaman.
2. Perbedaan kekuatan tarik yang dilakukan pada baja AISI 1045 pengelasan GMAW dengan menggunakan gas Ar+CO<sub>2</sub> menghasilkan nilai tarik yang tidak stabil dan perbedaan yang cukup signifikan pada spesimen 1 431 Mpa, pada spesimen 2 522.7 Mpa dan menghasilkan nilai rata-rata kekuatan tarik 476.8 Mpa. Dan dibandingkan hasil uji tarik yang dilakukan pada baja AISI 1045 pengelasan GMAW tanpa menggunakan gas menghasilkan nilai kekuatan tarik yang cukup stabil dan perbedaan nilai tarik yang tidak jauh berbeda yaitu pada spesimen 3 598.5 Mpa, pada spesimen 4 584,5 Mpa dan mendapat nilai rata-rata kekuatan tarik 591.5 Mpa. Kemudian, pada uji dampak yang dilakukan pada baja AISI 1045 dengan menggunakan gas Ar+CO<sub>2</sub> menghasilkan nilai energi yang diserap tidak stabil, namun hasil kekuatan uji dampak tanpa gas menghasilkan energi yang diserap lebih stabil dibanding menggunakan gas dan rata-rata yang dihasilkan lebih besar dibanding menggunakan gas  $16,3 > 12$ . Jadi untuk perbandingan hasil uji tarik dan dampak apabila menggunakan gas Ar+CO<sub>2</sub> dan tanpa gas dengan menggunakan arus 100 A, hasil lebih optimal menggunakan pengelasan tanpa gas.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan pada penelitian ini ataupun pengembangan penelitian ini untuk selanjutnya sebagai berikut:

1. Menggunakan arus pengelasan yang berbeda yang belum pernah diujikan oleh peneliti lain.
2. Menggunakan campuran gas yang berbeda.
3. Dimensi spesimen sebelum pengelasan dibuat lebih besar.
4. Pada saat proses pengelasan sebaiknya dilakukan dengan lebih teliti agar tidak terjadinya cacat las atau hasil pengelasan yang kurang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alpakjian, S. d. (2009). *Manufacturing Engineering And Technology*. New York.
- Amanto, H. d. (2003). *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Aryanto, d. M. (2012). *Model Pembelajaran Inovatif*. Yogyakarta: Gava Media.
- Callister, W. (2007). *Material Science and Engineering An. Introduction*. New York: John Wiley and Sons, Inc. [2].
- Dadang. (2013). *Teknik Las GTAW*. Malang.
- Daryanto, A. d. (2003). *Ilmu Bahan*. Jakarta : Bumi aksara.
- Davis, J. (2004). *Tensile Testing 2nd Edition*. USA: ASM International.
- Dieter, G. (1988). *Metalurgi Mekanik*. Edisi ke 3, jilid 2, Erlangga,. Jakarta.
- Eko Hendry, Y. S. (2011). Pengaruh Kuat Arus dan Campuran gas Argon-Co2 Pada pengelasan GMAW Terhadap kekuatan Tarik dan Impact Pada Baja Karbon Medium Fasa Ganda.
- Fuadi. (2015). *Metode-metode Pengelasan*.
- Handbook, A. (1993). *Properties and Selection ; iron Steel and Hidup performance alloys*. Metals handbook vol 1. PP 249-257 and 329-335.
- Harsono, W. (2004). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya.
- Ikhsan, B. N. (2021). Pengaruh Variasi Arus Busur Listrik Pengelasan GMAW Terhadap Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Rendah ST 37.
- Irwansyah. (2019). Deteksi cacat pada material dengan teknik pengujian tidak merusak. *Lensa 2*, [48]:7-14.
- Jukliv, A. Y. (2014). Analisis Kekerasan , Cacat Las , Dan Struktur. Mikro Pada Sambungan T Paduan Aluminium 6061 T6511 Hasil Gas Metal Arc Welding (GMAW) Dengan Variasi Kuat Arus. *Jurnal Rotor*, 7(2), 1–8.

- Junus, S. (2011). Pengaruh Besar Aliran Gas Terhadap Cacat Porositas Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan MIG Pada Paduan Aluminium 5083.
- Kosasih, W. d. (2015). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Bucket Tipe ZX 200 GP dengan Metode Statistical Process Control dan Failur Mode and Effect Analysis (Studi Kasus: PT. CDE). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 3(2): 1-9.
- Mathers. (2002). MIG Welding. *The Welding of Aluminium and Its Alloys*, 131,. 116–146.
- Prabu Dewanto, A. W. (2016). *Analisa Kekuatan Mekanik Sambungan Las Metode MIG (Metal Inert Gas) dan Metode FSW (Friction Stir Welding) 800 Rpm pada Aluminium Tipe 5083*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Purnomo, B. (2011). *Dasar-Dasar Urologi*. Jakarta: CV. Sagung Seto .
- Saifuddin A. Jalil, Z. T. (2017). Analisa Kekuatan Impak Pada Penyambungan Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 Dengan Variasi Arus Pengelasan .
- Siswanto. (2011). *Konsep Dasar Teknik Las (Teori Dan Praktik)*. Jakarta: P.T Prestasi Pustakarya.
- Sudargo, B. T. (2017). Pengaruh Arus Listrik dan Filler dengan Kampuh X Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las SMAW pada Baja St 37. vol 16 no 1.
- Suratman, H. S. (2006). *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam Cetakan Kedua*. Bandung: CV Alfabeta.
- Suwahyo, U. (2011). *Petunjuk Praktis Penggunaan Pupuk Organik Secara Efektif Dan Efisien*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Tarkono, S. G. (2012). Studi penggunaan elektroda las yang berbeda terhadap sifat mekanik pengelasan SMAW baja AISI 1045. *Jurnal mechanical*, 3 (2).
- Wiryosumarto H., O. T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta.