

**PENGARUH VARIASI KAMPUH TERHADAP SIFAT MEKANIK  
SAMBUNGAN LAS *SHIELDED METAL ARC WELDING* (SMAW)  
BAJA BIMETAL AISI 1020 DAN AISI 1041**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**DIMAS ADITYA  
NPM 2015021015**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH VARIASI KAMPUH TERHADAP SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN LAS *SHIELDED METAL ARC WELDING* (SMAW) BAJA BIMETAL AISI 1020 DAN AISI 1041**

**Oleh**

**DIMAS ADITYA**

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi kampuh las terhadap sifat mekanik sambungan las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pada baja bimetal AISI 1020 dan AISI 1041. Variasi kampuh yang digunakan adalah kampuh tirus tunggal dan kampuh V tunggal. Metode penelitian meliputi persiapan spesimen, proses pengelasan, uji kualitas sambungan las dengan *liquid penetrant test* dan pengujian sifat mekanik yang terdiri dari uji tarik dan uji impact. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kampuh las memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik sambungan las. Spesimen dengan kampuh tirus tunggal menunjukkan nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 413,54 MPa dan energi impact sebesar 107 *Joule* lebih tinggi dibandingkan kampuh V tunggal, serta menghasilkan cacat las yang lebih sedikit. Hal ini disebabkan oleh penetrasi las yang lebih merata dan konsentrasi tegangan yang lebih rendah pada kampuh tirus tunggal. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pemahaman pengaruh geometri kampuh las terhadap kualitas sambungan las bimetal, yang dapat dimanfaatkan dalam aplikasi industri yang membutuhkan sambungan las dengan sifat mekanik yang optimal.

Kata kunci: Kampuh las, las SMAW, baja bimetal, AISI 1020, AISI 1041, sifat mekanik

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF GROOVE VARIATIONS ON MECHANICAL PROPERTIES OF SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW) JOINTS IN BIMETAL STEEL AISI 1020 AND AISI 1041**

**By**

**DIMAS ADITYA**

This research aims to examine the effect of weld groove variations on the mechanical properties of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) joints in bimetal steel AISI 1020 and AISI 1041. The groove variations used are single bevel groove and single V groove. The research methodology includes specimen preparation, welding process, weld joint quality testing using liquid penetrant test and mechanical properties testing consisting of tensile test and impact test. The results showed that weld groove variations have a significant effect on the mechanical properties of the weld joints. Specimens with single bevel groove showed higher maximum tensile strength of 413.54 MPa and impact energy of 107 Joules compared to single V groove, and produced fewer weld defects. This is due to more uniform weld penetration and lower stress concentration in the single bevel groove. This research contributes to understanding the influence of weld groove geometry on the quality of bimetal weld joints, which can be utilized in industrial applications requiring weld joints with optimal mechanical properties.

Keywords: Weld groove, SMAW welding, bimetal steel, AISI 1020, AISI 1041, mechanical properties

**PENGARUH VARIASI KAMPUH TERHADAP SIFAT MEKANIK  
SAMBUNGAN LAS *SHIELDED METAL ARC WELDING* (SMAW)  
BAJA BIMETAL AISI 1020 DAN AISI 1041**

**Oleh:  
DIMAS ADITYA**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2025**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI KAMPUH TERHADAP SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN LAS SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW) BAJA BIMETAL AISI 1020 DAN AISI 1041**

Nama Mahasiswa : **Dimas Aditya**

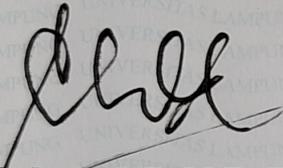
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021015

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

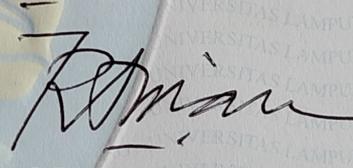
**MENYETUJUI**

Komisi Pembimbing 1



**Ir. Tarikono, S.T., M.T., IPP.**  
NIP. 197004151998021001

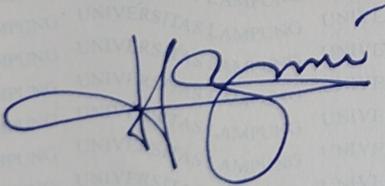
Komisi Pembimbing 2



**Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU.**  
NIP. 197008122001121001

Ketua Jurusan

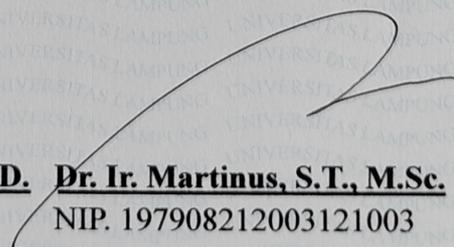
Teknik Mesin



**Prof. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197108171998021003

Ketua Program Studi

S1 Teknik Mesin

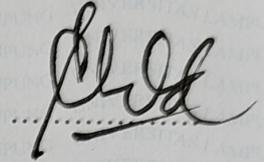


**Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**  
NIP. 197908212003121003

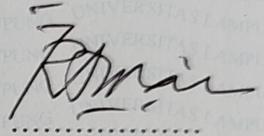
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

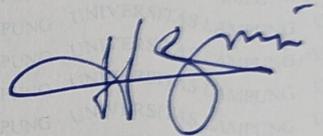
Ketua : **Ir. Tarkono, S.T., M.T., IPP.**



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



Penguji Utama : **Prof. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.**



### 2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **20 Januari 2025**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dimas Aditya  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021015  
Program Studi : S1 Teknik Mesin  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Skripsi dengan judul “PENGARUH VARIASI KAMPUH TERHADAP SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN LAS *SHIELDED METAL ARC WELDING* (SMAW) BAJA BIMETAL AISI 1020 DAN AISI 1041” dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat siapapun sebagaimana diatur didalam Pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 20 Januari 2025

Pembuat Pernyataan



**DIMAS ADITYA**

NPM. 2015021015

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Dimas Aditya, lahir di Way Jepara, Kabupaten Lampung Timur, pada 26 Februari 2002. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara dari pasangan Bapak Haryadi dan Ibu Titut Rahayu Herlina. Penulis menyelesaikan jenjang pendidikan sekolah dasar di SDN 2 Labuhan Ratu 1 (2014), sekolah menengah pertama di SMPN 1 Way Jepara (2017), dan sekolah menengah atas di SMAN 1 Seputih Surabaya (2020).

Pada 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama masa studi penulis mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari-Februari 2023 di Desa Kanyangan, Kecamatan Kota Agung Barat, Kabupaten Tanggamus. Penulis mengikuti kegiatan Kerja Praktik (KP) di PT. Pemukasakti Manisindah pada Juli-Agustus 2023.

## **MOTTO**

“Tidaklah mungkin bagi matahari mendapatkan bulan dan malam pun tidak dapat mendahului siang. Dan masing-masing beredar pada garis edarnya”

**(QS. Yasin: 40)**

Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri

**(Baskara Putra)**

“Education is the most powerful weapon which you can use to change the world”

**(Nelson Mandela)**

## **PERSEMBAHAN**

Kupersembahkan sebuah karya yang penuh perjuangan untuk kedua orang tua tercinta bapak (alm. Haryadi) dan ibu (Titut Rahayu Herlina) yang telah membesarkan, memberikan kasih sayangi yang paling tulus, senantiasa mendoakan anaknya, membimbing dan mengajari dengan cinta dan kesabaran.

Kakak tersayang Dito Aditya yang selalu memberikan support.

Keluarga besar dan sahabat-sahabat untuk semua doa, dukungan, dan kasih sayangnya.

Seluruh guru dan dosen ucapan terimakasih untuk segala ilmu yang telah diberikan.

Serta

Almamater tercinta yang telah turut dalam membentuk pribadi menjadi lebih dewasa dalam berpikir, berucap dan bertindak.

## SANWACANA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala berkat dan rahmat yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Skripsi ini berjudul **“Pengaruh Variasi Kampuh Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las *Shielded Metal Arc Welding* (Smaw) Baja Bimetal Aisi 1020 Dan Aisi 1041”**. Semua sumber yang dirangkum dan dijadikan sebagai acuan dalam penyusunan skripsi ini yaitu berasal dari buku yang berkaitan dengan tema, jurnal dan prosiding nasional maupun internasional serta Tugas Akhir Mahasiswa dari seluruh kampus yang ada di Indonesia. Hasil dari penelitian disajikan secara terstruktur didalam skripsi ini sehingga para pembaca dapat memahaminya dengan mudah.

Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak mendapat bimbingan, masukan, motivasi dan juga bantuan baik itu secara moral maupun materi dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3. Prof. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program studi Sarjana S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Ir. Tarkono, S.T., M.T., IPP. selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga, ide pemikiran dan semangat yang telah diberikan untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU., selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu, memberikan saran dan masukan sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
7. Prof. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembahas yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta memberikan saran, kritikan dan masukan kepada penulis sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Staf Akademik serta staf Laboratorium yang telah banyak membantu penulis.
10. Kedua orang tua tercinta Bapak alm. Haryadi dan Ibu Titut Rahayu Herlina yang telah memberikan dukungan penuh, do'a, materi, dan kesabaran sepanjang penulis menjalani studi sampai dapat menyelesaikan skripsi.
11. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan semangat yang luar biasa.
12. Semua rekan Teknik Mesin Universitas Lampung khususnya angkatan 2020 untuk kebersamaan yang telah dijalani, "**Salam M Solver**".
13. Pemilik NPM 2014141009 yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, motivasi dan juga selalu menemani dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, namun Penulis berharap agar skripsi yang sederhana ini dapat memberi inspirasi dan berguna bagi semua kalangan civitas akademik maupun masyarakat Indonesia. Aamiin.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Bandar Lampung, 20 Januari 2025

Penulis,

**Dimas Aditya**

NPM. 2015021015

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vi</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Sistematika Penulisan .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Baja Karbon.....	6
2.1.1 Baja AISI 1020 .....	6
2.1.2 Baja AISI 1041 .....	7
2.2 Pengelasan .....	8
2.3 Pengelasan Bimetal .....	9
2.4 <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW).....	11
2.4.1 Elektroda.....	12
2.4.2 Arus Listrik.....	13
2.4.3 Tegangan Listrik ( <i>Volt</i> ) .....	13
2.4.4 Polaritas Listrik.....	13
2.5 Prinsip Kerja Las <i>Shielded Metal Arc Welding</i> .....	14
2.6 Klasifikasi Sambungan Las .....	15
2.9.1 Sambungan Tumpul ( <i>Butt Joint</i> ).....	16
2.9.2 Sambungan Bentuk T dan Bentuk Silang .....	17

2.9.3 Sambungan Sudut .....	17
2.9.4 Sambungan Tumpang .....	17
2.9.5 Sambungan Sisi .....	18
2.7 Pengujian Tarik .....	18
2.8 Pengujian Impak .....	21
2.9 Pengujian <i>Penetrant</i> .....	23
2.10 Jenis-Jenis Cacat Las .....	25
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	29
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	29
3.3 Prosedur Penelitian .....	36
3.3.1 Persiapan Spesimen .....	36
3.3.2 Prosedur Pelaksanaan Pengelasan .....	37
3.3.3 Pembuatan Spesimen Uji .....	38
3.3.4 Prosedur Pengujian .....	39
3.4 Pengambilan Data.....	42
3.5 Diagram Alir .....	44
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>45</b>
4.1 Hasil Pengelasan.....	45
4.1.1 Hasil Pengelasan Baja AISI 1020 Dan 1041 Untuk Uji Impak	45
4.1.2 Hasil Pengelasan Baja AISI 1020 Dan 1041 Untuk Uji Tarik..	46
4.2 Hasil dan Pembahasan Uji <i>Liquid Penetrant</i> .....	47
4.2.1 Hasil dan Pembahasan Uji <i>Liquid Penetrant</i> Spesimen Uji Impak .....	47
4.2.2 Hasil Uji <i>Liquid Penetrant</i> Untuk Spesimen Uji Tarik.....	49
4.3 Hasil dan Pembahasan Uji Impak.....	52
4.4 Hasil dan Pembahasan Uji Tarik.....	56
<b>V. PENUTUP .....</b>	<b>60</b>

5.1 Simpulan.....	60
5.2 Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>64</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Pengelasan SMAW .....	12
Gambar 2. Berbagai Jenis Sambungan Las Dasar .....	16
Gambar 3. Kurva Tegangan-Regangan .....	19
Gambar 4. Mesin Uji Tarik .....	20
Gambar 5. Mesin Uji Impak.....	21
Gambar 6. Metode <i>Izod</i> dan Metode <i>Charpy</i> .....	22
Gambar 7. Aerosol dan Pelarut Untuk Uji Liquid Penetrant .....	25
Gambar 8. Cacat <i>Undercut</i> .....	26
Gambar 9. Cacat Lubang.....	26
Gambar 10. Cacat <i>Underfilling</i> .....	27
Gambar 11. Cacat <i>Overlap</i> .....	27
Gambar 12. Cacat <i>Crack</i> .....	28
Gambar 13. Mesin Las SMAW .....	30
Gambar 14. Mesin Uji Tarik .....	31
Gambar 15. Mesin Uji Impak.....	32
Gambar 16. Bahan Uji Penetrant .....	35
Gambar 17. Dimensi Kampuh dengan Alur Tirus Tunggal .....	37
Gambar 18. Dimensi Kampuh dengan Alur V Tunggal.....	37
Gambar 19. Ukuran Dimensi Spesimen Uji Impak ASTM E-23.....	38
Gambar 20. Ukuran Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM E-8.....	38
Gambar 21. Standar Uji Visual .....	41
Gambar 22. Diagram Alir.....	44
Gambar 23. Hasil Pengelasan Untuk Uji Impak dengan (a) Kampuh V Tunggal dan (b) Kampuh Tirus Tunggal .....	45

Gambar 24. Hasil Pengelasan Untuk Uji Tarik dengan (a) Kampuh V Tunggal dan (b) Kampuh Tirus Tunggal.....	46
Gambar 25. Hasil Uji <i>Liquid Penetrant</i> Spesimen Uji Impak Kampuh Tirus Tunggal.....	47
Gambar 26. Hasil Uji <i>Liquid Penetrant</i> Spesimen Uji Impak Kampuh V Tunggal .....	48
Gambar 27. Hasil Uji <i>Liquid Penetrant</i> Spesimen Uji Tarik Kampuh Tirus Tunggal.....	50
Gambar 28. Hasil Uji <i>Liquid Penetrant</i> Spesimen Uji Tarik Kampuh V Tunggal	50
Gambar 29. Diagram Energi Yang Diserap.....	53
Gambar 30. Diagram Harga Impak .....	53
Gambar 31. Patahan dari Spesimen Uji Impak (a) Kampuh Tirus Tunggal dan (b) Kampuh V Tunggal .....	55
Gambar 32. Grafik Gabungan Uji Tarik.....	57
Gambar 33. Gambar Spesimen Uji Tarik yang Telah Putus.....	58

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Pengelompokan Baja Karbon) .....	6
Tabel 2. Komposisi Kimia Baja AISI 1020.....	7
Tabel 3. Komposisi Kimia Baja AISI 1041 .....	8
Tabel 4. Diameter Elektroda dan Arus Las .....	13
Tabel 5. Kelebihan dan Kekurangan SMAW .....	14
Tabel 6. Minimal <i>Dwelling Times</i> Untuk Beberapa Jenis Material .....	24
Tabel 7. Spesifikasi Mesin Las.....	30
Tabel 8. Spesifikasi Mesin Uji Tarik.....	32
Tabel 9. Spesifikasi Mesin Uji Impak .....	33
Tabel 10. Komposisi Kimia Baja AISI 1020.....	33
Tabel 11. Sifat Mekanik Baja AISI 1020 .....	34
Tabel 12. Komposisi Kimia Baja AISI 1041 .....	34
Tabel 13. Sifat Mekanik Baja AISI 1041 .....	34
Tabel 14. Komposisi Kimia Elektroda LB-52U.....	34
Tabel 15. Sifat Mekanik Elektroda LB-52U .....	35
Tabel 16. Komposisi Kimia Larutan <i>Visible Penetrant</i> .....	35
Tabel 17. Komposisi Kimia Cairan <i>Developer</i> .....	35
Tabel 18. Komposisi Kimia Cairan <i>Cleaner/Remover</i> .....	36
Tabel 19. Contoh Interpretasi Hasil Uji <i>Liquid Penetrant</i> .....	42
Tabel 20. Contoh Hasil Uji Impak .....	43
Tabel 21. Contoh Hasil Pengujian Tarik .....	43
Tabel 22. Interpretasi Hasil Uji <i>Liquid Penetrant</i> Spesimen Uji Impak .....	49
Tabel 23. Interpretasi Hasil Uji <i>Liquid Penetrant</i> Spesimen Uji Tarik .....	51
Tabel 24. Data Hasil Pengujian Impak.....	52
Tabel 25. Data Hasil Uji Tarik .....	57

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dalam industri, terutama di bidang konstruksi dan perbaikan logam, pengelasan memainkan peran yang tidak tergantikan. Teknik ini menjadi pondasi penting dalam sektor pembangunan dan manufaktur. Pengelasan telah menjadi praktik standar di berbagai bidang teknik, termasuk industri otomotif, perkapalan, pipa saluran dan lain lain. Menurut Wiryosumarto & Okumura (2000), Pengelasan adalah teknik penyatuan dua logam atau lebih menggunakan panas. Bahan dasar yang akan disambung dan kawat las yang digunakan sebagai pengisi akan meleleh menjadi satu. Kemudian sambungan tersebut akan menjadi kuat dan terbentuk permanen ketika sudah mendingin dan mengeras. Pengelasan SMAW atau pengelasan arus logam terlindung adalah teknik pengelasan yang paling umum digunakan.

Mengutip penelitian Girikallo (2024), pengelasan SMAW merupakan proses penyatuan dua logam dengan bantuan energi panas yang berasal dari lompatan ion listrik (katoda dan anoda) yang berlangsung pada permukaan logam dan ujung elektroda. Elektroda berfungsi sebagai sumber logam pengisi. Selain itu, elektroda juga berfungsi sebagai sumber busur listrik. Karena penggunaannya yang relatif mudah, praktis dan juga dapat dipakai dalam berbagai posisi pengelasan dan cukup efisien, maka metode SMAW lebih banyak digunakan dibandingkan dengan metode yang lain. Walaupun praktis, kualitas dari las SMAW dapat bervariasi tergantung pada kemampuan pengelas, teknik pengelasan, pengaturan arus, jenis elektroda dan kondisi lingkungan. Variasi tersebut yang mempengaruhi dari kekuatan dan penampilan sambungan las. Pengelasan bimetal sering dilakukan

dengan menggunakan teknik las arus logam terlindungi (SMAW) karena dapat memberikan penetrasi yang baik, sehingga membantu mengatasi perbedaan suhu leleh antara dua logam yang berbeda.

Proses pengelasan bimetal adalah penyatuan dua logam yang berbeda jenis. Pengelasan berbeda jenis logam ini memiliki tingkat kompleksitas yang lebih besar daripada pengelasan logam sejenis. Karena pada setiap logam tersebut memiliki sifat yang berbeda satu sama lain (Mustafid dkk., 2017). Oleh karena itu, proses pengelasan bimetal memerlukan berbagai metode khusus, seperti memilih logam yang akan disambung, kemudian memilih elektroda yang cocok, mengatur panas *input* dan juga memilih perlakuan panas pasca pengelasan yang semuanya harus tepat. Aplikasi dari pengelasan bimetal sudah banyak diterapkan dalam dunia industri, khususnya dalam bidang manufaktur. Salah satu pengelasan bimetal adalah pengelasan antara baja AISI 1020 dengan baja AISI 1041. Baja AISI 1020 adalah jenis baja karbon rendah dan AISI 1041 merupakan jenis baja karbon sedang. Penggunaan dua baja yang berbeda tersebut dalam pengelasan bimetal dapat mengurangi biaya produksi yang mana baja AISI 1020 umumnya lebih murah dibandingkan dengan baja AISI 1041, karena kandungan karbon pada baja AISI 1020 yang lebih rendah. Dan dalam segini sifat mekanik baja AISI 1041 lebih unggul dibandingkan dengan baja AISI 1020, yang mana perbedaan sifat mekanik tersebut dapat memberikan variasi sesuai dengan kebutuhan pada setiap bagian peralatan industri maupun yang lainnya.

Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aji (2019), bentuk kampuh yang digunakan memengaruhi kekuatan tarik dan ketangguhan impak sambungan las baja bimetal menggunakan las SMAW. Pada penelitiannya menggunakan pengelasan dengan variasi kampuh V, kampuh K dan kampuh I. Pengelasan dengan kampuh I memiliki nilai kekuatan tarik lebih tinggi yaitu sebesar  $34,514 \text{ Kgf/mm}^2$  dibandingkan dengan kampuh V dan kampuh K yang masing-masing hanya memiliki nilai kekuatan tarik

sebesar 32,782 Kgf/mm<sup>2</sup> dan 33,492 Kgf/mm<sup>2</sup>. Dan untuk ketangguhan impak pengelasan dengan kampuh V memiliki nilai energi impak tertinggi yaitu sebesar 7,976 N.m dibandingkan dengan kampuh K dan kampuh I yang masing-masing hanya memiliki nilai energi impak sebesar 7,895 N.m dan 7,393 N.m. Yang mana hal tersebut membuktikan bahwa bentuk kampuh dapat memengaruhi nilai kekuatan tarik dan ketangguhan impak hasil pengelasan. Selain itu, teknik proses pengelasan juga dapat memengaruhi hasil las yang baik.

Pengelasan SMAW pada baja bimetal AISI 1020 dan AISI 1041 dapat dilakukan dengan variasi bentuk kampuh las, yaitu bentuk kampuh tirus tunggal dan kampuh V tunggal. Pengelasan menggunakan kampuh tirus tunggal lebih sederhana dan efisien serta hanya membutuhkan waktu persiapan yang lebih sedikit. Namun pengelasan menggunakan kampuh V tunggal memberikan penetrasi las yang lebih baik dan merata khususnya untuk material yang tebal. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan penggunaan kampuh tirus tunggal dan V tunggal pada pengelasan baja bimetal menggunakan las SMAW.

Penelitian ini bertujuan untuk dapat memberikan informasi yang mendalam tentang penggunaan kampuh yang tepat pada pengelasan baja bimetal dan menambah pemahaman tentang kekuatan sambungan las pada pengelasan SMAW dengan variasi kampuh khususnya pada pengelasan baja bimetal. Hasil dari penelitian ini dapat membantu industri dalam memilih bentuk kampuh las yang tepat untuk menghasilkan hasil yang lebih baik dan efektif pada pengelasan bimetal menggunakan las SMAW.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Berikut adalah tujuan dari penelitian ini.

1. Untuk mengetahui cacat las yang dihasilkan dari penggunaan variasi kampuh yang berbeda pada sambungan las bimetal.

2. Untuk mengetahui nilai kekuatan dampak yang dihasilkan oleh sambungan las bimetal pada setiap variasi kampuh.
3. Untuk mengetahui bagaimana variasi kampuh berdampak pada kekuatan tarik sambungan las bimetal.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ini dibuat agar pembahasan tentang hasil dari penelitian lebih fokus. Batasan masalah ini adalah sebagai berikut:

1. Pengelasan dilakukan dengan las SMAW.
2. Bahan yang digunakan adalah pelat baja AISI 1020 dan AISI 1041.
3. Arus yang digunakan 70 A.
4. Selama proses pengelasan, kedua permukaan material dianggap rata.
5. Kecepatan pengelasan tidak diperhitungkan.
6. Pendinginan dilakukan dengan suhu ruang (*normalizing*).
7. Pengujian kualitas yang digunakan yaitu uji *liquid penetrant*, uji dampak dan uji tarik.
8. *Liquid penetrant test* hanya dilakukan pada permukaan atas spesimen.

### 1.4 Sistematika Penulisan

Berikut ini adalah sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam menyusun laporan penelitian:

#### I. PENDAHULUAN

Memberikan penjelasan tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan prosedur penulisan.

#### II. TINJAUAN PUSTAKA

Memuat tentang teori dasar dan literatur untuk mendukung bahasan studi kasus yang diambil.

**III. METODOLOGI PENELITIAN**

Memuat tentang penjelasan dari metode yang digunakan untuk mencapai hasil penelitian yang diharapkan.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Memuat penjelasan tentang hasil dan temuan dari penelitian yang dilakukan.

**V. SIMPULAN DAN SARAN**

Menyampaikan kesimpulan dari hasil yang didapat pada penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk meningkatkan penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan besi dan karbon dengan sedikit Silikon (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P), Sulfur (S) dan Tembaga (Cu). Sifat-sifatnya sangat tergantung pada kadar karbonnya, maka dari itu kadar karbon tersebut digunakan sebagai acuan dalam pengelompokan baja ini. Baja karbon rendah memiliki kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang memiliki kadar karbon antara 0,30-0,45%, dan baja karbon tinggi memiliki kadar karbon antara 0,45%-1,70%. Ketika kadar karbon meningkat, kekuatan dan kekerasannya meningkat, tetapi perpanjangannya mengalami penurunan (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

Tabel 1. Pengelompokan Baja Karbon (Wiryosumarto & Okumura, 2000)

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (Kg/mm)	Kek. Tarik (Kg/mm)	Kek. Brinel	Penggunaan
Baja Karbon Rendah:					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat tipis, batang, kawat, konstruksi umum
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-55	112-145	
Baja Karbon Sedang	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-alat mesin
Baja Karbon Tinggi:					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas, rel, pegas, kawat piano
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	

#### 2.1.1 Baja AISI 1020

Baja AISI 1020 adalah logam paduan yang termasuk dalam golongan baja karbon rendah, yang memiliki sifat mekanik seperti tangguh,

keras dan juga ulet. Baja AISI 1020 banyak digunakan dalam berbagai jenis produk, seperti baut, skrup, roda gigi, batang piston untuk mesin, roda pendaratan, tabung, kawat las, batang *forging*, lembaran baja, *billet bar*, *gear* dan juga komponen *landing gear* (Nasution & Nasution, 2020).

Karakteristik pada setiap bahan atau material tidaklah sama, terutama dalam struktur mikronya, yang mana terdiri dari berbagai struktur kristal. Kebanyakan material memiliki banyak kristal atau bahan majemuk, tetapi ada juga material yang hanya memiliki satu kristal saja. Jumlah kristal yang berbeda ini mempengaruhi kegunaan bahan tersebut. Sifat-sifat dari bahan dengan kristal majemuk mempunyai kelebihan yaitu dapat dikembangkan atau diperluas saat digunakan. Kristal ini disebut sebagai butiran dalam logam, dan terdapat batas butir (*Grain Boundary*) yang memisahkan mereka.

Tabel 2. Komposisi Kimia Baja AISI 1020 (*Mill Certificate*)

Kode	C %	Si %	Mn %	P %	S %
AISI 1020	0,20	0,15	0,50	0,025 max	0,024 max

### 2.1.2 Baja AISI 1041

Baja AISI 1041 adalah baja karbon sedang yang umum digunakan pada industri otomotif, khususnya pada pembuatan komponen seperti roda gigi, gardan dan komponen suspensi. Dengan kandungan karbon sekitar 0,30-0,60%, Baja ini memiliki sifat mekanik yang baik, termasuk kekuatan serta ketahanan aus yang cukup besar (Hakim, 2024).

Baja AISI 1041 disebut baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yakni seri 10xx yang dibuat oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineers*). Angka 10 adalah kode yang menandakan

bahwa itu merupakan *plain carbon* dan xx adalah kode yang menunjukkan jumlah kandungan karbon. Maka dari itu, baja AISI 1041 adalah *plain carbon steel* atau baja karbon dengan kandungan karbon sebanyak 0,41%. Roda gigi, poros dan bantalan banyak dibuat dengan menggunakan baja jenis ini. Karena kegunaannya tersebut, baja harus memiliki ketahanan aus yang baik untuk menahan keausan yang disebabkan oleh gesekan dengan rantai. ketahanan aus disebut juga dengan ketahanan terhadap abrasi atau pengurangan dimensi akibat gesekan. Dalam kebanyakan kasus, ketahanan aus sebanding dengan kekerasan.

Tabel 3. Komposisi Kimia Baja AISI 1041 (*Mill Certificate*)

Kode	C %	Si %	Mn %	P %	S %
AISI 1041	0,41	0,25	0,60	0,03 max	0,035 max

## 2.2 Pengelasan

Salah satu metode penyambungan logam adalah pengelasan (*welding*), di mana sebagian dari logam induk dan logam pengisi dicairkan dengan atau tanpa tekanan dan juga dengan atau tanpa logam penambah, sehingga menghasilkan sambungan yang konsisten. Las didefinisikan oleh DIN (*Deutsche Industrie Normen*) sebagai ikatan metalurgi pada logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair atau lumer. Oleh karena itu, pengelasan dapat didefinisikan sebagai proses menyambung logam dengan energi panas, atau dalam keadaan cair dengan bahan tambahan atau tanpa bahan tambahan.

Mengelas merupakan proses menggabungkan dua bagian benda atau lebih dengan memanaskan, menekan, atau menggabungkan keduanya sedemikian rupa sehingga tampak seperti benda yang utuh. Penyambungan dapat terjadi dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) dengan titik cair dan struktur yang sama atau berbeda. Proses pengelasan dapat mengubah sifat mekanik,

fisik, kimia maupun struktur dari bahan yang dilas, yang mana hal tersebut dapat berdampak pada kekuatan sambungan las. Dalam hal ini, pengujian dan pemeriksaan las dilakukan untuk kepentingan berbagai pihak. Produsen, konsumen, dan pihak ketiga, seperti lembaga akademik, adalah pihak yang berkepentingan dalam hal ini.

Pengujian dan pemeriksaan las dapat memberikan banyak informasi penting, seperti kekuatan konstruksi las dan kualitas dari hasil pengelasan. Menurut penelitian, prosedur pengelasan yang tidak tepat pada umumnya berkontribusi pada penurunan kualitas las. Selain faktor-faktor lain seperti temperatur pengelasan, jenis kawat las yang digunakan dan sebagainya, prosedur pengelasan adalah salah satu faktor yang sangat penting dalam menghasilkan kualitas las. Sebenarnya beberapa standar telah dibuat untuk melakukan pengelasan, tetapi standar tersebut tidak menjamin hasil las yang diharapkan. Kekuatan sambungan las sangat sulit untuk dihitung secara teoritis karena keahlian pengelasan (*skill*) dari juru las tidak bisa diabaikan begitu saja dalam menjamin kekuatan sambungan las (Ponidi, 2015).

### **2.3 Pengelasan Bimetal**

Perkembangan industri di dunia berlangsung dengan cepat, termasuk dalam bidang pengelasan yang semakin maju. Di Indonesia, dunia pengelasan juga mengalami perkembangan yang signifikan. Dalam era industri yang semakin maju seperti saat ini, inovasi terbaru dalam pengelasan, khususnya dalam hal material sangat penting. Salah satu hal yang umum dilakukan adalah menyambungkan material yang berbeda jenis atau bimetal. Sambungan logam dari berbagai jenis (material yang berbeda) telah banyak digunakan dalam bidang konstruksi sipil, alat penukar panas, industri dan fabrikasi. Untuk penggunaan tertentu yang membutuhkan sifat sambungan khusus, kombinasi sambungan logam yang berbeda sangat diperlukan. Hal ini juga dapat membantu mengurangi biaya material yang mahal dan jarang digunakan. Misalnya, sambungan yang terbuat dari baja karbon dan baja

tahan karat dapat menggabungkan kelebihan kedua logam tersebut serta dapat menciptakan potensi yang sangat besar untuk digunakan dalam berbagai industri (Nurcholis dkk., 2022).

Pengelasan bimetal adalah proses menyambungkan dua jenis logam yang berbeda melalui metode pengelasan. Karena jenis logam yang berbeda, maka karakteristiknya juga berbeda, sehingga dalam pengelasan logam yang tidak sejenis tersebut memerlukan teknik pengelasan khusus, seperti memilih logam yang tepat untuk disambung, menggunakan elektroda yang cocok dan mengatur amper dengan benar. Sehingga, dari penggunaan metode yang tepat tersebut menghasilkan pengelasan bimetal yang dapat diterima dan digunakan secara efektif diperlukan (Agustriyana & Suyanta, 2019).

Pengelasan bimetal menghasilkan tingkat kerumitan yang lebih tinggi daripada pengelasan logam yang sama jenis. Logam yang tidak sejenis memiliki sifat yang berbeda satu sama lain. Oleh karena itu, proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik. Teknik-teknik ini termasuk memilih logam yang tepat untuk disambung, memilih elektroda yang tepat, mengatur panas input yang tepat dan memilih perlakuan panas yang tepat setelah pengelasan. Untuk mencapai tujuan ini, dibutuhkan suatu metode yang membuat pengelasan bimetal lebih mudah diterima dan pada akhirnya dapat digunakan secara efektif sesuai dengan yang diharapkan (Mustafid dkk., 2017).

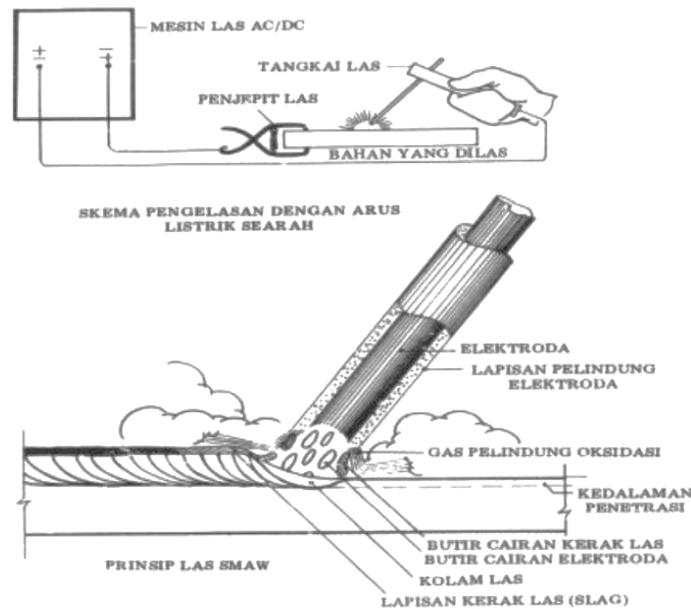
Salah satu kelemahan pengelasan bimetal adalah lonjakan tegangan yang besar karena perubahan struktur mikro di area las. Hal ini mengurangi kekuatan bahan, meninggalkan tegangan sisa dan menyebabkan retak serta cacat selama proses pengelasan. Kekuatan tarik yang dihasilkan dari pengelasan dipengaruhi oleh jenis standar pengujian tarik dan jenis elektroda yang digunakan, serta variasi arus pengelasan dengan elektroda yang sama. Salah satu parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk adalah besarnya arus las

yang digunakan. Peningkatan arus las tersebut dapat meningkatkan penembusan dan kecepatan pencairan (Haryanto dkk., 2023).

#### 2.4 *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

Pengelasan busur listrik logam terlindung, juga dikenal sebagai las elektroda terbungkus atau SMAW adalah salah satu jenis pengelasan baja struktural yang paling sederhana dan paling canggih. Proses SMAW juga sering disebut sebagai las elektroda tongkat manual. Busur listrik digunakan untuk memanaskan logam dasar yang akan disambung dan elektroda sebagai pengisi, yang kemudian akan membeku menjadi satu sehingga menciptakan sambungan logam yang baru (Potale dkk., 2020).

Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), juga dikenal sebagai las busur listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi). Pada gambar 1 menunjukkan suhu panas yang dihasilkan dari lonjakan ion listrik antara katoda dan anoda yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan pelat yang akan dilas. Sumber tegangan yang digunakan dalam proses ini dapat berkisar antara 4000 dan 4500 derajat Celcius. Las SMAW ini terdiri jenis arus dari arus bolak balik atau AC (*Alternating Current*) dan arus searah atau DC (*Direct Current*). Proses pengelasan ini terjadi ketika ujung elektroda dan material dasar bersentuhan, yang mana menyebabkan adanya hubungan pendek. Saat hubungan pendek terbentuk, tukang las (*welder*) harus menarik elektroda, yang menghasilkan busur listrik dan lonjakan ion yang menimbulkan panas. Cairan dari elektroda dan material dasar kemudian menyatu, membentuk logam lasan (*weld metal*). Berbagai jenis elektroda las dan ukuran diameternya memengaruhi jumlah arus listrik yang diperlukan untuk pengelasan (Rusdi & Istiqlaliyah, 2023).



Gambar 1. Skema Pengelasan SMAW

Sumber: (Mustafid dkk., 2017)

Beberapa parameter yang harus dipertimbangkan untuk dapat mencapai hasil pengelasan yang maksimal dengan menggunakan las SMAW adalah sebagai berikut.

#### 2.4.1 Elektroda

Elektroda las adalah bagian yang sangat penting dari proses pengelasan busur listrik. Pemilihan jenis elektroda yang tepat sangat berdampak besar dalam menentukan hasil pengelasan. Oleh karena itu, untuk memilih elektroda yang tepat yang terpenting adalah mengetahui jenis dan karakteristik dari masing-masing elektroda. Untuk penelitian ini sendiri, elektroda yang digunakan adalah tipe LB-52U dengan spesifikasi AWS SFA 5.1: E7016.

Keunggulan Elektroda LB52-U diantaranya yaitu memiliki kekuatan tarik yang tinggi sehingga cocok untuk pengelasan struktural, menghasilkan penetrasi las yang dalam dan merata, hasil las memiliki tampilan yang halus dan rapi, dapat digunakan untuk berbagai posisi

pengelasan (*flat, horizontal, vertikal, overhead*) dan cocok untuk pengelasan baja karbon rendah dan baja struktural umum.

#### 2.4.2 Arus Listrik

Parameter langsung yang memengaruhi penetrasi dan kecepatan peleburan logam dasar adalah arus las. Semakin tinggi arus las, semakin besar penetrasi dan kecepatan peleburan logam dasar. Besar arus pengelasan juga mempengaruhi hasil las karena jika arus terlalu rendah, transfer cairan dari ujung elektroda akan sulit dan busur listrik akan tidak stabil. Besar arus pengelasan yang dibutuhkan bervariasi tergantung pada diameter elektroda yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Jenis bahan yang dilas, ketebalan bahan yang dilas, geometri sambungan, diameter inti elektroda dan posisi pengelasan juga memengaruhi besar arus pengelasan yang diperlukan.

Tabel 4. Diameter Elektroda dan Arus Las (Achmadi, 2020)

Diameter Elektroda (mm)	Arus Las (Ampere)
1,5	20-40
2,0	30-60
2,6	40-80
3,2	70-120
4,0	120-170
5,0	140-230

#### 2.4.3 Tegangan Listrik (*Volt*)

Tegangan listrik yang digunakan dalam proses pengelasan SMAW sebanding atau sama dengan panjang busur listrik. Jarak antara ujung elektroda dan permukaan logam yang akan dilas disebut panjang busur listrik.

#### 2.4.4 Polaritas Listrik

Polaritas listrik memiliki pengaruh terhadap busur listrik yang dihasilkan. Dalam arus (DC) atau arus searah, sifat busur listrik yang

dihasilkan lebih stabil dibandingkan dengan arus (AC) atau arus bolak-balik. Pada arus DC dibagi menjadi dua polaritas, yaitu polaritas lurus (DC-) memiliki benda kerja positif dan elektroda negatif dan polaritas balik (DC+) yaitu sebaliknya.

Metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) memiliki beberapa kelebihan maupun kekurangan sebagai berikut.

Tabel 5. Kelebihan dan Kekurangan SMAW (Zulfadly & Ghony, 2022)

Kelebihan	Kekurangan
a. Dapat digunakan di mana saja, termasuk di dalam air, di dalam bengkel ataupun di luar.	a. Pengelasan memerlukan penyambungan dan hanya dapat mencapai panjang elektroda.
b. Dapat mengelas berbagai jenis material.	b. Slag harus dibersihkan ketika akan melakukan pengelasan berikutnya.
c. Konfigurasi yang cepat dan sangat sederhana.	c. Diameter elektroda dipengaruhi oleh tebal plat.
d. Bisa digunakan untuk mengelas dalam semua posisi.	
e. Elektroda tersedia dalam berbagai ukuran dan diameter.	
f. Peralatan yang mudah digunakan, murah, dan mudah untuk dibawa kemanapun.	
g. Kebisingan rendah ( <i>rectifier</i> ).	
h. Sangat tahan terhadap korosi, oli, dan gemuk.	

## 2.5 Prinsip Kerja Las *Shielded Metal Arc Welding*

Prinsip pengelasan busur nyala listrik ini adalah bahwa dua *metal* yang konduktif dialiri arus listrik yang cukup padat (*dense*) dengan tegangan yang relatif rendah. Kemudian menghasilkan loncatan elektron yang menciptakan panas yang sangat tinggi, hingga dapat mencapai suhu 5000°C.

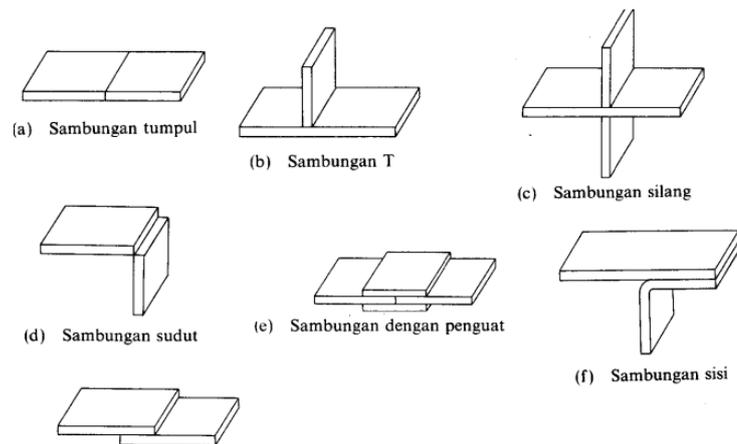
Ini memungkinkan kedua *metal* untuk mencair dengan cepat dan mudah. Arus listrik yang digunakan berkisar antara 10-500 *ampere* AC atau DC, tergantung pada kebutuhannya. Untuk keselamatan kerja, tegangan yang digunakan hanya 23-40 volt. Namun, untuk pencairan pengelasan dibutuhkan arus listrik hingga 500A. Arus listrik umumnya berkisar antara 80 dan 200 *ampere* (Syahri dkk., 2023).

Berdasarkan prinsip kerja las SMAW terdapat tiga macam mesin las SMAW berdasarkan arusnya, yaitu Mesin las arus searah (DC), mesin las arus bolak-balik (AC), dan mesin las arus ganda masing-masing dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Mesin las arus searah (DC) juga dapat digunakan untuk pengelasan dengan polaritas lurus dan polaritas terbalik. Polaritas lurus, juga disebut sebagai DCSP (*Direct Current Straight Polarity*) atau DCEN (*Direct Current Negatif Electrode*), menghubungkan elektroda di mesin las ke posisi negatif (-) dan benda kerja ke posisi positif (+). Lasan penetrasi dalam diciptakan oleh konsentrasi panas logam dasar. Proses ini terjadi ketika arus bergerak dari elektroda ke benda kerja, sehingga sekitar dua pertiga panas yang dihasilkan dilepaskan ke benda kerja dan satu pertiga dilepaskan ke elektroda. Polaritas terbalik, juga disebut sebagai DCRP (*Direct Current Received Polarity*) atau DCEP (*Direct Current Positif Electrode*), menghubungkan elektroda ke posisi positif (+) dan benda kerja ke posisi negatif (-) dari mesin las. Dengan demikian, sekitar 2/3 panas yang dihasilkan dilepaskan pada elektroda dan 1/3 panas dilepaskan pada benda kerja. Konsentrasi panas yang tinggi pada logam dasar menyebabkan lasan penetrasi dangkal (Purwanto dkk., 2023).

## 2.6 Klasifikasi Sambungan Las

Dalam konstruksi baja, sambungan las pada dasarnya terdiri dari sambungan tumpang, sambungan tumpul, sambungan sudut dan sambungan T. Selain itu, terdapat sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan

sisi yang tercipta seiring dengan berkembangnya sambungan dasar tersebut. Bentuk dan ukuran batang yang akan disambung, tipe pembebanan, luas sambungan yang akan dilas dan biaya produksi untuk berbagai jenis sambungan las merupakan faktor-faktor yang memengaruhi dari beragamnya pilihan jenis sambungan las, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Berbagai Jenis Sambungan Las Dasar

Sumber: (Wiryosumarto & Okumura, 2000)

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 di atas, ada berbagai jenis sambungan dasar pengelasan, tetapi ada banyak variasi dan kombinasi dalam prakteknya, diantaranya adalah:

### 2.9.1 Sambungan Tumpul (*Butt Joint*)

Jenis sambungan yang paling sering digunakan adalah sambungan tumpul. Pada sambungan ini, ada dua jenis sambungan penetrasi, penetrasi penuh dan penetrasi sebagian. Sambungan penetrasi penuh kemudian dibagi lagi menjadi sambungan dengan dan tanpa pelat pembantu. Bentuk alur pada sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan, dan jaminan sambungan, sehingga sangat penting untuk memilih bentuk alur. Standar AWS, BS,

DIN dan lainnya sudah banyak menstandarkan bentuk dan ukuran alur pada sambungan datar ini (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

### **2.9.2 Sambungan Bentuk T dan Bentuk Silang**

Las dengan alur dan las sudut adalah dua jenis las yang berbeda yang digunakan pada sambungan bentuk T dan bentuk silang ini. Sambungan jenis ini juga memenuhi persyaratan yang disebutkan di atas untuk sambungan tumpul. Selama pengelasan, mungkin ada bagian batang yang menghalangi. Hal ini dapat diperbaiki dengan memperbesar sudut alur (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

### **2.9.3 Sambungan Sudut**

Dalam sambungan jenis ini dapat menyebabkan retak lamel karena adanya penyusutan pada arah tebal pelat. Hal ini dapat dicegah dengan membuat alur pada pelat tegak. Jika ruang terlalu sempit atau posisi yang terbatas untuk pengelasan dalam, maka pengelasan tembus atau pelat pembantu dapat digunakan (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

### **2.9.4 Sambungan Tumpang**

Karena efisiensi yang rendahnya, sambungan tumpang biasanya dilakukan dengan las sudut dan sisi. Oleh karena itu, jarang digunakan dalam pelaksanaan sambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang, juga dikenal sebagai sambungan tumpang, biasanya digunakan untuk menyambung plat dengan berbagai ketebalan. Keunggulan sambungan ini adalah bahwa mereka tidak membutuhkan kampuh atau alur (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

### 2.9.5 Sambungan Sisi

Sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung adalah dua bagian dari sambungan sisi. Jenis pengelasan pertama membutuhkan alur pada ujung pelat, sedangkan jenis pengelasan kedua tidak membutuhkan alur pada ujung pelat. Jenis pengelasan yang kedua biasanya kurang memuaskan kecuali dalam posisi datar dengan aliran listrik yang tinggi. Akibatnya, jenis sambungan ini hanya digunakan untuk pengelasan tambahan atau sementara untuk pengelasan pelat yang tebal (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

## 2.7 Pengujian Tarik

Untuk menentukan kekuatan tarik sambungan las logam, maka pengujian tarik perlu dilakukan. Dikarenakan prosesnya yang sederhana dan menghasilkan tegangan yang seragam pada penampang, sambungan logam yang telah dilas biasanya tidak tahan terhadap tegangan tarik. Sifat logam induk, daerah HAZ, sifat logam las, geometri, dan distribusi tegangan dalam sambungan, semua memengaruhi kekuatan tarik sambungan las. Dalam pengujian ini, spesimen uji dibebani secara bertahap hingga mengalami patah. Setelah itu, sifat tarik spesimen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

Tegangan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (Kg/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana: F = Beban (Kg)

A<sub>0</sub> = Luas mula dari penampang batang uji (mm<sup>2</sup>)

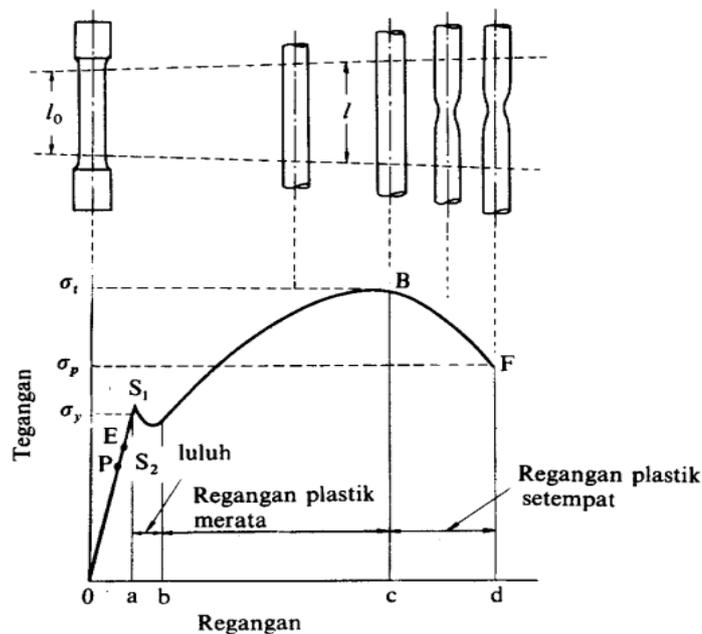
Regangan:

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:  $L$  = Panjang batang uji yang telah diberi beban (mm)  
 $L_0$  = Panjang mula dari batang uji (mm)

Dalam rangka melakukan uji tarik, maka diperlukan adanya batang tarik. Batang tarik ini akan dibubut dari spesimen yang akan diuji dengan ukuran yang telah dinormalisasikan. Pengujian tarik sendiri adalah salah satu teknik pengujian yang paling umum digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari suatu material. Dalam uji tarik yang sederhana, melibatkan spesimen uji tarik yang dijepit di kedua ujungnya pada rangka beban uji tarik. Mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) akan memberikan gaya tarik yang akan menciptakan pemanjangan pada spesimen uji hingga mengalami patah.

Uji tarik bertujuan untuk menentukan nilai kekuatan tarik dan lokasi putusnya sambungan las. Pembebanan tarik dilakukan dengan memberikan gaya tarik pada salah satu ujung spesimen. Gaya tarik yang diberikan tersebut menyebabkan berubahnya bentuk atau deformasi pada spesimen uji.



Gambar 3. Kurva Tegangan-Regangan

Sumber: (Wiryosumarto & Okumura, 2000)

Gambar 3. diatas menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan pada sebuah spesimen uji. Titik P merupakan batas masih berlakunya dari hukum Hooke, disebut juga batas proporsi. Sedangkan, titik E adalah batas di mana spesimen uji tidak akan mengalami perpanjangan tetap jika beban diturunkan ke titik awal, kondisi ini dikenal sebagai batas elastis. Karena titik E sulit ditentukan secara tepat, maka batas elastis biasanya ditentukan dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% hingga 0,01%. Titik S1 dikenal sebagai titik luluh atas, sedangkan titik S2 dikenal sebagai titik luluh bawah. Beberapa logam memiliki batas luluh yang tidak terlihat dalam diagram tegangan-regangan. Dalam kasus ini, tegangan luluhnya dihitung sebagai tegangan dan regangan sebesar 0,2% (Wiryosumarto & Okumura, 2000).



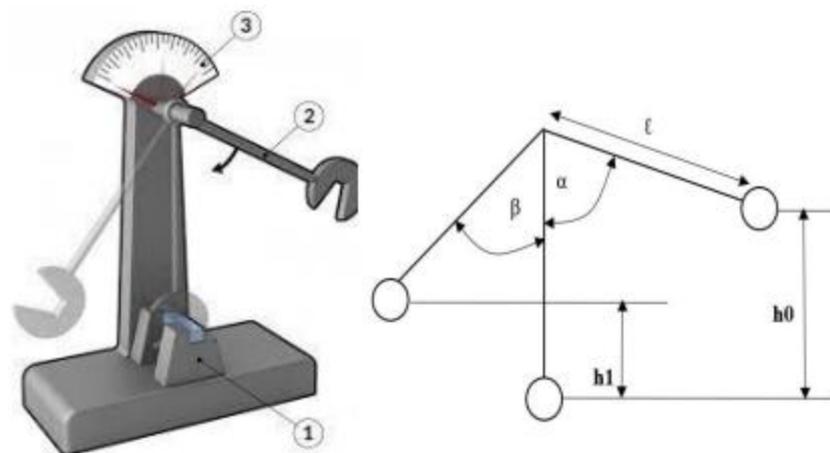
Gambar 4. Mesin Uji Tarik

Sumber: (Rizal, 2017)

Pengujian tarik dimulai dengan spesimen uji diklem pada mesin uji tarik. Kemudian, beban statis ditambahkan secara bertahap hingga spesimen uji mengalami putus. Plotter dihubungkan dengan besar beban dan pertambahan panjang langsung, yang menghasilkan grafik tegangan (Mpa) dan regangan (%). Grafik ini menunjukkan nilai tegangan luluh ( $\sigma_{ys}$ ), tegangan *ultimate* ( $\sigma_{ult}$ ), modulus elastisitas (E), dan keuletan sambungan las yang telah diuji tarik (Dowling dkk., 1999).

## 2.8 Pengujian Impak

Uji impak merupakan pengujian yang dilakukan dengan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pembebanan cepat atau dikenal juga sebagai beban impak, Terjadi penyerapan energi yang signifikan dari energi kinetik beban yang menumbuk spesimen. Proses penyerapan energi ini akan berubah karena berbagai respon pada material, seperti deformasi plastis, gesekan, dan efek inersia. Untuk mencegah kerusakan atau kegagalan, karakteristik material harus diketahui (Saragi dkk., 2023).

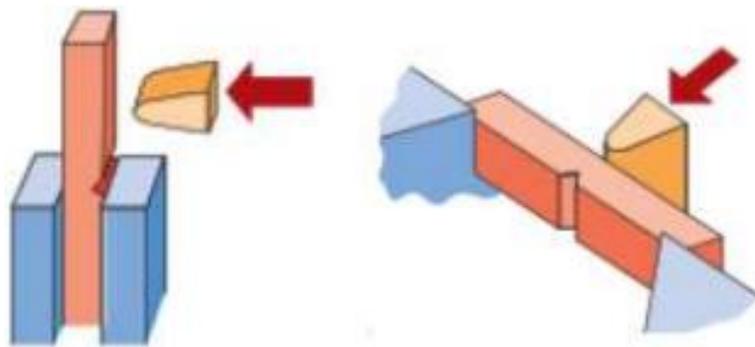


Gambar 5. Mesin Uji Impak

Sumber: (Boangmanalu dkk., 2023)

Dalam sistem pengujian impak, benda uji (spesimen) dipatahkan untuk mendapatkan nilai energi yang diserap. Mesin uji impak dan bagian-bagiannya akan menghasilkan patah pada sasaran yang telah ditentukan, setelah itu pendulum diayunkan menuju spesimen dengan ketinggian pendulum yang telah ditentukan sebelumnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Posisi satu yaitu ketika pendulum menghantam spesimen uji. Posisi kedua menunjukkan posisi awal pendulum sebelum dilakukannya pengujian, yang mana berat pendulum tersebut berkisar antara 15 dan 25 Kg tergantung pada kebutuhan pengujian. posisi tiga adalah skala yang menunjukkan perhitungan hasil pengujian dan energi yang diserap (Boangmanalu dkk., 2023).

Terdapat dua jenis standar pengujian impact yang telah dibuat dan masih digunakan. Sampai saat ini, untuk mengukur energi impact yang dikenal sebagai ketangguhan akibat takikan atau *notch toughness*, yaitu dengan Metode *Charpy* dan *Izod*. Metode *Izod* banyak digunakan di Eropa, terutama di Inggris, dengan spesimen diposisikan secara vertikal pada tumpuan dengan salah satu ujungnya dicekam dengan takikan pada arah gaya tumbukan. Tumbukan pada spesimen dilakukan agak di atas takikan tidak tepat di pusat takikan. Dan untuk Metode *Charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat. Metode ini dilakukan dengan cara spesimen dipasang secara horizontal dengan kedua ujungnya berada pada tumpuan, sedangkan takikan diletakkan di tengah-tengah dengan arah pembebanan tepat di belakang dari takikan (Saragi dkk., 2023).



Gambar 6. Metode *Izod* dan Metode *Charpy*

Sumber: (Saragi dkk., 2023)

Berikut ini adalah rumus yang digunakan dalam pengujian Impact:

$$E_1 = P (D - D \cos \alpha) \dots\dots\dots (3)$$

- Dimana:  $E_1$  = Usaha yang dikerjakan (Kg.m)  
 $P$  = Beban pendulum (Kg)  
 $D$  = Jarak dari pusat sumbu pendulum ke pusat gravitasi (m)  
 $\alpha$  = Sudut angkat pendulum ( $^{\circ}$ )

$$E_2 = P (D - D \cos \theta) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:  $E_2$  = Sisa usaha setelah mematahkan spesimen uji (Kg.m)  
 $P$  = Beban pendulum (Kg)  
 $D$  = Jarak dari pusat sumbu pendulum ke pusat gravitasi (m)  
 $a$  = Sudut ayun setelah pendulum mengenai spesimen ( $^{\circ}$ )

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung jumlah usaha yang diperlukan untuk mematahkan spesimen uji:

$$E = E_1 - E_2 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:  $E$  = Usaha yang diperlukan mematahkan benda uji (Kg.m)  
 $E_1$  = Usaha yang dilakukan (Kg.m)  
 $E_2$  = Sisa usaha setelah pematahan benda uji (kg.m)

(HI) Harga impak suatu material yang diuji didapatkan dengan persamaan:

$$HI = \frac{E}{A} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana: HI = Harga impak  
 $E$  = Energi yang diserap (J)  
 $A$  = Luas penampang di bawah takikan (mm<sup>2</sup>)

## 2.9 Pengujian *Penetrant*

*Liquid Penetrant Test* adalah Metode *Non-Destructive Test* (NDT) yang paling mudah digunakan untuk mengidentifikasi cacat pada permukaan terbuka dari komponen solid, baik logam maupun non-logam, seperti keramik dan serat plastik. Dengan menggunakan cairan berwarna terang, cacat material akan menjadi lebih jelas. Agar cairan ini dapat memasuki cacat pada permukaan material, ia harus memiliki daya penetrasi yang baik

dan viskositas yang rendah. Setelah itu, cairan *penetrant* yang tersisa di permukaan material bersihkan. Jika perbedaan warna *penetrant* dengan latar belakang cukup kontras, maka cacat akan terlihat dengan jelas. Terakhir, inspeksi *penetrant* yang tersisa dibersihkan dengan cairan *developer* (Irwansyah, 2019). Dalam melakukan pengujian *penetrant* ini terdapat tahapan yang disebut dengan *dwelling time* atau waktu tunggu, yang berfungsi untuk memberikan waktu pada cairan *penetrant* untuk dapat masuk ke dalam cacat pada permukaan material uji. *Dwelling time* pada setiap material berbeda-beda yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Minimal *Dwelling Times* Untuk Beberapa Jenis Material (Wicaksono dkk., 2022)

Material	Bentuk	Tipe Diskontinuitas	<i>Dwell Times</i> <sup>(1)</sup> (menit)
Aluminium, magnesium, baja, brass and bronze, titanium dan paduan temperatur tinggi	<i>Castings and welds</i>	<i>Cold shuts, porosity, lack of fusion, cracks</i> (semua bentuk)	5
	<i>Wrought materials – extrusions, forgings, plate</i>	<i>Laps, cracks</i>	10
<i>Carbide-tipped tools</i>	<i>Brazed or welded</i>	<i>Lack of fusion, porosity, cracks</i>	5
Plastik	Semua bentuk	<i>Cracks</i>	5
Kaca	Semua bentuk	<i>Cracks</i>	5
Keramik	Semua bentuk	<i>Cracks</i>	5

Note:  
<sup>(1)</sup> Berlaku pada rentang temperatur antara 50°F hingga 125°F (10°C hingga 52°C), sedangkan pada rentang temperatur dari 40°F (5°C) hingga 50°F (10°C), minimal *dwell time* harus 2 kali nilai yang tercantum.

Pengujian *liquid penetrant* tidak dapat mendeteksi cacat tertutup, di dalam material, atau berpori, tetapi dapat mendeteksi cacat permukaan dengan ukuran hingga 0,01 mm. Kontaminasi yang terjadi selama penggunaan tidak akan berdampak signifikan pada objek yang diuji. Terdapat dua kategori tes *penetrant* yaitu *visible penetrant* dan *fluorescent penetrant*. Dan jika secara teknik penggunaannya, tes ini dibagi menjadi tiga cara, yaitu *water washable*, *solvent removable* dan *post-emulsifying*. Untuk pembacaan *penetrant* berfluoresensi dilakukan di ruang gelap dengan sinar *ultraviolet*.



Gambar 7. Aerosol dan Pelarut Untuk Uji *Liquid Penetrant*

Sumber: (Wicaksono dkk., 2022)

Keuntungan dari metode uji *liquid penetrant* ialah kemampuannya untuk menginspeksi permukaan yang luas dengan harga yang terjangkau dan cepat, serta kemampuan untuk menginspeksi komponen dengan geometri yang kompleks. Dengan sedikitnya peralatan yang digunakan dan pemeriksaan secara *visual*, indikasi cacat langsung dapat dilihat pada permukaan material. Namun, kekurangan dari metode *Liquid Penetrant Test* adalah hanya dapat mendeteksi cacat yang merusak permukaan, memerlukan pembersihan permukaan untuk menghilangkan kotoran yang dapat menghalangi indikasi cacat, memerlukan permukaan yang relatif halus/tidak berpori, perlu dilakukan pembersihan pada permukaan setelah pengujian, memerlukan lingkungan yang gelap dan terpapar sinar ultraviolet selama pengujian, dan memerlukan kehati-hatian saat menggunakan zat kimia (Irwansyah, 2019).

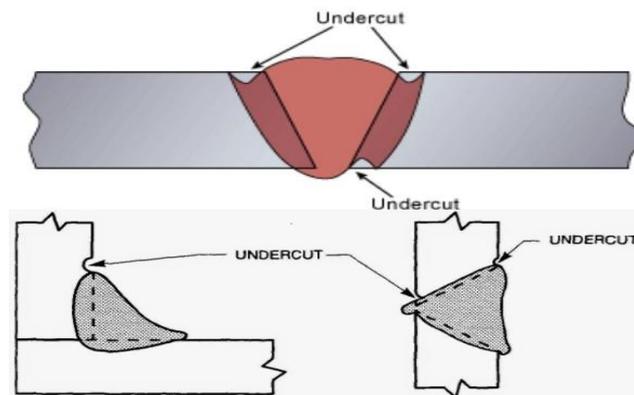
## 2.10 Jenis-Jenis Cacat Las

Menurut standar EN Eropa BS EN ISO 6520-1, cacat las adalah suatu kesalahan atau ketidaksempurnaan yang terjadi pada produk las. Sangat penting untuk menemukan ketidaksempurnaan dalam hasil pengelasan secara akurat sehingga dapat menentukan faktor penyebabnya dan menetapkan langkah-langkah yang akan diambil untuk mencegah kesalahan

yang sama terulang (Suherman & Abdullah, 2020). Jenis cacat las dijelaskan sebagai berikut.

### 1. *Undercut*

*Undercut* adalah alur las yang tidak beraturan pada ujung *toes* logam induk atau logam las yang sebelumnya terdeposit. Yang mana ditandai dengan kedalaman, panjang dan ketajamannya.

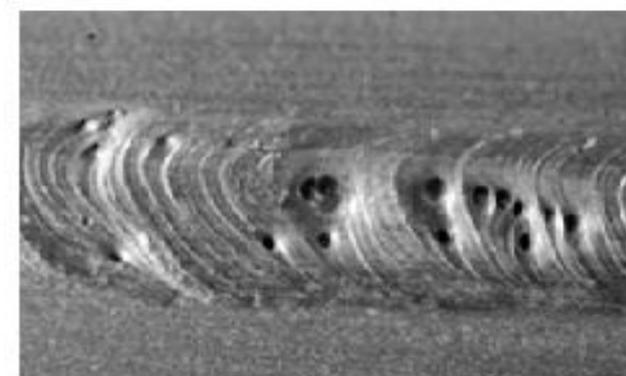


Gambar 8. Cacat *Undercut*

Sumber: (Achmadi, 2024)

### 2. Cacat Lubang

Cacat lubang biasanya dibagi menjadi dua kategori yaitu cacat lubang yang disebabkan oleh gas terjebak (*gas cavity*) dan cacat lubang yang disebabkan oleh penyusutan selama pembekuan (*shrinkage cavity*).

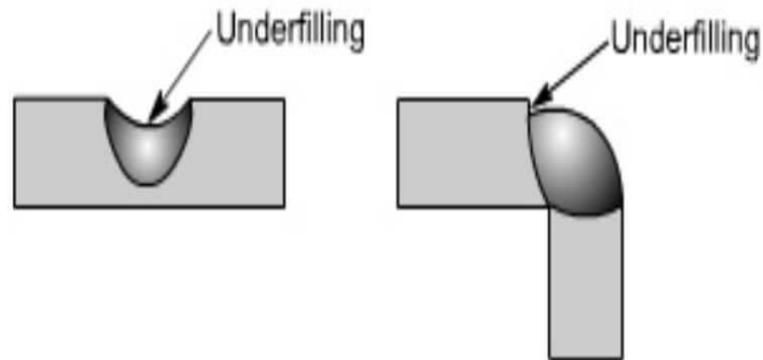


Gambar 9. Cacat Lubang

Sumber: (Achmadi, 2024)

### 3. *Underfilling*

*Underfilling* merupakan cacat las pada permukaan yang ditandai dengan kurangnya pengisian lasan sehingga permukaan lasan pengisi lebih rendah daripada benda kerja atau kampuh las.

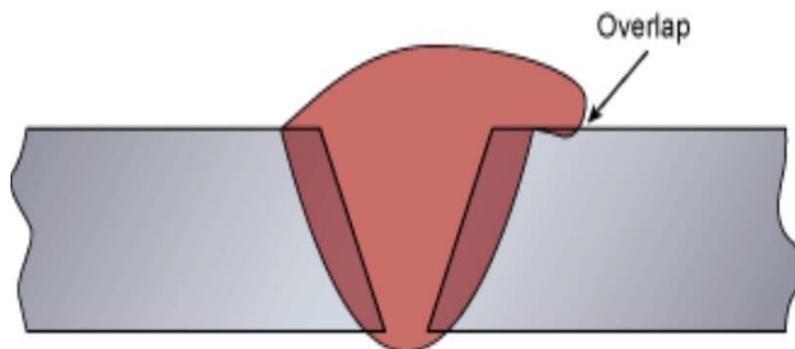


Gambar 10. Cacat *Underfilling*

Sumber: (Achmadi, 2024)

### 4. *Overlap*

*Overlap* adalah cacat las yang ditandai dengan logam pengisi yang mengalir ke permukaan logam induk tidak melebur ke dalam kampuh las yang menyebabkan ketidaksempurnaan pada ujung las.



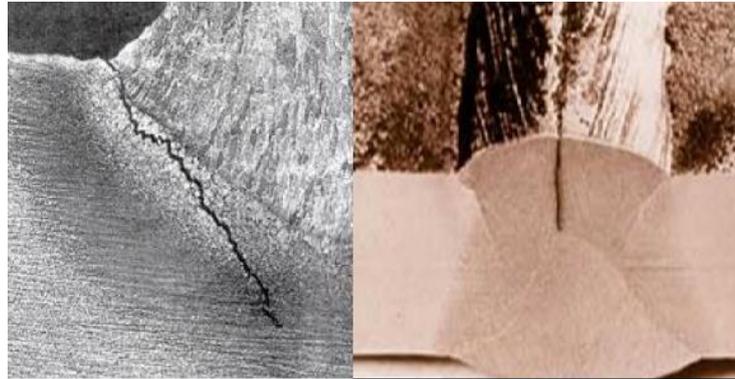
Gambar 11. Cacat *Overlap*

Sumber: (Achmadi, 2024)

### 5. *Crack*

*Crack* atau cacat retak adalah ketidaksempurnaan karena kerusakan lokal yang terjadi dalam kondisi padat, yang mungkin disebabkan oleh

pendinginan atau tekanan. Retak adalah jenis ketidaksempurnaan yang paling umum daripada jenis ketidaksempurnaan lainnya karena geometri las menghasilkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi di ujung retak, yang meningkatkan kemungkinan patah.



Gambar 12. Cacat *Crack*

Sumber: (Achmadi, 2024)

Cacat-cacat tersebut terjadi karena terdapat kesalahan dalam pengelasan yaitu berupa tidak mengikuti standar prosedur seperti menggunakan arus yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, kecepatan pengelasan yang terlalu cepat atau terlalu lambat dan lain lain. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka hasil pengelasan harus dievaluasi. Salah satu caranya yaitu dengan inspeksi cairan *penetrant*. Dan juga melakukan inspeksi ada tidaknya diskontinuitas atau cacat pengelasan yang tidak diizinkan dalam bentuk garis (*linear*) dan bundar (*rounded*) berdasarkan AWS D1.1, 2015, Tabel 6.1 untuk inspeksi visual sebagai standar kriteria penerimaan dengan ASME Section VIII Divisi 1 Mandatory Appendix 6 sebagai acuan untuk standar kriteria penerimaan uji cairan *penetrant* (Siagian dkk., 2022). Kriteria tersebut adalah sebagai berikut:

1. Indikasi garis (*linear*) yang relevan ( $> 1,5$  mm).
2. Indikasi bundar (*rounded*) yang relevan ( $> 5$  mm).
3. Empat atau lebih indikasi *rounded* yang relevan berjajar dalam satu garis, terpisah satu sama lain dari ujung ke ujung pada jarak ( $\leq 1,5$  mm).

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Adapun tempat dan waktu dilaksanakannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

##### **3.1.1 Tempat Penelitian**

Proses penelitian ini melibatkan tempat yang berbeda sesuai dengan tahapan yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Proses pengelasan dan pembuatan spesimen dilakukan di bengkel las SMKN 2 Bandar Lampung.
- b. Pengujian *liquid penetrant* dilakukan di bengkel las SMKN 2 Bandar Lampung.
- c. Pengujian impak dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.
- d. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

##### **3.1.2 Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2024 sampai dengan Agustus 2024.

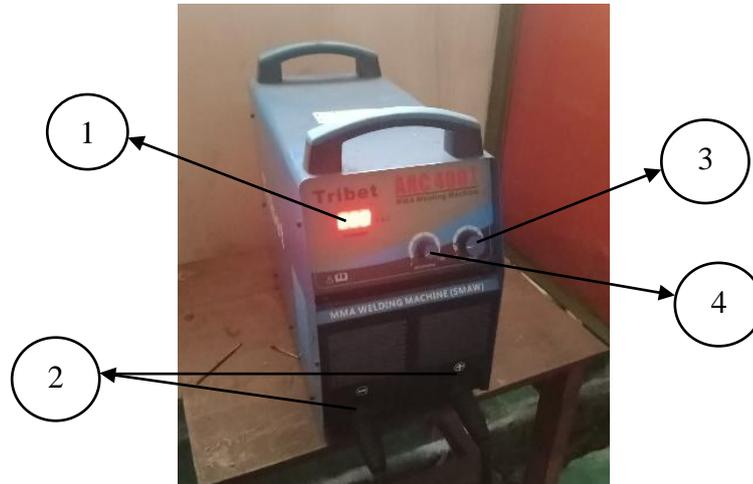
#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

##### **3.2.1 Alat Penelitian**

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

### 1. Mesin Las SMAW

Mesin las *Shielded Metal Arc Welding* digunakan untuk menyambungkan dua spesimen logam dengan bantuan elektroda. Mesin las ini dapat menggunakan arus maksimum sebesar 400A.



Gambar 13. Mesin Las SMAW

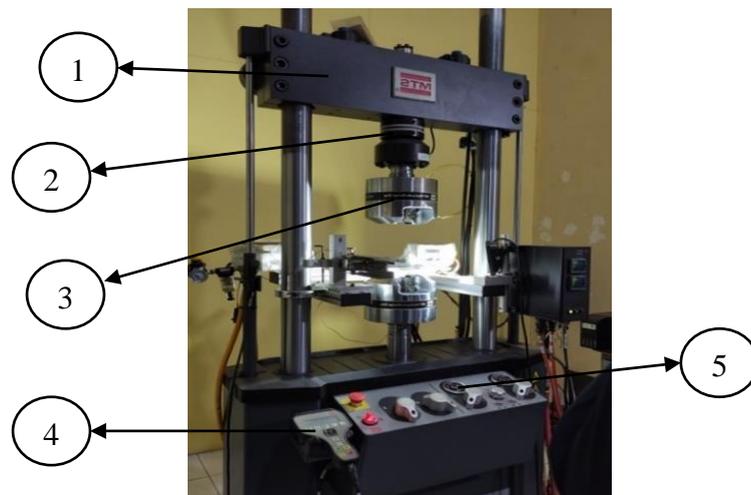
Keterangan gambar:

1. Skala amper meter: menampilkan arus las yang digunakan pada saat pengelasan berlangsung.
2. Pengatur arus/amper las: mengatur besar kecilnya arus las yang akan digunakan.
3. Pengatur *arc force*: membantu mempertahankan kestabilan dari busur las.
4. Kabel las: terdapat 2 kabel las pada mesin las, yaitu kabel massa dan kabel elektroda.

Tabel 7. Spesifikasi Mesin Las

Spesifikasi Mesin	
Model	ARC 400I
<i>Serial Number</i>	EN60974-1
Tahun	2012
Tegangan	380V
Kapasitas	30-400A

2. Mesin uji tarik digunakan untuk pengujian tarik pada spesimen yang telah dibentuk sesuai standar. Pada dasarnya, prinsip kerja dari mesin uji tarik yaitu dengan menarik material hingga putus, kemudian parameter menampilkan data tentang kekuatan maksimal material tersebut. Hal tersebut juga dapat digunakan untuk melihat perbandingan panjang objek sebelum dan setelah proses penarikan.



Gambar 14. Mesin Uji Tarik

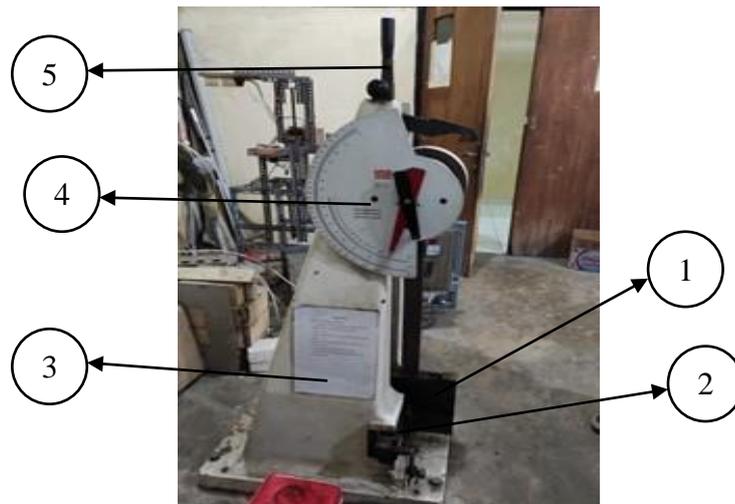
Keterangan gambar:

1. *Crosshead and structure*: berfungsi untuk menggerakkan spesimen uji dengan kecepatan yang terkendali baik ke atas maupun ke bawah.
2. *Load cell*: menghasilkan sinyal listrik yang dapat diukur dari gaya tegangan. Load cell ini bekerja berdasarkan prinsip deformasi elastis.
3. *MTS accessories*: terdapat banyak bagian, salah satunya yaitu *grip* yaitu tempat mencengkram spesimen.
4. *Optional control features*: digunakan untuk mengontrol *crosshead* dan cengkraman spesimen.
5. *Centralized controls*: mengatur tekanan cengkram pada *grip*.

Tabel 8. Spesifikasi Mesin Uji Tarik

Spesifikasi Mesin	
<i>Merk</i>	MTS Landmark
<i>Type</i>	U PD 10
Kapasitas	100 kN
Tahun	2015
Skala Pengukuran Beban	A : 0-20 kN A+B : 0-50 kN A+B+C : 0-100 kN

6. Mesin Uji Impak adalah perangkat yang digunakan untuk menguji beban kejut yang diberikan pada spesimen. Terdapat dua metode pada uji impak yaitu Metode *Charpy* dan Metode *Izod*. Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu Metode *Charpy*.



Gambar 15. Mesin Uji Impak

Keterangan gambar:

1. Pendulum: sebagai pembentur terhadap spesimen.
2. Dudukan spesimen: tempat meletakkan spesimen pada saat pengujian.
3. Rangka: digunakan untuk menahan atau menopang beban yang terjadi, yang mana terdiri dari dua bagian yaitu batang tiang penahan dan alas tiang penahan.

4. Indikator: terdapat jarum yang berfungsi untuk menunjukkan nilai energi yang dihasilkan pada saat pengujian.
5. Tuas pendulum: berfungsi untuk melepaskan pendulum agar pendulum dapat berayun.

Tabel 9. Spesifikasi Mesin Uji Impak

Spesifikasi Mesin	
Model	RMU <i>Testing Equipment</i>
Pendulum <i>Energy</i>	300 J <i>Charpy</i> – Div 1 J 150 J <i>Charpy</i> – Div 0,5 J 165 J <i>Charpy</i> – Div 2,5 J
<i>Rising angel</i>	160°
<i>Distance between centers of pendulum and specimen</i>	380 mm
Pendulum <i>moment</i>	0,5 PL = 0,258 Nm, 1 J PL = 0,516 Nm, 2 J PL = 1,031 Nm, 4 J PL = 2,062 Nm, 5 J PL = 2,578 Nm
<i>Dial scale</i>	0 – 0,5 J <i>minimum scale</i> 0,005 J
<i>Corner dimension of striking edge</i>	30 <i>degree</i>
<i>Round angel radius of striking edge</i>	R = 2 mm

### 3.2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

#### 1. Baja AISI 1020

Adapun komposisi kimia dan sifat mekanik dari material baja AISI 1020 ditunjukkan pada Tabel 10 dan 11:

Tabel 10. Komposisi Kimia Baja AISI 1020

Kode	C %	Si %	Mn %	P %	S %
AISI 1020	0,20	0,24	0,50	0,025 max	0,024 max

Tabel 11. Sifat Mekanik Baja AISI 1020

Sifat Mekanik	Keterangan
Kekuatan Tarik	420 MPa
Kekuatan Luluh	350 MPa
Elongation	15 %
Modulus Elastisitas	186 GPa

## 2. Baja AISI 1041.

Adapun komposisi kimia dan sifat mekanik dari material baja AISI 1041 ditunjukkan pada Tabel 12 dan 13:

Tabel 12. Komposisi Kimia Baja AISI 1041

Kode	C %	Si %	Mn %	P %	S %
AISI 1041	0,41	0,25	0,4	0,03 max	0,035 max

Tabel 13. Sifat Mekanik Baja AISI 1041

Sifat Mekanik	Keterangan
Kekuatan Tarik	400-510 Mpa
Kekuatan Luluh	205-245 Mpa
Elongation	27-30 %
Modulus Elastisitas	190-210 Gpa

## 3. Elektroda LB-52U

Elektroda LB-52U adalah kategori kawat las standar AWS SFA 5.1: E 7016. Adapun komposisi kimia dan sifat mekanik dari elektroda LB-52U ditunjukkan pada Tabel 14 dan 15:

Tabel 14. Komposisi Kimia Elektroda LB-52U

Kode	C %	Si %	Mn %
LB-52U	0,06	0,7	0,9

Tabel 15. Sifat Mekanik Elektroda LB-52U

Sifat Mekanik	Keterangan
Kekuatan Tarik	470-600 MPa
Kekuatan Luluh	380 MPa
Elongation	20 %

#### 4. Bahan Uji *Dye Penetrant*

Bahan yang digunakan untuk uji penetrant terdiri dari *developer*, *cleaner/remover* dan larutan *visible penetrant*.



Gambar 16. Bahan Uji Penetrant

Tabel 16. Komposisi Kimia Larutan *Visible Penetrant*

Bahan	Komposisi Kimia	Keterangan
Larutan <i>visible penetrant</i>	pewarna ( <i>dye</i> )	5-10%
	Pelarut ( <i>solvent</i> )	70-90%
	Surfaktan ( <i>surfactant</i> )	1-5%
	Additif	1-5%

Tabel 17. Komposisi Kimia Cairan *Developer*

Bahan	Komposisi Kimia	Keterangan
Cairan <i>developer</i>	Pelarut volatil	70-90%
	Bahan pengisi halus	10-20%
	Surfaktan ( <i>surfactant</i> )	1-5%
	Additif	1-5%

Tabel 18. Komposisi Kimia Cairan *Cleaner/Remover*

Bahan	Komposisi Kimia	Keterangan
Cairan <i>cleaner/remover</i>	Air	70-80%
	Pelarut organik rendah	5-10%
	Surfaktan ( <i>surfactant</i> )	5-15%
	Additif	1-5%

### 3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap pertama persiapan spesimen, kemudian tahap proses pengelasan, tahap pembuatan spesimen, selanjutnya tahap pengujian, dan tahap terakhir pengambilan data.

#### 3.3.1 Persiapan Spesimen

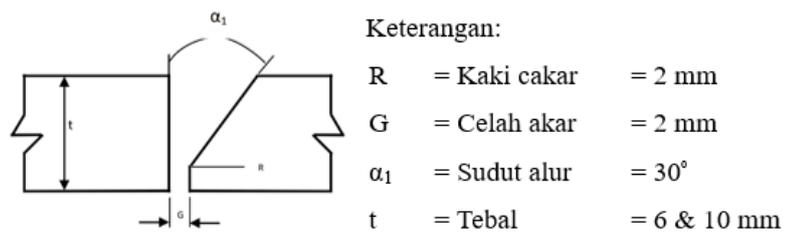
Persiapan spesimen uji adalah langkah pertama dalam penelitian ini. Ada tiga tahap persiapan, yaitu memilih material, memilih elektroda, dan membuat kampuh las.

##### a) Pemotongan Bahan

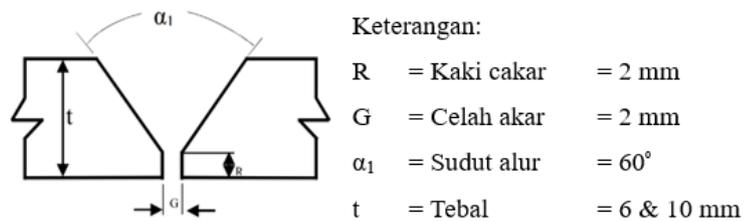
Pemotongan bahan disesuaikan dengan dimensi yang diinginkan yaitu untuk spesimen uji tarik memiliki panjang 120 mm, lebar 120 mm dan tebal 6 mm. Kemudian untuk spesimen uji impak dimensinya yaitu panjang 75 mm, lebar 35 mm dan tinggi 10 mm.

##### b) Pembuatan Kampuh las

Jenis kampuh las yang digunakan dalam penelitian ini adalah tirus tunggal dan V tunggal seperti pada Gambar 17 dan 18 dibawah ini:



Gambar 17. Dimensi Kampuh dengan Alur Tirus Tunggal



Gambar 18. Dimensi Kampuh dengan Alur V Tunggal

### 3.3.2 Prosedur Pelaksanaan Pengelasan

Dalam penelitian ini, metode pengelasan yang digunakan adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Adapun prosedur pengelasan adalah sebagai berikut:

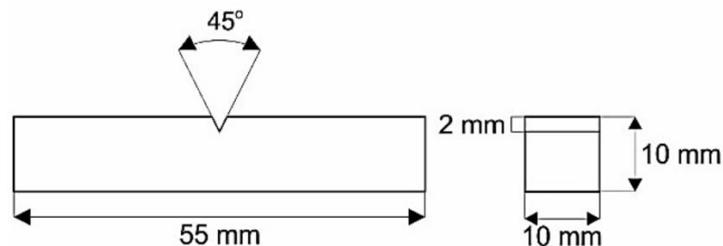
1. Menyiapkan material yang akan dilas yang terlebih dahulu dibersihkan permukaannya dari kotoran yang menempel.
2. Menyiapkan mesin las SMAW dengan arus arus bolak-balik (AC) dan alat-alat lainnya serta elektroda yang digunakan.
3. Mengatur arus las sebesar 70A pada mesin las SMAW sesuai dengan diameter elektroda dan tebal plat baja yang digunakan.
4. Kemudian, kaitkan salah satu penjepitnya pada material (benda kerja) dan kaitkan penjepit lainnya pada ujung elektroda. Hidupkan mesin las dan goreskan elektroda pada material (benda kerja) hingga ujung elektroda menyala.
5. Selanjutnya, mulai melakukan pengelasan pada spesimen.
6. Memantau proses pengelasan untuk memastikan kualitas dari hasil las.

7. Setelah pengelasan selesai, matikan mesin las dan biarkan spesimen hasil las dingin dengan suhu ruang.
8. Melakukan inspeksi pada hasil lasan.
9. Mengulangi langkah 3-8 sesuai dengan banyaknya spesimen yang di las.

### 3.3.3 Pembuatan Spesimen Uji

#### 1. Spesimen Uji Impak

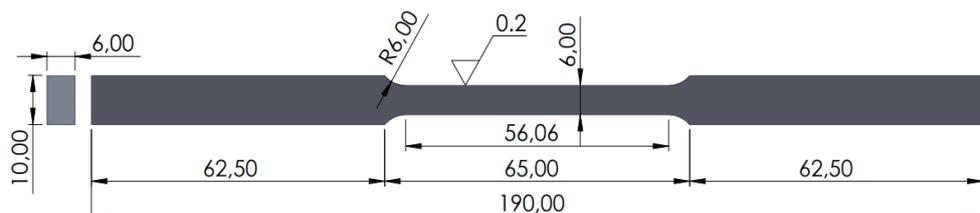
Dalam pembuatan spesimen untuk uji impak, digunakan standar ASTM E-23 yang memiliki dimensi panjang 55 mm, lebar 10 mm, dan tebal 10 mm. Sama seperti uji tarik, jumlah spesimen uji impak sebanyak 6 spesimen. Ukuran dimensi untuk spesimen uji impak dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Ukuran Dimensi Spesimen Uji Impak ASTM E-23

#### 2. Spesimen Uji Tarik

Standar spesimen yang digunakan untuk pengujian tarik ini adalah ASTM E-8 dengan jumlah spesimen sebanyak 6 spesimen. Dimensi dari spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Ukuran Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM E-8

### 3.3.4 Prosedur Pengujian

#### 1. Prosedur Pengujian *Liquid Penetrant*

Pengujian *liquid penetrant* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *solvent removable visible penetrant*. Adapun prosedur pengujian *liquid penetrant* adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan bahan yang diperlukan yang terdiri dari spesimen uji dan cairan *penetrant* yang terdiri dari *developer*, *cleaner/remover* serta larutan *visible penetrant*.
- b. Kemudian membersihkan permukaan material yang telah di las menggunakan *cleaner* hingga bersih dan kering.
- c. Setelah permukaan bersih, semprotkan cairan penetran ke permukaan material dan biarkan selama 5 hingga 10 menit.
- d. Selanjutnya *apply developer* yang dilakukan dengan menyemprotkan *developer* ke seluruh permukaan material dengan jarak 20 sampai 30 cm.
- e. Setelah penyemprotan *developer* selesai, lakukan inspeksi untuk Analisa dan interpretasi cacat las yang muncul.
- f. Dan tahap yang terakhir adalah *post cleaning*, yaitu pembersihan seluruh permukaan material yang dilakukan dengan menggunakan *remover* dan dikeringkan menggunakan kain bersih.
- g. Mengulangi langkah ke 2-7 sesuai dengan banyaknya spesimen yang diuji dan selesai.

#### 2. Prosedur Pengujian Impak

Pengujian impak pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Metode *charpy* dan alat uji yang digunakan yaitu *universal impact tester*. Adapun prosedur pengujian impak adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan spesimen yang akan di uji, yang mana spesimen tersebut sebelumnya sudah dibuat takikan sesuai dengan standar.

- b. Mengkalibrasi alat pengujian impak untuk mengurangi kesalahan perhitungan
- c. Menempatkan spesimen pada meja uji.
- d. Mengangkat pendulum sesuai dengan tinggi yang ditentukan.
- e. Mendorong tuas pada alat uji impak.
- f. Setelah pendulum mencapai ketinggian maksimum, maka lakukan pengereman.
- g. Mengecek indikator jarum untuk melihat nilai energi impak yang dihasilkan.
- h. Melakukan analisis jenis patahan dari spesimen.
- i. Mengulangi langkah ke 2-9 sesuai dengan banyaknya spesimen yang diuji dan selesai.

### 3. Prosedur Pengujian Tarik

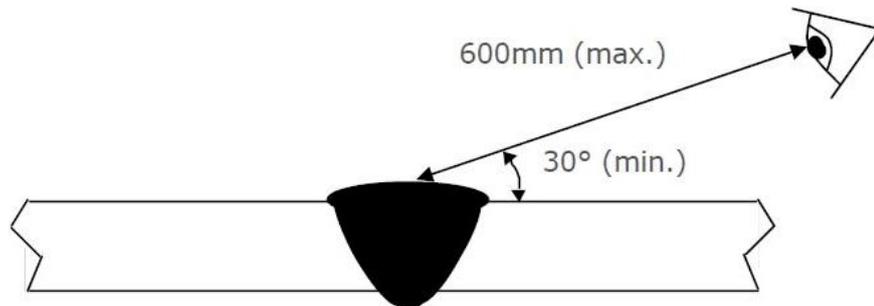
Pengujian tarik dilakukan pada spesimen uji menggunakan standar ASTM E-8. Adapun prosedur pengujian tarik adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan mesin uji tarik dan spesimen uji yang telah dilas serta dibentuk sesuai spesifikasi standar ASTM E-8.
- b. Spesimen yang akan diuji dipasang pada pencekam dengan posisi tegak lurus.
- c. Selanjutnya memulai pengujian.
- d. Perhatikan perubahan beban atau indikasi visual bahwa spesimen telah putus selama pengujian berlangsung.
- e. Melepaskan spesimen dari pencekam.
- f. Mengulangi langkah 2-5 sesuai dengan banyaknya spesimen yang diuji dan selesai.

### 4. Prosedur Pengujian Visual

Pengujian visual dilakukan dengan menggunakan standard ISO 17637. Uji visual ini menggunakan pencahayaan yang minimal sebesar 350 lux dan yang disarankan untuk digunakan pada

pencahayaan normal seperti di dalam sebuah kantor atau *workshop* adalah sebesar 500 lux. Untuk posisi penglihatan saat uji visual standardnya adalah berjarak maksimal 600 mm dari objek benda yang diamati dan sudut kemiringan minimal 30 derajat.



Gambar 21. Standar Uji Visual

Sumber: (Achmadi, 2020)

Adapun prosedur pengujian visual adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen yang telah disemprotkan cairan *penetrant* dan cairan *developer* pada pengujian *liquid penetrant*.
2. Menunggu beberapa saat agar cairan *penetrant* dapat timbul secara maksimal pada permukaan spesimen.
3. Melakukan pengamatan pada spesimen secara teliti.
4. Mencatat semua cacat yang terdapat pada sambungan las spesimen.
5. Setelah itu, melakukan *finishing* pada uji *liquid penetrant* yaitu dengan membersihkan spesimen dengan cairan *cleaner*.
6. Melakukan analisis pada semua cacat yang dihasilkan.

Cacat yang telah terdeteksi kemudian akan dibagi menjadi beberapa level berdasarkan tingkat keterparahan dari cacat tersebut pada hasil sambungan las, yang mana level tersebut diuraikan dengan menggunakan tanda bintang sebagai berikut:

1. Tanda bintang 1 (\*) menandakan bahwa sambungan las tidak terdapat cacat.

2. Tanda bintang 2 (\*\*) menandakan bahwa sambungan las memiliki cacat yang rendah.
3. Tanda bintang 3 (\*\*\*) menandakan bahwa sambungan las memiliki cacat yang cukup rendah.
4. Tanda bintang 4 (\*\*\*\*) menandakan bahwa sambungan las memiliki cacat yang tinggi.
5. Tanda bintang 5 (\*\*\*\*\*) menandakan bahwa sambungan las memiliki cacat yang sangat tinggi.

### 3.4 Pengambilan Data

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data-data berupa data uji *liquid penetrant*, data uji impak dan data uji tarik. Untuk data uji *liquid penetrant* yaitu berupa gambar, yang mana gambar tersebut dianalisis untuk mengetahui cacat las yang dihasilkan pada setiap spesimen yang dilas berdasarkan variasi yang digunakan. Data uji impak yang didapatkan berupa nilai energi yang diserap yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai harga impak dan juga nilai rata-rata. Selanjutnya akan dianalisis untuk mengetahui perbandingan hasil uji pada setiap variasi yang digunakan. Yang mana data-data tersebut akan dimasukkan pada tabel seperti pada contoh tabel 19. Dan uji tarik akan diperoleh data berupa nilai *stress* dan *strain* yang selanjutnya akan di olah sehingga didapatkan nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength*, *young modulus* dan juga *elongation*. Kemudian data tersebut akan dimasukkan pada tabel seperti contoh Tabel 19, 20 dan 21 berikut.

Tabel 19. Contoh Interpretasi Hasil Uji *Liquid Penetrant*

Spesimen	No	Jenis cacat	Bentuk	Intesitas
Tirus Tunggal				
V Tunggal				

Tabel 20. Contoh Hasil Uji Impak

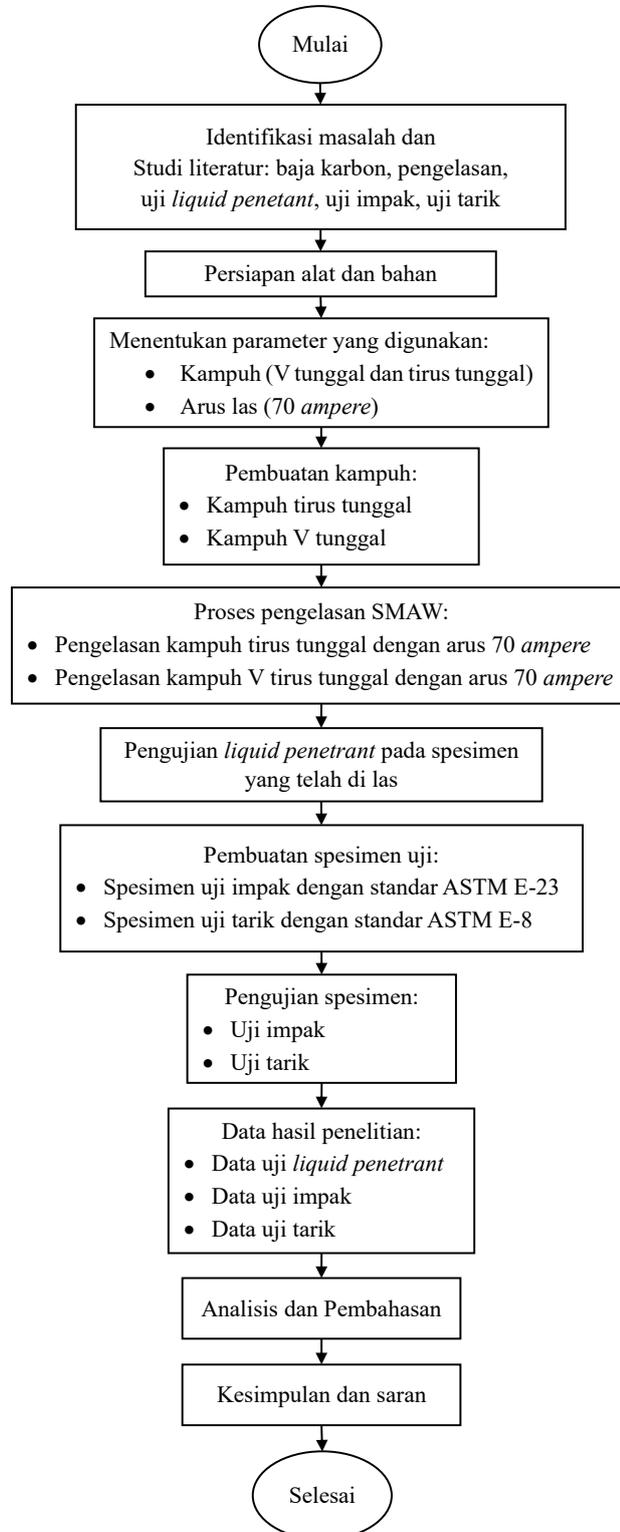
Jenis Kampuh	Energi Yang Diserap ( <i>Joule</i> )	Harga Impak ( $J/mm^2$ )
Tirus Tunggal		
V Tunggal		

Tabel 21. Contoh Hasil Pengujian Tarik

Spesimen	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Young Modulus</i> (GPa)	<i>Elongation</i> (%)
Tirus Tunggal				
V Tunggal				

### 3.5 Diagram Alir

Diagram alir yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 22. Diagram Alir

## V. PENUTUP

### 5.1 Simpulan

Berikut ini adalah kesimpulan yang dibuat berdasarkan dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan:

1. Hasil uji *liquid penetrant* pada penelitian ini mengindikasikan beberapa cacat las, baik pada spesimen kampuh tirus tunggal maupun spesimen kampuh V tunggal. Variasi kampuh yang digunakan tersebut berpengaruh terhadap cacat las yang dihasilkan, namun tidak signifikan. Yang mana rata-rata cacat las yang dihasilkan hampir sama pada kedua variasi kampuh tersebut, yaitu seperti *undercut*, *underfill* dan lain-lain. Selain bentuk kampuh yang digunakan, baiknya mutu hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh teknik pengelasan yang digunakan.
2. Penggunaan jenis kampuh yang berbeda menghasilkan nilai ketangguhan yang berbeda pula. Untuk uji impak pada baja pengelasan bimetal (AISI 1020 dan AISI 1041) dengan kampuh tirus tunggal menghasilkan nilai energi yang diserap sebesar 107 *Joule* dan harga impak sebesar 1,37 J/mm lebih tinggi dibandingkan dengan nilai energi yang diserap pada kampuh V tunggal yang hanya sebesar 104 *Joule* dan harga impak sebesar 1,03 J/mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengelasan baja bimetal AISI 1020 dan AISI 1041 dengan menggunakan kampuh tirus tunggal memiliki ketangguhan lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kampuh V tunggal.
3. Dari hasil pengelasan baja bimetal AISI 1020 dan AISI 1041 menggunakan las SMAW dengan variasi kampuh tirus tunggal dan V

tunggal menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda-beda. Kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh jenis kampuh tirus tunggal dengan nilai kekuatan tarik sebesar 413,54 MPa, sedangkan nilai kekuatan tarik dari kampuh V tunggal hanya sebesar 397,07 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengelasan SMAW pada baja bimetal dengan menggunakan kampuh tirus tunggal memiliki kekuatan tarik yang lebih unggul dibandingkan dengan menggunakan kampuh V tunggal. Namun dalam segini sambungan las semua kampuh menunjukkan hasil yang baik, dimana pada kedua variasi kampuh tersebut saat di uji tarik terlihat putus pada bagian *base material* yaitu pada bagian baja AISI 1020 yang memiliki kadar karbon lebih rendah dibandingkan dengan baja AISI 1041.

## 5.2 Saran

Penelitian ini memberikan saran untuk meningkatkan penelitian berikutnya agar memperoleh hasil lebih baik lagi, diantaranya adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya, selama proses pengelasan penting untuk memperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi hasil sambungan las. Salah satunya adalah menjaga kampuh las tetap dan menggunakan parameter yang tepat untuk mengurangi cacat las yang dihasilkan.
2. Pada proses pembuatan spesimen sebaiknya menggunakan mesin CNC *milling* atau CNC *laser cutting* agar dimensi hasil potongan lebih akurat dan presisi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi. (2020). Cara Melakukan Uji Visual Hasil Las. <https://pengelasan.id/uji-visual/>
- Achmadi. (2020). Cara Mengatur Ampere Mesin Las Listrik dan Tipsnya. Teknologi Pengelasan. <https://www.pengelasan.net/cara-mengatur-ampere-mesin-las/>
- Achmadi. (2024). 18 Macam Cacat Las dan Penyebabnya Serta Cara Mengatasi. <https://pengelasan.id/cacat-las/>
- Agustriyana, L., & Suyanta, dan. (2019). Pengaruh Pengelasan GTAW Pada Logam Bimetal Plat Baja Karbon Rendah Dan *Stainless Steel* Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las (Vol. 20, Nomor Desember).
- Aji, M. N. (2019). Pengaruh Variasi Jenis Kampuh Pengelasan SMAW Pada Sambungan Pengelasan Logam Baja JIS G 3131 SPHC Dengan Baja AISI 201 Terhadap Sifat Mekanik.
- Boangmanalu, E. P. D., Pratama, A. B., Qadry, A., Saragi, J. F. H., & Sinaga, F. T. H. (2023). *Charpy and Izod Method Impak Strength Analysis on ST 37 Steel with Temperature Variations. Formosa Journal of Science and Technology*, 2(12), 3329–3342. <https://doi.org/10.55927/fjst.v2i12.7074>
- Dowling, N. E., Kampe, S. L., & Kral, M. V. (1999). *Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue. (No Title)*.
- Fakri, Z., Bukhari, & Juhan, N. (2019). Analisa Pengaruh Kuat Arus Pengelasan GMAW Terhadap Ketangguhan Sambungan Baja AISI 1050 (*Analysis of the effect of the GMAW welding current on the toughness of the AISI 1050 material welding joints*). Dalam *Journal of Welding Technology* (Vol. 1, Nomor 1).

- Fiskan Yulistiawan. (2016). Pengaruh Variasi Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) Pada Baja Karbon Rendah ST 37.
- Girikallo, A. S. (2024). Pelatihan Teknik Dasar Pengelasan Listrik (SMAW) bagi Para Pencari Kerja dalam Rangka Peningkatan Produktivitas dan Kinerja Ekonomi Keluarga di Lembang (Desa) Patekke, Kecamatan Makale Selatan Kabupaten Tana Toraja. *ASPIRASI: Publikasi Hasil Pengabdian dan Kegiatan Masyarakat*, 2(1), 287–298.
- Hakim, L. N. (2024). Analisis Nilai Ketahanan Dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 1041 Hasil *Hardening* Dengan Variasi Viskositas Oli.
- Haryanto, B., Tuparjono, T., & Darta, Y. (2023). Analisis Pengaruh Elektroda E309-16 Pada Sambungan Baja *Carbon* AISI 1045 dan *Stainless Steel* 304 dengan Menggunakan Pengelasan SMAW. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 1(1), 245–253.
- Iqbal, M., & Ibrahim, A. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las Terhadap Ketangguhan Material Baja AISI 1050. Dalam *Journal of Welding Technology* (Vol. 1, Nomor 2).
- Irwansyah, I. (2019). Deteksi Cacat Pada Material Dengan Teknik Pengujian Tidak Merusak. *Lensa*, 2(48), 7–13.
- Khairullah, M. R., Saifuddin, S., & Nurlaili, N. (2023). Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Pada Material AISI 1020 Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan GTAW. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 7(1), 48–51.
- Mustafid, S., Hartono, P., & Robbi, N. (2017). Analisis Pengaruh Hasil Pengelasan Bimetal Baja S45c Dan *Stainless Steels* 304 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(02).
- Nasution, M., & Nasution, R. H. (2020). Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1020 Terhadap Perlakuan *Carburizing* Dengan Arang Batok Kelapa. *Buletin utama teknik*, 15(2), 165–173.
- Nurcholis, I., Pratiwi, W. D., Karim, M., Amin, A., Anggara, D., Wahyu, E., Teknik, J., Kapal, B., Perkapalan, P., Surabaya, N., & Kimia, J. T. (2022). Analisis Komparasi Kekerasan Dan Struktur Mikro Lasan *Dissimilar*

- Material Pada Berbagai Posisi Pengelasan di Industri Fabrikasi. Dalam *Journal of Welding Technology* (Vol. 4, Nomor 1).
- Ponidi, P. (2015). *Analysis of Tensile Strength Steel Plate Connections Las at ST 42 KS BKI by electrodes AWS E 6013/E 7018 Heinmoller PTE LTD. Light*, 8(1).
- Potale, T. N., Karim, I. J. A., & Umar, K. (2020). Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Kampuh dan Tegangan Arus Listrik pada Penyambungan Baja Kontruksi WFF dengan Metode Pengelasan SMAW. *DINAMIKA: Jurnal Teknik Mesin*, 5(2).
- Purwanto, A., Wijoyo, W., & Riyadin, A. F. (2023). Pengaruh Polaritas Mesin Las pada Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Indonesia*, 2(4), 150–158.
- Rizal, Y. (2017). Peningkatan Kekuatan Tarik Baja Karbon Aisi 1040 Akibat Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Perlakuan Panas. *Jurnal APTEK*, 9(1), 71–78.
- Rusdi, F. M., & Istiqlaliyah, H. (2023). *Study of the Effect of Welding Current Variations on Joint Strength and Microstructure of Cracker Lontongan Chopper Machine. SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 17(2), 120. <https://doi.org/10.24853/sintek.17.2.120-129>
- Saragi, J. F., Pratama, A. B., Boangmanalu, E. P. D., Qadry, A., & Sinaga, F. T. H. (2023). Pengaruh Temperatur terhadap Kekuatan Impak pada Material Besi Nako 10 mm. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 4(1), 45–51.
- Shadaq, M. M. A., & Hamdani, H. (2018). Pengaruh Variasi Kampuh Terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan (TIG) Pada Baja ST. 60. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 2(1), 14–19.
- Siagian, P. J. H., Arifin, N. L., & Ulfah, N. (2022). Inspeksi Liquid Penetrant Sambungan Pengelasan SMAW Pada Fabrikasi Frame Acid Skid. Dalam *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)* (Vol. 4, Nomor 1). <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>, <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>
- Siddiq, M., & Amalia, I. (2019). Pengaruh Jenis Kampuh Terhadap Ketangguhan Sambungan Pengelasan Material St37 dengan AISI 1050 Menggunakan

- Proses SMAW (*The effect of groove type on the toughness of the welding joints of the St37 material with AISI 1050 uses the SMAW welding process*). Dalam *Journal of Welding Technology* (Vol. 1, Nomor 1).
- Suherman, & Abdullah, I. (2020). Teknik Pengelasan (Cara Menghindari Cacat Las). <http://umsupress.umsu.ac.id/>
- Syahri, A., Saputra Ismy, A., & Fathier, A. (2023). *The Effect of Heat Input on the Tensile Strength and Toughness of welded SS400 Materials by SMAW*. Dalam *Journal of Welding Technology* (Vol. 5, Nomor 1).
- Wicaksono, Y. G., Rahmatullah, H. F., Artika, R., Ismarwanti, S., & Sigit, R. (2022). Simulasi Uji Tak Merusak Pelat Elemen Bakar Pasca Iradiasi Menggunakan Metode *Penetrant Test*. *Urania: Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 28(3), 143. <https://doi.org/10.17146/urania.2022.28.3.6760>
- Wirjosumarto, H., & Okumura, T. (2000). Teknologi Pengelasan Logam. PT Pradnya Paramita.
- Zulfadly, Z., & Ghony, M. A. (2022). Variasi Ampere Terhadap Kekuatan Tarik Pada Hasil Pengelasan Dengan Posisi *Down Hand*. *Hexatech: Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(1), 39–50.