

**PENGELASAN *BIMETAL* MATERIAL BAJA AISI 1040 DAN BAJA  
AISI 1020 MENGGUNAKAN METODE *SHEILDED METAL ARC*  
*WELDING* DENGAN ELEKTRODA AWS E 7016**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Aditya Angga Wijaya**

**2015021003**



**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2025**

## **ABSTRAK**

### **Pengelasan *Bimetal* Material Baja AISI 1040 dan Baja AISI 1020 Menggunakan Metode *Shielded Metal Arc Welding* Dengan Elektroda AWS E 7016**

**Oleh**

**ADITYA ANGGA WIJAYA**

Penelitian ini membahas pengelasan bimetal antara baja AISI 1040 dan baja AISI 1020 menggunakan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan elektroda AWS E 7016. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi kualitas sambungan las, mencakup sifat mekanik dan mikrostruktur hasil pengelasan bimetal. Penggunaan baja AISI 1040 dengan kekuatan tinggi dan baja AISI 1020 dengan sifat mudah dibentuk bertujuan untuk menghasilkan sambungan yang mengoptimalkan karakteristik masing-masing material. Proses pengelasan dilakukan dengan parameter arus yang bervariasi untuk menentukan pengaruhnya terhadap hasil las. Pengujian meliputi uji tarik, uji kekerasan, uji dampak, dan analisis mikrostruktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi parameter pengelasan memengaruhi sifat mekanik sambungan dan distribusi mikrostruktur di zona las, zona terpengaruh panas (HAZ), serta logam dasar. Sambungan las yang optimal diperoleh dengan pengaturan parameter arus tertentu yang menghasilkan kekuatan tarik maksimum dan distribusi kekerasan yang merata. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pengelasan bimetal, khususnya untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi sifat mekanik dari dua jenis baja.

Kata kunci: Pengelasan *bimetal*, baja AISI 1040, baja AISI 1020, SMAW, elektroda AWS E 7016.

## **ABSTRACT**

### **Bimetal Welding of AISI 1040 Steel and AISI 1020 Steel Materials Using the Shielded Metal Arc Welding Method with AWS E 7016 Electrodes**

**By**

**ADITYA ANGGA WIJAYA**

This study discusses bimetal welding between AISI 1040 steel and AISI 1020 steel using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method with AWS E 7016 electrodes. The purpose of the study was to evaluate the quality of the welded joint, including the mechanical properties and microstructure of the bimetal welding results. The use of high-strength AISI 1040 steel and AISI 1020 steel with malleable properties aims to produce a joint that optimizes the characteristics of each material. The welding process was carried out with varying current parameters to determine its effect on the welding results. Testing included tensile testing, hardness testing, impact testing, and microstructure analysis. The results showed that variations in welding parameters affected the mechanical properties of the joint and the distribution of microstructures in the weld zone, heat-affected zone (HAZ), and base metal. The optimal welded joint was obtained by setting certain current parameters that produced maximum tensile strength and even hardness distribution. This study contributes to the development of bimetal welding technology, especially for applications that require a combination of mechanical properties of two types of steel.

Keywords: Bimetal welding, AISI 1040 steel, AISI 1020 steel, SMAW, AWS E 7016 electrode.

**Pengelasan Bimetal Material Baja AISI 1040 dan Baja AISI 1020  
Menggunakan Metode Sheilded Metal Arc Welding Dengan Elektroda AWS  
E 7016**

**Oleh:**

**ADITYA ANGGA WIJAYA**

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**

**PENGELASAN BIMETAL MATERIAL  
BAJA AISI 1040 DAN BAJA AISI 1020  
MENGUNAKAN METODE SHEILDED  
METAL ARC WELDING DENGAN  
ELEKTRODA AWS E 7016**

**Mahasiswa**

**Aditya Angga Wijaya**

**Nomor Pokok Mahasiswa**

**2015021003**

**Program Studi**

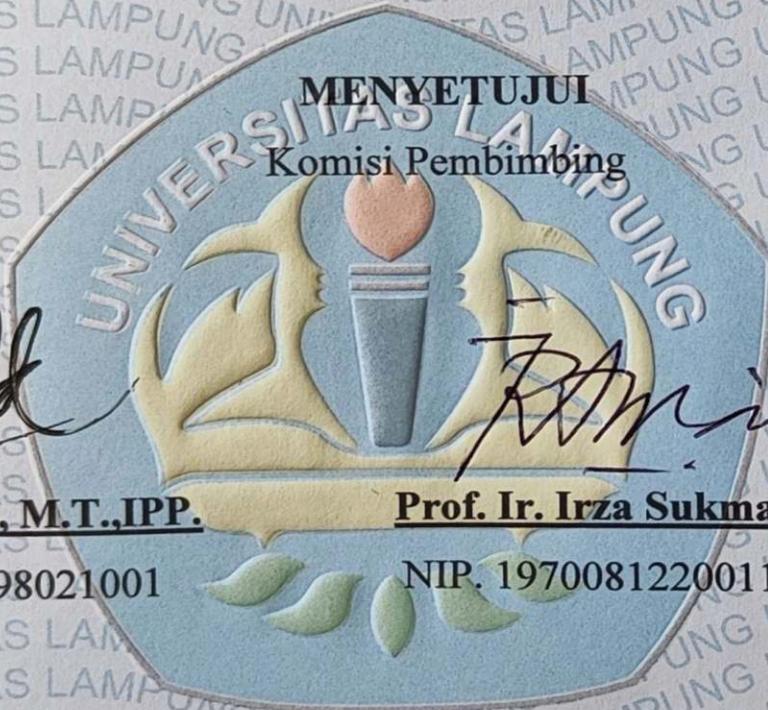
**Teknik Mesin**

**Fakultas**

**Teknik**

**MENYETUJUI**

**Komisi Pembimbing**



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

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

**NIP. 197004151998021001**

**NIP. 197008122001121001**

**Ketua Jurusan  
Teknik Mesin**

**Ketua Program Studi  
S1 Teknik Mesin**

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

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

**NIP. 197108171998021003**

**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.

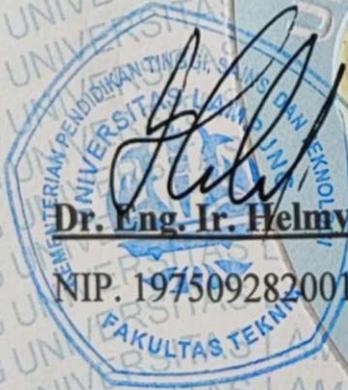
**Penguji Utama** : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.



**2. Dekan Fakultas Teknik**

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

NIP. 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 16 Januari 2025

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aditya Angga Wijaya  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021003  
Program Studi : S1 Teknik Mesin  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Skripsi dengan judul “PENGELASAN BIMETAL MATERIAL BAJA AISI 1040 DAN BAJA AISI 1020 MENGGUNAKAN METODE *SHEILDED METAL ARC WELDING* DENGAN ELEKTRODA AWS E 7016” 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, 16 Januari 2025

Pembuat Pernyataan



**ADITYA ANGGA WIJAYA**

NPM. 2015021003

## RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Aditya Angga Wijaya. Lahir pada tanggal 29 September 2001, di Lampung Selatan dan beragama Islam. Penulis merupakan anak dari pasangan Bapak Sunarya dan Ibu Sumarti. Pendidikan dasar ditempuh mulai tahun 2008-2014 di SDN 1 Kedaung Kec. Sragi.

Pendidikan menengah pertama di SMPN 2 Sragi pada tahun 2014-2017. Pendidikan menengah atas ditempuh pada tahun 2017-2020 di SMAN 1 Natar. Pada tahun 2020, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perkuliahan yakni di Universitas Lampung, Fakultas Teknik, dengan Program Studi Teknik Mesin. Organisasi yang diikuti penulis adalah Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin, sebagai anggota di bidang kerohanian Tahun Periode 2021/2022. Pada tahun 2023, penulis mengikuti Kerja Praktik (KP) di PT. Great Giant Food, Terbanggi Besar, Lampung Tengah.

## **MOTTO**

“Bukan ilmu yang harus datang kepadamu, tapi kamulah yang seharusnya datang menjemput ilmu.”

**(Imam Abu Hanifah)**

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari satu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

**(QS. Al-Insyirah [94] : 6-8)**

"Kejeniusan adalah 1% inspirasi dan 99% keringat. Oleh karena itu, seorang jenius sering kali hanyalah orang berbakat yang telah melakukan semua pekerjaan rumahnya."

**(Thomas Edison)**

"Teruslah bermimpi, walau kenyataannya jauh berbeda. Percayalah, lelah ini hanya sebentar saja. Jangan menyerah, walaupun tak mudah meraihnya."

**(Ipank)**

## **PERSEMBAHAN**

Teriring Doa Dan Rasa Syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa  
Karena Atas Rahmat Dan Hidayahnya Telah Melimpahkan Karunianya  
Kepada Kita Semua.

Kupersembahkan skripsi ini kepada :

### **Kedua Orang Tua Tercinta**

Bapak Sunarya dan Ibu Sumarti

Sebagai orang tua tercinta yang membesarkan, mendidik dan membimbing penulis serta selalu memberikan semangat, dukungan moral maupun materi, kasih sayang yang tulus dan memberikan doa yang tidak pernah putus pada setiap langkah yang penulis lewati.

### **Dosen Teknik Mesin Universitas Lampung**

Yang telah membimbing, mengajarkan, memberikan saran, baik secara akademis maupun non akademis

## SANWACANA

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah, serta lindungan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar. Skripsi ini dibuat sebagai tanda hasil pengerjaan tugas akhir yang penulis lakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu dibidang produksi manufaktur. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi yang membaca dan yang mengutip serta dapat dijadikan acuan untuk studi-studi selanjutnya. Selesaiannya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Ir. Tarkono, S.T., M.T.,IPP. selaku dosen pembimbing utama yang telah menyempatkan waktu, memberikan motivasi dan bimbingan serta saran kepada saya untuk selesainya skripsi ini.

5. Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T.,M.T.,Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua, yang telah menyempatkan waktu memberikan sumbangsih saran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
6. Dr.Ir.Yanuar Burhanuddin,M.T. selaku dosen penguji, yang telah memberikan saran dan masukan untuk skripsi ini. Serta selaku pembimbing medis, yang telah meluangkan waktu dan memberikan ilmu kedokteran terkait topik bahasan skripsi.
7. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
8. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah banyak membantu penulis selama menjadi mahasiswa.
9. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2020 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.
10. Suci Maharani yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian skripsi

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
<b>II. Tinjauan Pustaka</b> .....	5
2.1. Pengelasan .....	5
2.2. Pengelasan Bimetal .....	6
2.3. Jenis – Jenis pengelasan .....	7
2.3.1. <i>Gas Metal Arc Welding ( GMAW )</i> .....	7
2.3.2. <i>Gas Tungsten Arc Welding ( GTAW )</i> .....	7
2.3.3. <i>Submerged Arc Welding ( SAW )</i> .....	8
2.3.4. <i>Flux Cored Arc Welding ( FCAW )</i> .....	8
2.3.5. <i>Shielded Metal Arc Welding ( SMAW )</i> .....	9
2.4. Pengelasan SMAW.....	9
2.5. Parameter Pengelasan SMAW .....	11
2.5.1. Arus Pengelasan.....	11
2.5.2. Kampuh Pengelasan .....	13

2.5.3. Elektroda .....	13
2.6. Baja Karbon AISI 1040 .....	14
2.7. Baja Karbon AISI 1020 .....	15
2.8. Pengujian Tarik .....	16
2.9. Pengujian Impak.....	17
2.9.1. Metode Charpy.....	19
2.10. Pengujian Penetran .....	20
2.11. Cacat Las.....	21
2.11.1. <i>Undercut</i> .....	21
2.11.2. <i>Underfill</i> .....	22
2.11.3. <i>Crack</i> .....	22
2.11.4. <i>Overlap</i> .....	23
2.11.5. <i>Prositas</i> .....	23
2.11.6. <i>Slag Inklusi</i> .....	24
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1. Diagram Alur Penelitian.....	25
3.2. Waktu Dan Tempat Penelitian .....	26
3.3. Alat Dan Bahan .....	26
3.3.1. Mesin Las .....	26
3.3.2. Elektroda .....	27
3.3.3. Plat Baja AISI 1040 .....	27
3.3.4. Plat Baja AISI 1020 .....	28
3.3.5. Mesin Uji Tarik.....	28
3.3.6. Mesin Uji Impak .....	29
3.3.7. Mesin Skrap .....	30
3.3.8. Larutan Penetrant .....	30

3.4. Metode Penelitian.....	31
3.4.1. Persiapan Spesimen Uji.....	31
3.4.2. Proses Pengelasan .....	32
3.4.3. Pembuatan Spesimen Uji .....	32
3.5. Pengujian Spesimen .....	33
3.5.1. Uji Tarik.....	33
3.5.2. Uji Impak .....	35
3.5.3. Pengujian Visual .....	36
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>38</b>
4.1. Data Hasil Penelitian .....	38
4.1.1. Hasil Pengelasan .....	38
4.1.2. Spesimen Uji Tarik .....	39
4.1.3. Spesimen Uji Impak.....	40
4.2. Pembahasan .....	41
4.2.1. Uji Penentrant.....	41
4.2.2. Uji Tarik.....	44
4.2.3. Uji Impak .....	51
<b>V. PENUTUP.....</b>	<b>55</b>
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>62</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mesin GMAW .....	7
Gambar 2. Mesin Las GTAW .....	7
Gambar 3. Mesin Las SAW .....	8
Gambar 4. Mesin Las FCAW .....	8
Gambar 5. Mesin Las SMAW .....	9
Gambar 6. Pengelasan SMAW .....	10
Gambar 7. Skema Las DCEP .....	11
Gambar 8. Skema las DCEN.....	11
Gambar 9. Jenis Kampuh V .....	13
Gambar 10. Kurva Tegang Regangan .....	16
Gambar 11. Pembebanan Metode Charpy Dan Izod.....	18
Gambar 12. Pengujian Impak Metode Charpy.....	19
Gambar 13. Pengujian Penetrant.....	20
Gambar 14. Jenis Cacat Las .....	21
Gambar 15. Cacat Undercut.....	22
Gambar 16. Cacat Underfill .....	22
Gambar 17. Cacat Crack .....	23
Gambar 18. Cacat Overlap.....	23
Gambar 19. Cacat Porositas .....	24
Gambar 20. Cacat Slag Inklusi .....	24
Gambar 21 Alur Penelitian.....	25
Gambar 22. Mesin Las SMAW .....	26
Gambar 23. Elektroda .....	27
Gambar 24. Mesin Uji Tarik .....	28
Gambar 25. Mesin Uji Impak.....	29
Gambar 26. Mesin Skrap.....	30
Gambar 27. Cairan Penetran .....	30
Gambar 28. Kampuh V .....	32
Gambar 29. Ukuran Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8.....	33
Gambar 30. Ukuran Spesimen Uji Impak .....	33
Gambar 31. Uji Visual .....	36

Gambar 32. (A) Hasil las 60A (B) Hasil las 80A .....	38
Gambar 33. Spesimen Uji Tarik (A) 60 Ampere (B) 80 Ampere .....	39
Gambar 34. Spesimen Uji Impak (A) 60 Ampere (B) 80 Ampere .....	40
Gambar 35. Hasil Uji Penetrant Spesimen Uji Tarik 60 dan 80 Ampere .....	41
Gambar 36. Hasil Uji Penetrant Pada Uji Impak 60 dan 80 Ampere .....	42
Gambar 37 Grafik Hasil Uji Tarik Ampere 60 Spesimen 1 .....	45
Gambar 38 Grafik Hasil Uji Tarik Ampere 60 Spesimen 2 .....	45
Gambar 39 Grafik Hasil Uji Tarik Ampere 60 Spesimen 3 .....	46
Gambar 40 Grafik Hasil Uji Tarik Ampere 80 Spesimen 1 .....	47
Gambar 41 Grafik Hasil Uji Tarik Ampere 80 Spesimen 2 .....	47
Gambar 42 Grafik Hasil Uji Tarik Ampere 80 Spesimen 3 .....	48
Gambar 43. Grafik Gabungan Arus Las 60 ampere dan 80 Ampere .....	49
Gambar 44. Hasil Patahan Uji Tarik Variasi Arus 60 dan 80 Ampere .....	50
Gambar 45. Patahan Hasil Pengujian Impak Variasi Ampere 60 .....	51
Gambar 46. Patahan Hasil Pengujian Impak Variasi 80 Ampere .....	52
Gambar 47. Rata – Rata Energi Impak .....	53
Gambar 48. Rata – Rata Harga Impak .....	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Diameter Elektroda dan Arus Listrik (Ardian, 2011) .....	12
Tabel 2. Unsur Baja Karbon AISI 1040 (Tafrant & dkk, 2022) .....	15
Tabel 3. Komposisi Kimia Baja AISI 1020 (Nasution & Nasution, 2020) .....	15
Tabel 4. Spesifikasi Mesin Las SMAW .....	26
Tabel 5. Spesifikasi Elektroda.....	27
Table 6. Komposisi Kimia .....	27
Tabel 7. Karakteristik Baja AISI 1040.....	27
Table 8. Komposisi Kimia .....	28
Tabel 9. Karakteristik Baja AISI 1020.....	28
Tabel 10. Spesifikasi Mesin Uji Tarik .....	29
Tabel 11. Spesifikasi Mesin Uji Impak.....	29
Tabel 12. Spesifikasi Mesin Skrap.....	30
Tabel 13. Komposisi Cairan Penetrant.....	31
Tabel 14. Komposisi Cairan Developer .....	31
Tabel 15. Komposisi Cairan Remover .....	31
Tabel 16. Hasil Pengujian Uji Tarik .....	34
Tabel 17. Hasil Uji Impak.....	35
Tabel 18. Contoh Data <i>Penetrant</i> Berdasarkan Uji Visual Uji Tarik .....	37
Tabel 19. Contoh Data <i>Penetrant</i> Berdasarkan Uji Visual Uji Impak.....	37
Tabel 20. Data <i>Penetrant</i> berdasarkan uji visual spesimen uji tarik.....	42
Tabel 21. Data <i>Penetrant</i> berdasarkan Uji Visual Spesimen Impak.....	43
Tabel 22. Raw Material Baja AISI 1020 dan AISI 1040 .....	44
Table 23. Hasil Pengujian Tarik Variasi Arus 60 Ampere (L60A) .....	46
Table 24. Hasil Pengujian Tarik Variasi Arus 80 Ampere .....	48
Table 25. Data Hasil Pengujian Impak .....	51

# I. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Pada era modernisasi seperti ini, dalam segi teknologi di bidang industri terus berkembang. Hal ini terbukti dengan banyaknya penggunaan logam-logam seperti besi, baja, stainless dalam peralatan pendukung kehidupan sehari-hari. Dalam proses pertumbuhan pembangunan di era modern ini, banyak sekali unsur pengelasan yang terlibat khususnya dalam bidang desain dan konstruksi. Karena dalam proses penyambungannya, sambungan las merupakan salah satu sambungan terkuat dalam dunia konstruksi. Dalam dunia pengelasan tujuan yang paling utama adalah menciptakan kekuatan pada penyambungan. Kekuatan sambungan ini untuk proses sambungan las sangatlah penting, karena mengandung resiko kegagalan konstruksi. Jika sambungan las tidak kuat maka akan mengakibatkan retak atau cacat yang dapat membahayakan konstruksi itu sendiri.

Pengelasan merupakan suatu teknik penggabungan dengan metode meleburkan logam dasar dan sebagian logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan serta menghasilkan sambungan yang menerus. Proses penyambungan baja dengan baja lain sangat erat kaitannya dengan energi panas, sehingga proses tersebut dapat mengubah sifat dasar material. Untuk itu dalam proses pengelasan perlu memperhatikan beberapa parameter yang berkaitan dengan kualitas hasil pengelasan. Seperti pemilihan mesin las, pemilihan elektroda, pemilihan kekuatan arus dan pemilihan metode pengelasan (Haryanto,2023).

Proses pengelasan sendiri mempunyai beberapa metode. Metode yang sering digunakan dalam dunia industri antara lain metode pengelasan GTAW atau

*Gas Tungsten Arc Welding* dan SMAW atau *Shielded Metal Arc Welding*. Masing-masing metode ini mempunyai ciri khasnya masing-masing. Dalam dunia industri pengelasan, metode pengelasan yang paling sering digunakan adalah SMAW atau *Shielded Metal Arc Welding*. Cara ini banyak digunakan karena lebih praktis dalam penggunaannya, lebih mudah dioperasikan dan dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan serta lebih efisien (Haryanto, dkk , 2023).

Pengelasan bimetal adalah proses penyambungan dua jenis logam yang berbeda. Pengelasan dengan material yang berbeda mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lain, sehingga dalam proses pengelasan material yang berbeda tersebut diperlukan beberapa teknik pengelasan. Contohnya seperti pemilihan elektroda yang tepat, pengaturan arus listrik yang sesuai dan pemilihan material yang akan disambung harus benar (Agustriyana, dkk, 2019). Pengelasan bimetal mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan bahan sejenis. Oleh karena itu, sangat jarang ditemukan pengelasan bimetal di dunia industri. Aplikasi dalam pengelasan bimetal ini sering digunakan dalam industri perkapalan. Dalam industri perkapalan, pengelasan bimetal digunakan untuk menyambung material yang akan ditempatkan pada badan kapal. Kelemahan dari pengelasan bimetal adalah timbulnya lonjakan tegangan yang besar akibat adanya perubahan struktur mikro pada daerah las yang akan menyebabkan penurunan kekuatan material dan akan mengakibatkan tegangan sisa yang memungkinkan terjadinya cacat dan retakan akibat proses pengelasan. (Mustafid, dkk, 2011).

Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Khoirofik, 2015), salah satu parameter pengelasan yang mempengaruhi sifat mekanis dari logam adalah besar arus pengelasan, arus las yang berbeda akan menghasilkan nilai yang berbeda pula untuk pengujian mekanik pada logam. Selain arus las jenis kampuh juga mempengaruhi kekuatan tarik dan impak.

Penelitian yang akan dilakukan ini yaitu proses penyambungan dua material yang berbeda atau tidak sejenis dengan menggunakan metode pengelasan SMAW atau *Shielded Metal Arc Welding* dan elektroda LB52U serta menggunakan arus yang bervariasi pada mesin las. Arus yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan 2 arus yaitu 60 ampere dan 80 ampere dengan tebal elektroda yang dipakai sebesar 26 mm. Harapan dari hasil penelitian ini dapat membantu menambah pemahaman tentang kekuatan yang dihasilkan oleh pengelasan itu dipengaruhi salah satunya oleh arus las. Maka dengan itu selanjutnya hasil dari penelitian ini dapat menentukan arus las yang tepat agar memperoleh hasil yang maksimal dalam melakukan pengelasan bimetal.

#### 1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana parameter pengelasan seperti arus las dan elektroda mempengaruhi kekuatan sambungan pada baja karbon AISI 1040 dan baja karbon AISI 1020

#### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah sebagai berikut :

Menganalisis hasil sambungan pengelasan *Bimetal* material baja AISI 1040 dan baja AISI 1020 dan melakukan pengujian tarik dan impak.

#### 1.4. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian ini dengan tujuan untuk terlaksananya perencanaan yang baik, maka dilakukan pembatasan masalah. Batasan masalah tersebut diantaranya :

1. Penelitian ini dilakukan pada material baja karbon AISI 1040 dan baja karbon AISI 1020 dengan metode pengelasan menggunakan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) memakai elektroda LB52U
2. Pengujian ini menggunakan alat – alat seperti mesin las SMAW, mesin uji impak, uji tarik dan mesin scrap.
3. Penelitian ini menggunakan arus sebesar 60 ampere dan 80 ampere, untuk kecepatan pengelasan tidak di gunakan.
4. Pengujian penetrant hanya pada lapisan permukaan pengelasan.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain :

1. Mengetahui fenomena yang terjadi pada pengelasan *bimetal*.
2. Mengetahui keunggulan dan kelemahan pada pengelasan *bimetal* dengan material baja karbon AISI 1040 dan baja karbon AISI 1020.

## II. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Pengelasan

Pengelasan melibatkan penyambungan dua atau lebih bahan logam menggunakan energi panas (Nugroho & Setiawan, 2018). Pengelasan tidak hanya melibatkan peleburan dua logam dan kemudian memanasukannya hingga membeku kembali, tetapi juga menambahkan bahan atau elektroda selama pemanasan untuk menyelesaikan pengelasan dan memberikan kekuatan yang dibutuhkan. Menurut definisi *Deutsche Industries Norman* (DIN), proses pengelasan adalah penyambungan metalurgi sambungan paduan logam yang dilakukan dalam keadaan cair. Artinya dalam pengelasan, kedua logam yang akan disambung dipanaskan hingga berbentuk cair, sehingga dapat saling menempel pada saat proses penyambungan dilakukan. Oleh karena itu, pengelasan merupakan metode yang vital dalam industri manufaktur dan konstruksi, karena memungkinkan penyambungan material dengan kekuatan tinggi. Proses ini dapat dilakukan dengan berbagai teknik dan menggunakan berbagai sumber energi panas, seperti busur listrik, gas, atau laser, tergantung pada kebutuhan spesifik aplikasinya. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang proses pengelasan dan bahan yang digunakan sangat penting untuk mencapai hasil pengelasan yang berkualitas dan aman (Safuddin dkk, 2017).

Proses pengelasan mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari proses pengelasan ini adalah biaya yang terjangkau, pengerjaan lebih cepat, bentuk dapat bervariasi, sambungan bersifat permanen dan kekuatan hasil pengelasan pada proses penyambungan lebih kuat. Sedangkan kelemahan dari pengelasan adalah sambungannya bersifat permanen sehingga baja yang sudah dilas tidak dapat dipisahkan kembali. Sehingga metode pengelasan ini kurang cocok untuk produk yang dibongkar (Nasrul, dkk, 2016).

## 2.2. Pengelasan Bimetal

Pengelasan logam tak sejenis atau biasa disebut las bimetal merupakan pengelasan yang dilakukan pada dua jenis logam atau paduan logam yang berbeda. Pengelasan bimetal merupakan perkembangan teknologi pengelasan modern karena kebutuhan konsumen akan bahan penyambung yang mempunyai jenis logam berbeda. Dalam pengelasan bimetal pemilihan elektroda dan penggunaan arus serta pemilihan jenis sambungan harus tepat, karena menentukan hasil yang baik dari proses pengelasan itu sendiri. Untuk memilih elektroda yang tepat untuk pengelasan bimetal, lihatlah jenis materialnya terlebih dahulu kemudian tentukan jenis elektroda yang akan digunakan karena bergantung pada ketebalan material (Renaldi, dkk, 2016).

Pengelasan ini sangat berbeda dengan pengelasan lainnya, karena pengelasan ini mempunyai tingkat kerumitan yang sangat tinggi. Karena logam yang berbeda mempunyai sifat yang berbeda satu sama lain. Jadi proses pengelasan bimetal ini memerlukan beberapa teknik khusus, misalnya pemilihan logam yang tepat dan pemilihan elektroda yang sesuai (Mustafid, dkk, 2011).

Pengelasan bimetal merupakan suatu proses penyambungan dua buah logam yang mempunyai sifat berbeda. Permasalahan yang sering muncul pada pengelasan bimetal adalah area pengelasan rentan mengalami kegagalan. Kegagalan yang biasa terjadi pada area pengelasan adalah cacat pengelasan berupa retak (Sugiarto, dkk, 2016).

Dalam penerapannya, pengelasan bimetal biasanya paling sering digunakan pada bidang industri seperti pabrik semen, pembangkit listrik, elektronik, transportasi, pabrik kimia, dan lain-lain. Permasalahan yang sering dihadapi dalam pengelasan bimetal adalah perbedaan titik leleh, sifat fisik dan mekanik material. Oleh karena permasalahan tersebut maka pengelasan bimetal memerlukan prosedur pengelasan yang berbeda dengan prosedur pengelasan pada umumnya. Variasi arus pengelasan dan pemilihan elektroda sangat penting dalam menentukan hasil proses penyambungan bimetal ini.

### 2.3. Jenis – Jenis pengelasan

Pada proses pengelasan memiliki berbagai jenis pengelasan diantaranya sebagai berikut :

#### 2.3.1. *Gas Metal Arc Welding ( GMAW )*

Pengelasan GMAW adalah pengelasan yang didapat energinya dari busur listrik, pada pengoprasian las GMAW ini biasanya dioprasikan secara semi otomatis (Kurniawan dkk , 2022)

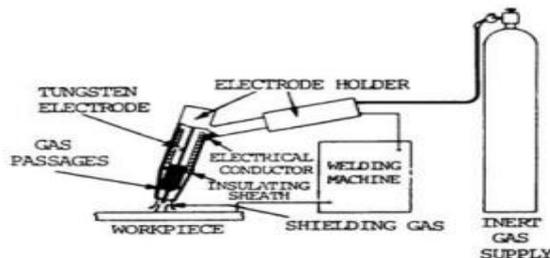


Gambar 1. Mesin GMAW

Sumber : (Kurniawan dkk , 2022)

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

*Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)* atau nama lainnya *Tungsten Inert Gas (TIG)* merupakan sebuah jenis pengelasan yang menggunakan gas *inert* sebagai pelindungnya dan *tungsten* sebagai penghantar arus listrik sehingga menghasilkan lasan (Sutowo & Sanjaya, 2016).

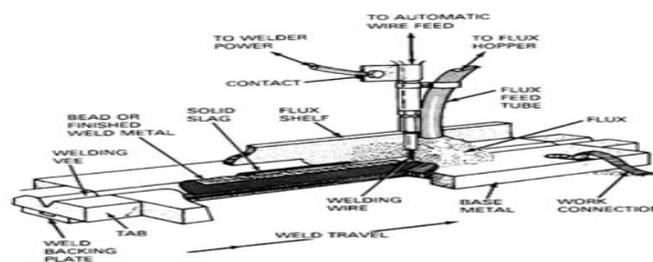


Gambar 2. Mesin Las GTAW

Sumber : (Sutowo & Sanjaya, 2016)

### 2.3.3. Submerged Arc Welding ( SAW )

Pengelasan busur terendam atau SAW adalah pengelasan busur terendam dimana busur listrik yang dihasilkan direndam dalam suatu fluks. Salah satu keunggulan pengelasan SAW adalah tingkat efisiensinya yang tinggi, berkisar antara 85% hingga 99%. Hal ini terjadi karena panas yang dihasilkan busur listrik dilindungi oleh lapisan fluks sehingga mengurangi kehilangan panas ke lingkungan sekitar ( Leman & Suharno, 2004 ).

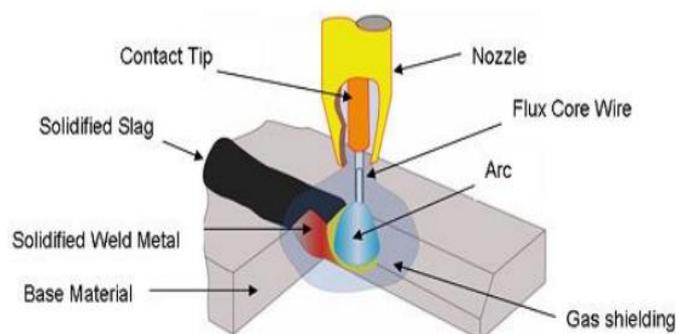


Gambar 3. Mesin Las SAW

Sumber : (Leman & Suharno, 2004)

### 2.3.4. Flux Cored Arc Welding ( FCAW )

Pengelasan FCAW adalah jenis pengelasan yang menggunakan kawat elektroda yang diisi bubuk dan menggunakan busur listrik untuk menyambung material. Inti bubuk di dalam kawat las berfungsi sebagai generator gas pelindung, melindungi logam cair dari oksidasi dan kontaminasi selama proses pengelasan (Dwisetiono & Kurniawan , 2023).

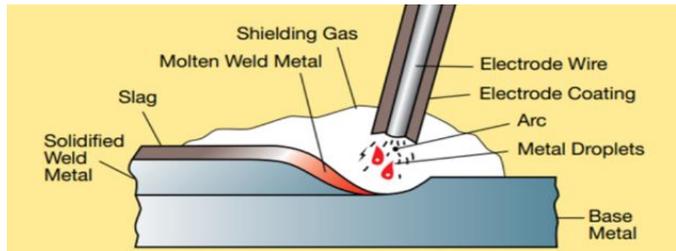


Gambar 4. Mesin Las FCAW

Sumber : (Pratama, dkk 2019)

### 2.3.5. *Shielded Metal Arc Welding* ( SMAW )

Pengelasan SMAW adalah proses penyambungan dengan elektroda terbungkus, pengelasan dengan metode ini sering ditemui pada proses pembuatan kapal dan industri konstruksi, selain murah pengerjaannya relatif fleksibel dan mudah (Pujo & Sarjito, 2008).



Gambar 5. Mesin Las SMAW

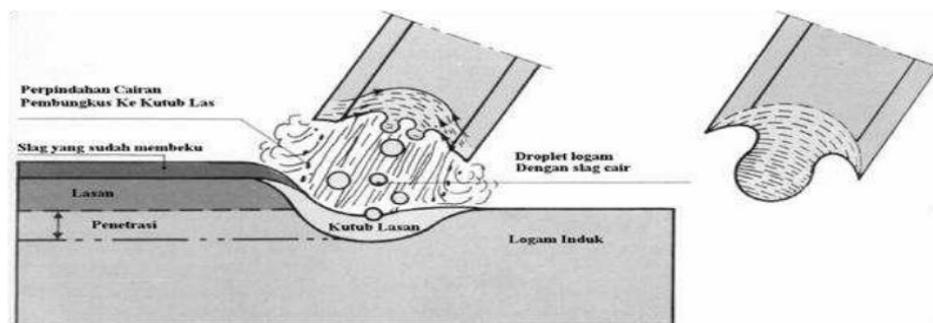
Sumber : (Pujo & Sarjito, 2008)

## 2.4. Pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW atau *Shielded Metal Arc Welding* merupakan salah satu metode pengelasan yang paling umum digunakan. Proses ini melibatkan pembentukan busur listrik antara elektroda terlindung dan logam dasar yang akan disambung. Selama proses pengelasan, busur listrik menghasilkan panas yang cukup tinggi untuk melelehkan logam dasar dan ujung elektroda secara bersamaan. Pada saat yang sama, fluks yang melapisi elektroda akan meleleh dan membentuk lapisan pelindung di sekitar titik pengelasan. Fluks pada elektroda mempunyai beberapa fungsi penting dalam proses pengelasan SMAW. Salah satunya adalah melindungi titik pengelasan dari kontaminasi atmosfer seperti oksigen dan nitrogen yang dapat menyebabkan cacat pada hasil pengelasan. Fluks juga membantu mengatur aliran logam cair dan membentuk terak, sehingga dapat membantu meningkatkan kualitas las. Penggunaan fluks pada elektroda juga memungkinkan pengelasan dapat dilakukan dalam berbagai kondisi, termasuk di lingkungan terbuka atau terkena angin. Selain itu, fluks juga membantu memberikan kekuatan tambahan pada sambungan las. Oleh karena itu, pengelasan SMAW adalah teknik yang ampuh

dan serbaguna untuk menyambung logam, dengan fluks yang melindungi dan membantu menghasilkan lasan yang kuat dan berkualitas.

Pada proses perpindahan elektroda logam, ini terjadi ketika ujung elektroda meleleh dan membentuk butiran yang terbawa arus busur listrik. Arus listrik sangat mempengaruhi butiran elektroda yang dihasilkan. Jika menggunakan arus listrik yang kecil maka butiran elektrodanya akan halus, sedangkan jika menggunakan arus listrik yang besar maka butiran elektrodanya akan menjadi kasar. Dalam prosesnya, fluks pada elektroda akan meleleh dan membentuk terak yang kemudian akan menutupi lapisan pada material yang akan dilas. Dalam fluks, tidak semuanya akan terbakar tetapi akan menjadi gas yang juga melindungi logam cair dari oksidasi (Nugroho & Setiawan, 2018).

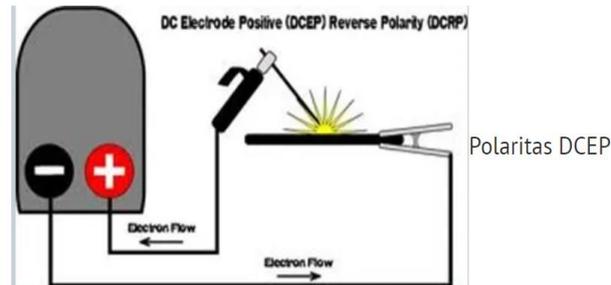


Gambar 6. Pengelasan SMAW

Sumber : (Tarkono, dkk , 2012)

Pada proses pengelasan SMAW, terdapat dua jenis mesin las yang biasa digunakan untuk mengelas material yaitu arus bolak-balik dan arus searah. Kedua mesin las tersebut mempunyai keunggulan masing-masing. Kelebihan mesin las AC adalah meskipun kabel las yang digunakan sangat panjang namun tidak mempengaruhi arus keluaran elektroda. Sebaliknya pada mesin las DC, semakin panjang kabel maka arus keluarannya semakin rendah. Keunggulan mesin las DC adalah proses penyalaan awal yang sederhana dan hasil pengelasan menggunakan mesin las DC untuk *grooving* dan pembuatan garis las sangat baik. Pada mesin las DC dibagi menjadi dua jenis yaitu DCEP ( *Direct Current Electroda Positif* ) dan DCEN ( *Direct Current Electroda Negatif* ).

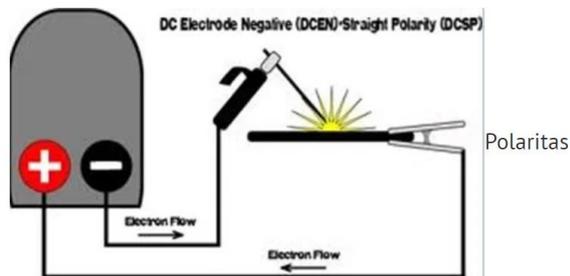
DCEP sendiri yaitu pengelasan kutub positif yang dihubungkan dengan kabel yang kemudian disambungkan pada holder atau kabel elektroda. Dalam pengelasan ini biasanya digunakan untuk mengelas bahan yang tebal.



Gambar 7. Skema Las DCEP

Sumber : (Manurung, dkk 2021)

DCEN yaitu pengelasan kutub negatif yang dihubungkan dengan suatu kabel elektroda, sedangkan pada kutub positif dihubungkan dengan benda kerja. Pengelasan DCEN ini biasanya digunakan pada material yang tipis.



Gambar 8. Skema las DCEN

Sumber : (Manurung, dkk 2021)

## 2.5. Parameter Pengelasan SMAW

Pada parameter pengelasan ini berfungsi untuk melihat hasil pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* yang mana beberapa parameter yang sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan itu sendiri. Berikut adalah beberapa parameter pengelasan SMAW :

### 2.5.1. Arus Pengelasan

Arus pengelasan merupakan salah satu parameter yang sangat berpengaruh pada pencairan logam induk. Karena arus las jika semakin tinggi akan semakin cepat dalam pencairan logam induknya.

Sebaliknya jika arus las terlalu rendah maka pencairan pada logam induk akan sangat lama atau busur listrik akan susah menyala dan yang terjadi efek dari itu panas yang dihasilkan tidak akan stabil. Efek yang terjadi jika panas tidak stabil yaitu akan menghasilkan bentuk sambungan yang bergerigi dan tidak rata karena panas yang dihasilkan tidak cukup melelehkan induk logam, sedangkan jika terlalu panas akan menghasilkan sambungan las dengan fluks yang lumer atau induk logam terlalu meleleh (Santoso, 2006).

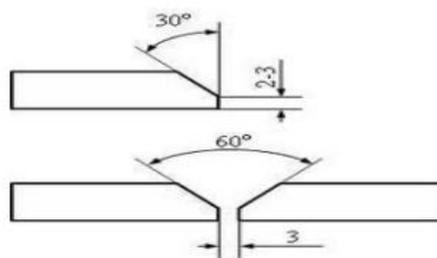
Untuk menghidupkan busur listrik dihasilkan dari arus AC atau arus DC yang mana kedua arus tersebut dihasilkan dari generator. Proses pengelasan SMAW dilakukan dengan menggunakan energi listrik yang kemudian energi tersebut dikonversikan menjadi energi panas dengan membangkitkan busur listrik melalui sebuah elektroda. Hubungan diameter elektroda dengan arus pengelasan sangatla berpengaruh jadi tidak sembarangan dalam menggunakannya. Berikut adalah tabel diameter elektroda dan kuat arus yang sesuai.

Tabel 1. Diameter Elektroda dan Arus Listrik (Ardian, 2011).

Tebal Pelat		Arus Ampere	Diameter Elektroda	
mm	swg		mm	inch
1,62	16	40 – 60	1,6	1/16
2,03	14	60 – 80	2,6	3/32
2,64	12	100	3,2	1/8
3,18	1/8"	125	3,2	1/8
3,25	10	125	3,2	1/8
4,06	8	160	4,8	3/16
4,76	3/16"	190	4,8	3/16
4,88	6	190	4,8	3/16
5,89	4	203	6,4	¼
6,35	¼"	250	6,4	¼
7,01	2	275 – 300	7,9	5/16
8,23	0	300 – 400	7,9	5/16
8,84	00	400 - 600	8,5	3/8

### 2.5.2. Kampuh Pengelasan

Kampuh pengelasan merupakan salah satu parameter yang penting, karena baik atau tidaknya hasil dari pengelasan ditentukan oleh pemilihan jenis kampuh yang baik. Kampuh las berperan penting dalam pengelasan yang dirancang dengan sedemikian rupa agar hasil pengelasan mempunyai kekuatan yang baik dan tahan lama. Dalam pemilihan kampuh las, harus secara efisien dan mudah dalam pelaksanaannya serta untuk meminimalkan cacat yang terjadi pada proses pengelasan. Jenis kampuh yang sering digunakan pada pengelasan adalah kampuh V.



Gambar 9. Jenis Kampuh V

Sumber : (Syaripuddin, dkk , 2014)

### 2.5.3. Elektroda

Dalam dunia pengelasan elektroda merupakan parameter penting, karena dalam proses pengelasan dibutuhkan elektroda sebagai busur penyambungan material satu dengan yang lain. Terdapat tiga jenis elektroda yang dapat digunakan dalam proses pengelasan yaitu elektroda polos, elektroda inti dan elektroda terbungkus.

Elektroda polos merupakan elektroda yang tidak mempunyai fluks sehingga berbentuk seperti kawat. Tanpa adanya fluks, elektroda ini tidak dapat menghalangi masuknya udara ke dalam kawat, akibatnya hasil pengelasan akan menjadi rapuh. Maka busur yang dihasilkan tidak stabil dan terputus-putus. Keuntungan menggunakan elektroda ini pada jalur pengelasan dapat diamati dengan jelas. Selanjutnya elektroda inti merupakan elektroda yang terdapat kawat di tengahnya yang berfungsi

sebagai fluks. Percikan yang dihasilkan elektroda ini relatif kecil dibandingkan dengan elektroda sederhana. Apalagi elektroda ini memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Dan yang terakhir adalah elektroda pembungkus. Ini adalah elektroda yang berisi kawat sederhana yang dibungkus fluks. Elektroda pembungkus ini mempunyai sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan dua jenis elektroda lainnya. Pada elektroda ini busur listrik yang dihasilkan lebih stabil, kawah pada lasan dapat terlindungi dengan baik oleh fluks. Oleh karena itu, hasil pengelasan menggunakan elektroda ini mempunyai kekuatan dan keuletan yang sangat tinggi (Munawar, dkk , 2023). Pada penelitian ini elektroda yang digunakan adalah elektroda LB52U. Elektroda ini mempunyai kelebihan antara lain, memiliki kekuatan tarik yang tinggi, elektroda ini sangat cocok untuk pengelasan baja, plat dan pipa, kemudian elektroda ini memiliki penetrasi yang kuat dan memiliki busur listrik yang stabil.

## 2.6. Baja Karbon AISI 1040

Baja merupakan paduan bahan antara besi karbon dan bahan lainnya. Hasil akhir dari baja yang paling banyak digunakan yaitu pada komponen otomotif dan produk lainnya. Pemakaian bahan baja dalam dunia modern saat ini tidak hanya dalam lingkup dunia otomotif dan manufaktur saja, tetapi berfungsi juga pada alat alat kebutuhan rumah tangga lainnya.

Baja karbon AISI 1040 merupakan baja karbon sedang yang memiliki nilai karbon kurang dari 0,40%. Dalam penerapannya, baja karbon AISI 1040 biasanya digunakan pada roda gigi, bantalan dan poros. Berdasarkan penerapannya, baja ini harus mempunyai sifat tahan terhadap keausan, sifat ini sering diartikan sebagai ketahanan terhadap erosi dimensi material akibat gesekan (Faisal, 2019). Berikut merupakan tabel unsur dari baja karbon AISI 1040.

Tabel 2. Unsur Baja Karbon AISI 1040 (Tafrant &amp; dkk, 2022)

Unsur	Komposisi
Karbon	0,42 – 0,5 %
Besi	98,51 – 98,98 %
Mangan	0,6 – 0,9 %
Pospor	0,04 %
Belerang	0,05 %

### 2.7. Baja Karbon AISI 1020

Baja AISI 1020 tergolong baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0,20%. Baja AISI 1020 memiliki ciri kekerasan yang rendah, mudah dibentuk, dan keuletan yang tinggi. Karena sifat-sifatnya yang mudah dibentuk dan keuletannya yang tinggi, baja AISI 1020 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Beberapa penerapan umum termasuk dalam pembuatan roda gigi, poros, pelat baja, serta komponen-komponen dalam pembangkit listrik seperti pipa uap superheated dan sistem boiler pada temperatur tertentu. Karakteristik keuletan dan kemampuan pembentukan baja AISI 1020 membuatnya menjadi pilihan yang populer dalam industri manufaktur, terutama di mana kekuatan yang tinggi tidak menjadi prioritas utama dan proses pembentukan menjadi faktor penting dalam desain dan produksi komponen-komponen tersebut (Faisal, 2019). Berikut merupakan komposisi kimia baja AISI 1020 adalah sebagai berikut.

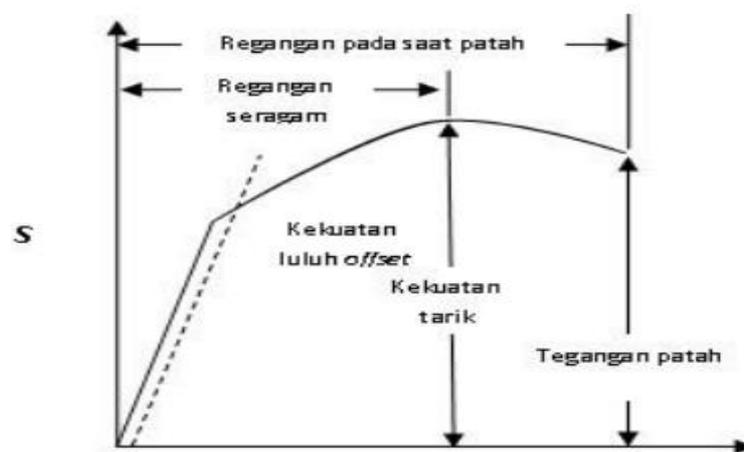
Tabel 3. Komposisi Kimia Baja AISI 1020 (Nasution &amp; Nasution, 2020)

Unsur	Komposisi
Karbon	0,20 – 0,30 %
Silikon	0,15 – 0,35 %
Mangan	0,50 – 0,70 %
Molibdenum	0,20 – 0,30 %
Fosfor	0,035 %
Krom	0,90 – 1,40 %

## 2.8. Pengujian Tarik

Kekuatan tarik merupakan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh sebuah material ketika diregangkan atau ditarik, sebelum material tersebut mengalami patah. Beberapa material dapat patah begitu saja tanpa harus mengalami deformasi terlebih dahulu, yang berarti material tersebut bersifat rapuh atau getas. Sedangkan material yang mengalami deformasi sebelum patah disebut material elastis.

Dalam sebuah pengujian kekuatan tarik sebuah material umumnya dapat dicari dengan cara dilakukannya pengujian uji tarik. Yang mana nantinya akan mengalami perubahan regangan dan tegangan. Pada titik tertinggi dari kurva tegangan regangan disebut dengan kekuatan tarik maksimum atau *ultimate tensile strength*. Dalam pengujian ini dikatakan berhasil atau tidaknya dalam pengujian, dilihat dari patahan pada material tersebut. Jika terjadi patahan tepat pada logam maka pengujian dikatakan tidak berhasil. Pengujian yang berhasil yaitu jika patahan terjadi pada titik tempat penyambungan antara material satu dengan yang lain.



Gambar 10. Kurva Tegang Regangan

Sumber : (Putra dkk , 2019)

Dalam pengujian tarik, pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan dasar suatu material, serta sebagai kriteria pendukung spesifikasi material. Terdapat berbagai jenis kekuatan tarik tergantung pada

jenis bahan yang digunakan. Pertama adalah kuat tarik, kuat geser, kuat tekan, kuat puntir, dan kuat lentur. Sifat mekanik yang diperoleh dari uji tarik adalah sebagai berikut:

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_o} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana

$\sigma_y$  = Tegangan Tarik Yield

$P_y$  = Beban Yield ( Kn/mm<sup>2</sup> )

$A_o$  = Luas awal spesimen ( mm<sup>2</sup> )

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_o} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana

$\sigma_u$  = Tegangan Maksimum

$P_u$  = Tegangan Ultimate ( Kn/mm<sup>2</sup> )

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Dimana

$\varepsilon$  = Regangan %

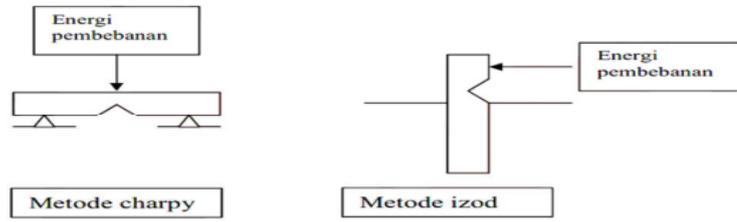
$\Delta L$  = Pertambahan panjang ( mm )

$L_o$  = Panjang awal spesimen ( mm )

## 2.9. Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan pengujian yang digunakan untuk menentukan material tersebut rapuh atau ulet berdasarkan sifatnya. Metode dalam pengujian impak ini memiliki dua metode yaitu, metode izod dan metode charpy. Pada kedua metode tersebut memiliki perbedaan dalam penggunaannya dan berbeda pula dalam titik pembebanannya. pada metode izod energi pembebanannya berada di atas atau diujung spesimen. Sedangkan metode charpy energi pembebanannya berada di tengah spesimen. Pada metode charpy luas penampang berukuran 10 x 10 mm yang mana takik pada metode ini berbentuk V. Sedangkan pada metode izod takik sama dengan metode charpy yaitu berbentuk V yang membedakan hanya posisi takik saja, jika metode izod lebih

dekat dengan ujung spesimen. Sedangkan metode charpy berada di tengah – tengah spesimen.



Gambar 11. Pembebanan Metode Charpy Dan Izod

Sumber : (Handoyo, 2013)

Berikut merupakan rumus dalam pengujian Impak:

$$E_1 = P ( D - D \cos \alpha ) \dots \dots \dots (4)$$

Dimana

$E_1$  = Usaha yang dikerjakan ( Kg.m)

$P$  = Beban Palu (kg)

$D$  = Jarak dari pusat palu ke pusat gravitasi (m)

$\alpha$  = Sudut angkat palu (°)

$$E_2 = P ( D - D \cos \theta ) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana

$E_2$  = Sisah usaha setelah mematahkan benda uji (Kg.m)

$P$  = Beban Palu (kg)

$D$  = Jarak dari pusat palu ke pusat gravitasi (m)

$\theta$  = Sudut ayun setelah palu mengenai spesimen (°)

Mengetahui usaha diperlukan memathkan spesimen uji, cara untuk menentukannya adalah dengan persamaan berikut :

$$E = E_1 - E_2 \dots \dots \dots (6)$$

Dimana

$E$  = Usaha yang diperlukan mematahkan benda uji (Kg.m)

$E_1$  = Usaha yang dilakukan (Kg.m)

$E_2$  = Sisah usaha setelah pematahan benda uji (Kg.m)

Untuk mencari Harga Impak suatu material dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$HI = \frac{E}{A} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana

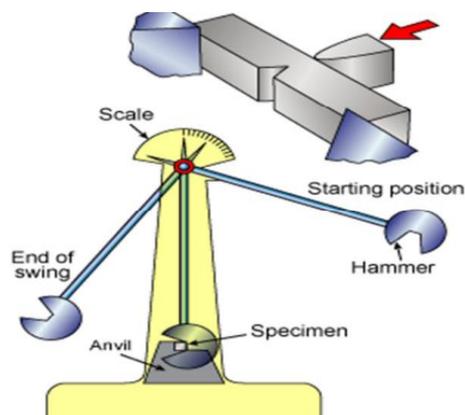
$HI$  = Harga Impak

$E$  = Energi yang diserap (J)

$A$  = Luas penampang dibawah takikan ( $\text{mm}^2$ )

### 2.9.1. Metode Charpy

Metode Charpy adalah pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap material selama patah. Energi yang diserap merupakan ketangguhan suatu material tertentu pada transisi ulet dan getas. Tujuan dari uji impak dengan metode Charpy adalah untuk mengevaluasi sifat-sifat mekanis material, khususnya kerapuhan atau keuletan, yang penting untuk memahami respons material terhadap beban dinamis atau kondisi ekstrem. Sebelum melakukan pengujian, benda uji dibuat sesuai dengan standar ASTM E23 untuk memastikan konsistensi dan validitas hasil pengujian.



Gambar 12. Pengujian Impak Metode Charpy

Sumber : (Handoyo, 2013)

## 2.10. Pengujian Penetrasi

Metode pengujian penetrasi merupakan salah satu teknik *non-destruktif* (NDT) yang paling sederhana dan sering digunakan untuk mendeteksi cacat pada permukaan terbuka material padat, baik logam maupun non logam. Prosesnya melibatkan pengolesan cairan penetrasi berwarna terang ke permukaan yang akan diperiksa. Cairan ini kemudian akan meresap ke dalam cacat atau retakan pada permukaan material. Keuntungan utama dari metode ini adalah kemampuannya untuk mendeteksi cacat yang tidak terlihat secara visual. Cacat yang sangat kecil sekalipun dapat dideteksi dengan metode ini karena cairan penetrasi akan menyebar secara merata ke seluruh permukaan material. Namun, metode pengujian penetrasi juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah metode ini hanya bisa diterapkan pada permukaan terbuka. Artinya jika permukaan material terlindungi atau tidak mudah diakses, maka cara ini tidak akan efektif.

Selain itu, cara ini tidak dapat digunakan pada komponen yang permukaannya kasar, berlapis, atau berpori. Hal ini karena cairan penetrasi mungkin tidak dapat menembus dengan baik ke dalam cacat ini atau mungkin mengendap pada permukaan yang kasar atau berpori sehingga menghasilkan hasil yang tidak akurat. Meskipun demikian, metode pengujian penetrasi tetap menjadi pilihan populer untuk mendeteksi cacat pada permukaan komponen padat yang terbuka karena kecepatan dan kemudahannya dalam mendeteksi kemungkinan cacat.

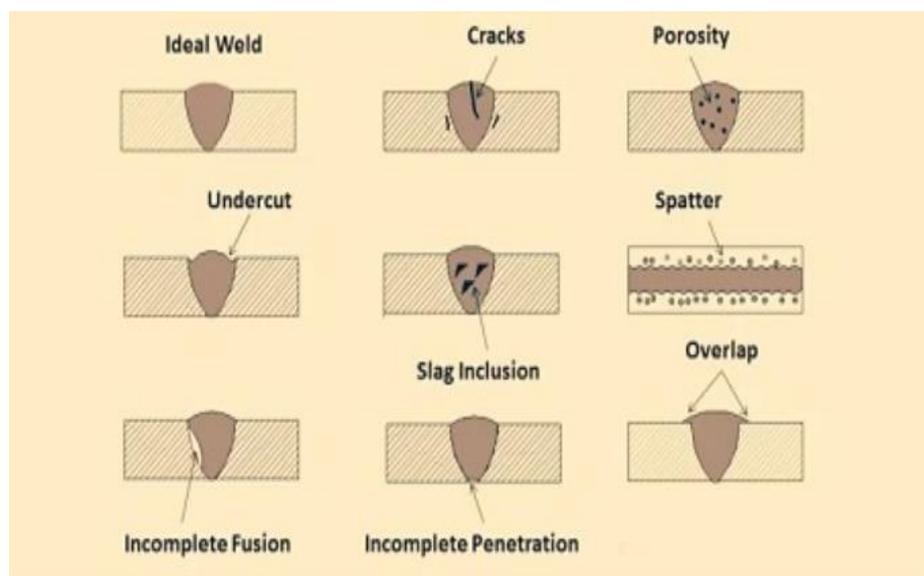


Gambar 13. Pengujian Penetrant

Sumber : (Naryono & Suharyadi , 2012)

## 2.11. Cacat Las

Cacat las merupakan suatu kerusakan pada hasil pengelasan. Cacat las ini biasanya terjadi oleh beberapa faktor diantaranya proses pengelasan, persiapan spesimen yang kurang matang, atau peralatan yang kurang memadai. Cacat las memiliki 2 jenis yaitu cacat las internal dan cacat las visual. Pada cacat las internal cacat lasan ini terjadi di dalam hasil lasan sedangkan cacat las visual cacat yang terjadi di permukaan las atau cacat yang dapat dilihat dengan mata.



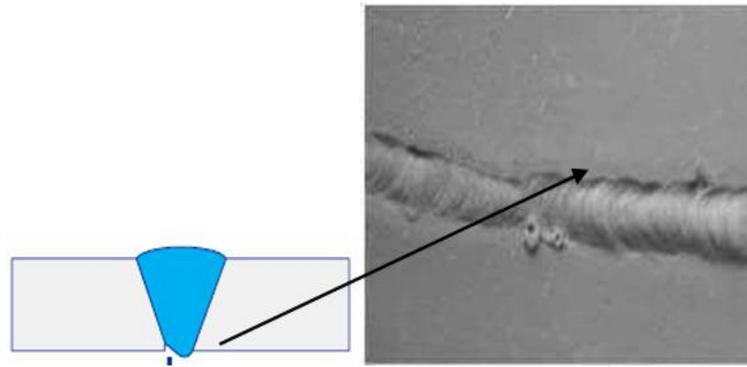
Gambar 14. Jenis Cacat Las

Sumber : (Rahmawati, 2023)

Gambar diatas merupakan termasuk jenis cacat las visual atau cacat yang bisa dilihat dengan mata. Cacat las visual ini dapat diketahui dengan cairan *day penetrant* atau *magnetic particle inspection*. Sedangkan cacat las internal untuk mendeteksinya menggunakan metode *ultrasonic testing* dan *radiographic testing*. Berikut merupakan jenis – jenis cacat las.

### 2.11.1. Undercut

*Undercut* merupakan cacat las yang terjadi pada bagian permukaan spesimen. Cacat ini berbentuk seperti cerukan yang memanjang. Cacat ini biasanya terjadi akibat arus las yang digunakan terlalu besar, posisi elektroda kurang tepat dan ayunan tangan kurang merata.

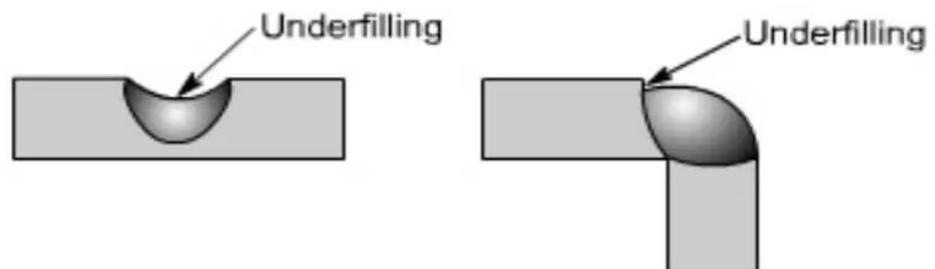


Gambar 15. Cacat *Undercut*

Sumber : (Suherman & Abdullah, 2020)

### 2.11.2. *Underfill*

Cacat las *underfill* merupakan cacat las yang terjadi akibat kurangnya pengisian logam las. Cacat las *underfill* ini biasanya disebabkan oleh penggunaan ampere yang rendah, kemudian kecepatan las yang terlalu tinggi dan posisi pengelasan yang tidak tepat.

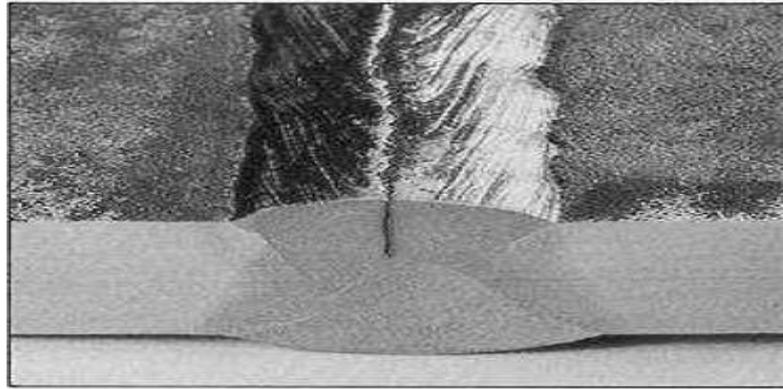


Gambar 16. Cacat Underfill

Sumber : (Achmadi, Macam Cacat Las Serta Cara Menanganinya, 2024)

### 2.11.3. *Crack*

Cacat *crack* ini terdapat dua jenis yaitu *hot crack* dan *cold crack*. perbedaan dari keduanya adalah dimana pada cacat *hot crack* cacat yang terjadi setelah proses pengelasan. sedangkan cacat *cold crack* terjadi setelah proses pengelasan biasanya memerlukan waktu 1 menit agar muncul cacat *cold crack* in

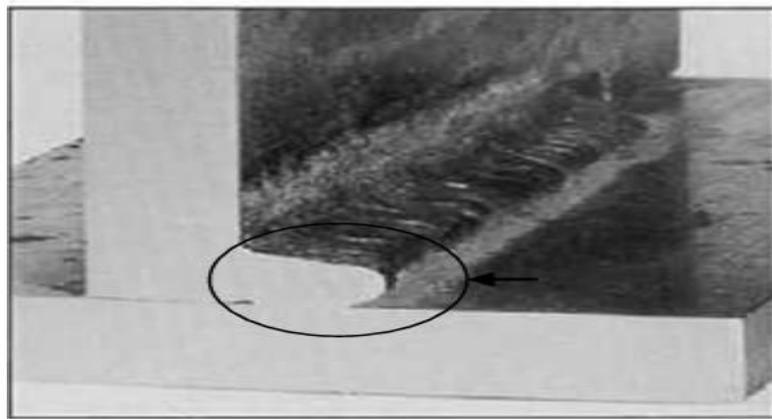


Gambar 17. Cacat *Crack*

Sumber : (Suherman & Abdullah, 2020)

#### 2.11.4. *Overlap*

Cacat las *overlap* adalah suatu kondisi dimana filler pada pengisi logam tidak melebur sempurna. Terjadinya proses cacat ini yaitu dimana busur listrik tidak mampu melelehkan base material yang mengakibatkan cairan menggenang diatas logam. Cacat ini disebabkan oleh penggunaan ampere yang rendah.



Gambar 18. Cacat *Overlap*

Sumber : (Suherman & Abdullah, 2020)

#### 2.11.5. Porositas

Porositas merupakan cacat peneglasan yang terjadi di permukaan hasil lasan. Cacat ini biasanya disebabkan kurangnya keterampilan operator las karena terlalu menggunakan arus yang tinggi.

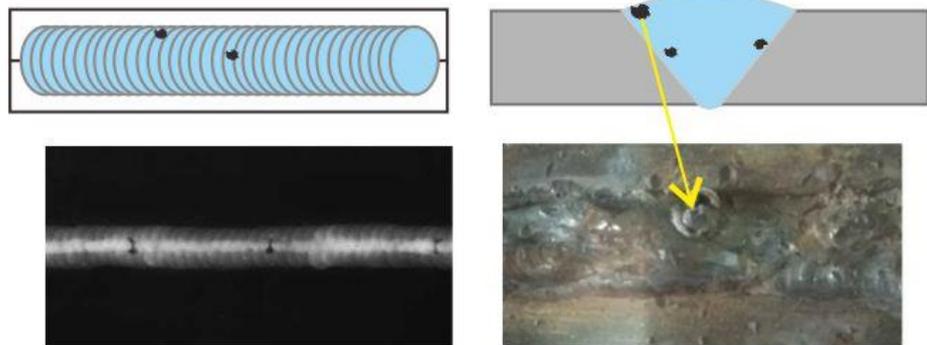


Gambar 19. Cacat Porositas

Sumber : (Suherman & Abdullah, 2020)

#### 2.11.6. *Slag Inklusi*

Cacat *slag inklusi* merupakan jenis cacat akibat terak yang terperangkap pada selama proses pengelasan dan kemudian ikut membeku pada daerah las. Pada cacat ini mempunyai bentuk yang tidak teratur.

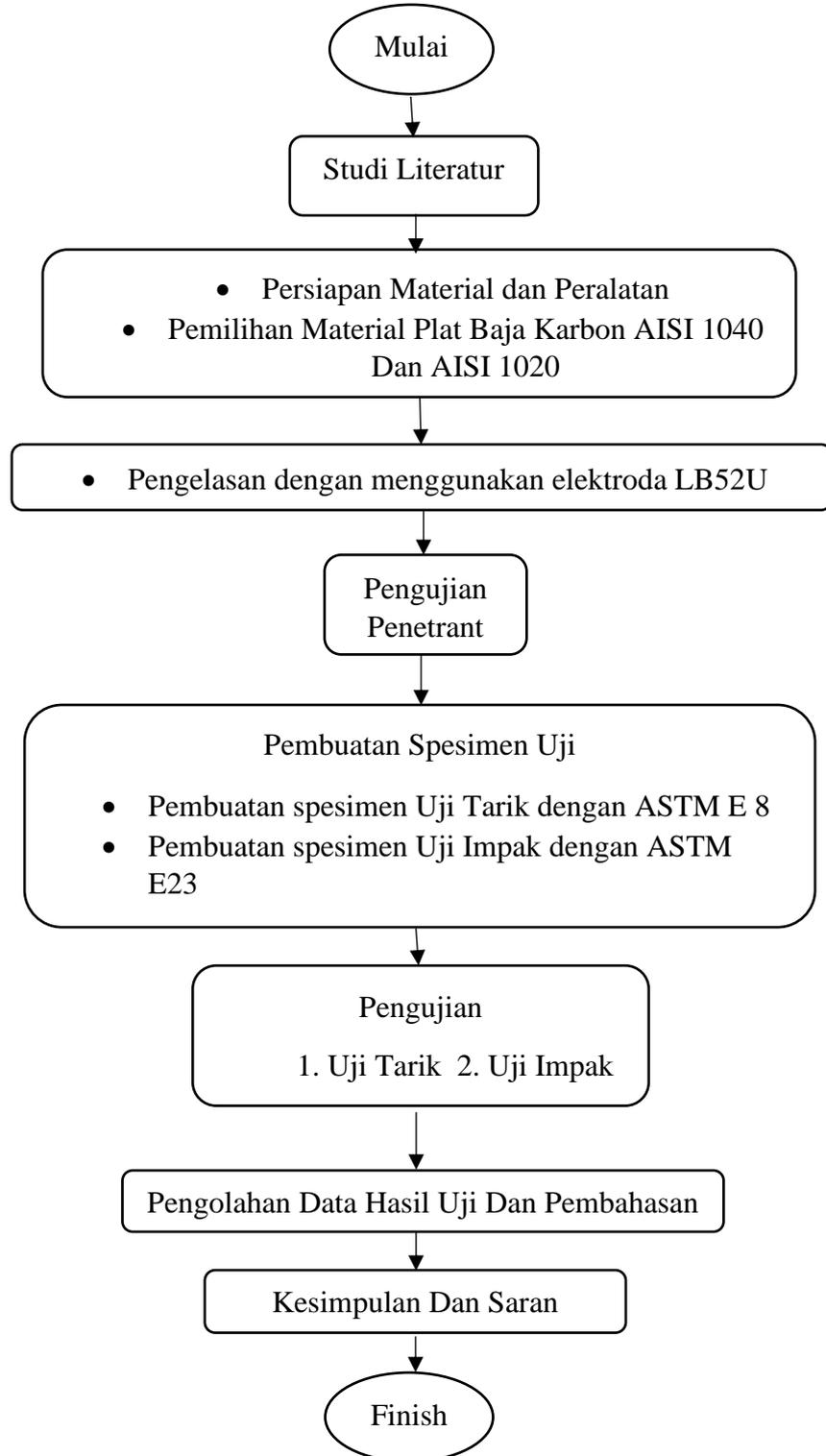


Gambar 20. Cacat *Slag Inklusi*

Sumber : (Nugroho B. , 2021)

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alur Penelitian



Gambar 21. Alur Penelitian

### 3.2. Waktu Dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini akan dilaksanakan dari bulan januari sampai juli. Tempat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Pengelasan dan pembuatan spesimen dilakukan di SMKN 2 Bandar Lampung.
2. Pengujian *penetrant* dilakukan di SMKN 2 Bandar Lampung.
3. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Pengujian Impak dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

### 3.3. Alat Dan Bahan

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

#### 3.3.1. Mesin Las

Mesin Las SMAW dan perlengkapan lainnya digunakan untuk menyambung material



Gambar 22. Mesin Las SMAW

Tabel 4. Spesifikasi Mesin Las SMAW

Model	ARC 4001
Serial Number	EN60974-1
Tahun	2012
Tegangan	380 V
Kapasitas	30 – 400 A
Tegangan Tanpa Beban	62 V

### 3.3.2. Elektroda

Digunakan sebagai busur listrik sebagai pengisi kampuh yang terdapat pada material



Gambar 23. Elektroda

Tabel 5. Spesifikasi Elektroda

Jenis	AWS E 7016
Diameter	2.6 mm
Panjang	400 mm
Arus	60 – 80 A

### 3.3.3. Plat Baja AISI 1040

Adapun komposisi baja AISI 1040 sebagai berikut :

Table 6. Komposisi Kimia

Unsur	Komposisi
Karbon	0,42 – 0,5 %
Besi	98,51 – 98,98 %
Mangan	0,6 – 0,9 %
Pospor	0,04 %
Belerang	0,05 %

Tabel 7. Karakteristik Baja AISI 1040

Tensile Strength	400 – 500 MPa
Yield Strength	205 – 245 MPa
Elongation	27 – 30 %
Modulus	190 – 210 GPa

### 3.3.4. Plat Baja AISI 1020

Adapun Komposisi Baja AISI 1020 sebagai berikut :

Table 8. Komposisi Kimia

Unsur	Komposisi
Karbon	0,20 – 0,30 %
Silikon	0,15 – 0,35 %
Mangan	0,50 – 0,70 %
Molibdenum	0,20 – 0,30 %
Fosfor	0,035 %
Krom	0,90 – 1,40 %

Tabel 9. Karakteristik Baja AISI 1020

Tensile Strength	420 MPa
Yield Strength	350 MPa
Elongation	15 %
Modulus	186 GPa

### 3.3.5. Mesin Uji Tarik



Gambar 24. Mesin Uji Tarik

Berikut merupakan spesifikasi mesin uji tarik sebagai berikut :

Tabel 10. Spesifikasi Mesin Uji Tarik

Merek	MTS Landmark
Kapasitas	100 KN
Tipe	U PD 10
Tahun	2015
Skala Pengukuran Beban	A : 0 - 20 Kn A + B : 0 - 50 Kn A + B + C : 0 - 100 Kn

## 3.3.6. Mesin Uji Impak



Gambar 25. Mesin Uji Impak

Adapun spesifikasi mesin uji impact sebagai berikut :

Tabel 11. Spesifikasi Mesin Uji Impak

Model	RMU Testing Equipment
Pendulum Energi	300 J Charpy – Div . 1 J 150 J Charpy – Div . 0,5 J 165 J Charpy – Div . 2,5 J
Rising Angel	160°
Distance Between Center Of Pendulum and Specimen	380 mm
Pendulum Moment	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
Dial Scale	0 – 0,5 J minimum scale 0,005 J

### 3.3.7. Mesin Skrap



Gambar 26. Mesin Skrap

Berikut merupakan tabel spesifikasi mesin skrap sebagai berikut :

Tabel 12. Spesifikasi Mesin Skrap

Merek	Cooper Welchand Group
Panjang MAX Potong	500 mm
Jarak Meja Ke Kepala	370 mm
Jarak Tempuh Meja Horizontal	500 mm
Jarak Tempuh Meja Vertikal	300 mm
Berat	1500 Kg

### 3.3.8. Cairan Penetrant



Gambar 27. Cairan Penetrant

Adapun komposisi cairan penetrant yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 13. Komposisi Cairan *Penetrant*

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

Tabel 14. Komposisi 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 15. Komposisi Cairan *Remover*

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

### 3.4. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu :

#### 3.4.1. Persiapan Spesimen Uji

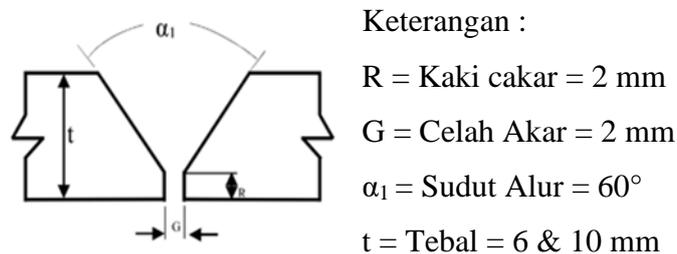
Adapun proses persiapan spesimen pengelasan ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan pelat baja yang akan digunakan, pelat yang digunakan yaitu baja AISI 1040 dan AISI 1020 dengan ukuran Panjang 190 mm lebar 10 mm tebal 3 mm untuk uji tarik dan untuk uji impak dengan ukuran Panjang 55mm lebar 10 mm tebal 10 mm.
2. Melakukan pemilihan elektroda. Elektroda yang akan digunakan yaitu menggunakan elektroda jenis LB52U.

### 3.4.2. Proses Pengelasan

Dalam proses pengelasan ini menggunakan metode pengelasan SMAW berikut adalah langkah – langkah nya :

1. Menyiapkan material yang akan dilakukan pengelasan
2. Membuat kampuh las berjenis V tunggal.



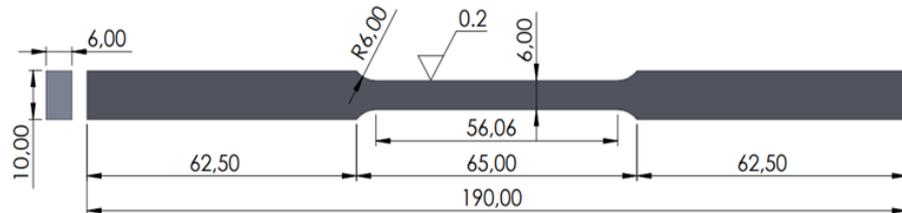
Gambar 28. Kampuh V

3. Menghubungkan kabel masa pada pelat baja.
4. Memasang elektroda LB52U pada stang las.
5. Menghidupkan mesin las SMAW dan mengatur arus pengelasan sesuai dengan elektroda LB52U yaitu 60 dan 80 Ampere.
6. Melakukan pengelasan kampuh dengan elektroda LB52U.
7. Membersihkan terak hasil pengelasan.

### 3.4.3. Pembuatan Spesimen Uji

1. Spesimen uji Tarik

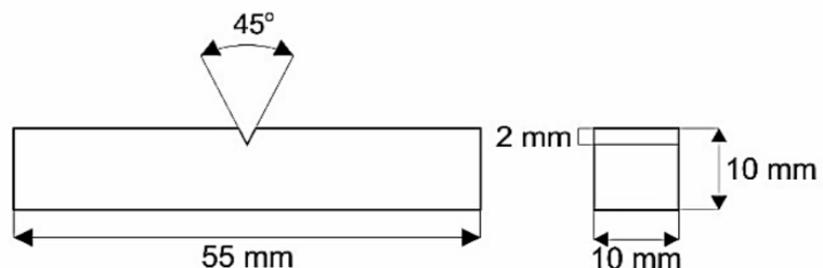
Pada proses pembuatan spesimen uji Tarik ini mengikuti ketentuan standar ASTM E 8, Gambar dibawah menunjukkan dimensi dari spesimen uji Tarik.



Gambar 29. Ukuran Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8

## 2. Spesimen uji impak

Pada pembuatan spesimen untuk uji impak ini menggunakan standar ASTM E 23 yang mana pada standar ini memiliki ukuran Panjang 55mm, lebar 10mm dan tebal 10mm. Berikut adalah gambar dimensi ukuran untuk uji impak.



Gambar 30. Ukuran Spesimen Uji Impak

## 3.5. Pengujian Spesimen

### 3.5.1. Uji Tarik

Pengujian Tarik ini, untuk ukuran spesimen mengacu pada standar ASTM E8. Pengujian Tarik menggunakan *universal testing machine* atau UTM yang dihubungkan langsung dengan plotter. Berikut langkah – langkah dalam pengujian ini :

1. Menyiapkan spesimen uji.
2. Menyalakan *Chiller* dan *Hydraulic Power Unit*.
3. Menyalakan mesin MTS *Landmark*.

4. Memilih program *controller 793B* lalu pilih manual *command* klik *displacement mode*, dan naikkan *actuator* pada posisi nol.
5. Memasang spesimen uji pada *cross head grip* atas kemudian cekam spesimen.
6. Kemudian menurunkan *cross head grip* sampai ujung bawah spesimen masuk ke dalam *grip* bawah.
7. Menekan manual command dan tekan *control mood* ke *force*.
8. Memilih *auto offset* untuk *force*, kemudian cekam *grip* bawah sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak mengalami perubahan.
9. Memasang *extensometer* pada spesimen dengan posisi *zero* pin kemudian tekan manual offset untuk extensometer dan zero pin dilepas dari *extensometer*.
10. Memilih program *MTS Test Suite ( MPE )*, pilih template untuk uji Tarik statis.
11. Memasukan data spesimen meliputi Panjang, lebar dan tebal.
12. Memasukan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
13. Setelah semua data sudah di input kemudian klik RUN.

Berikut merupakan tabel hasil pengujian uji tarik.

Tabel 16. Hasil Pengujian Uji Tarik

Variasi Arus	Spesimen	Ultimate Tensile Strength ( MPa )	Yield Strength ( MPa )	Modulus ( GPa )	Elongation ( % )
60	1				
	2				
	3				
80	1				
	2				
	3				

### 3.5.2. Uji Impak

Pengujian impak ini mengacu pada standar ASTM E 23, pada pengujian ini metode yang digunakan yaitu dengan metode *charpy* berikut langkah – langkah dalam pengujian ini :

1. Melakukan kalibrasi pada alat pengujian impak untuk meminimalisir kesalahan perhitungan.
2. Meletakkan spesimen.
3. Mengangkat pendulum pada meja uji impak.
4. Melepaskan tuas pada mesin uji impak.
5. Melakukan pengereman setelah pendulum mencapai ketinggian maksimum.
6. Menentukan jenis perpatahan yang terjadi.
7. Melakukan analisis pada perpatahan.
8. Menghitung energi impak.

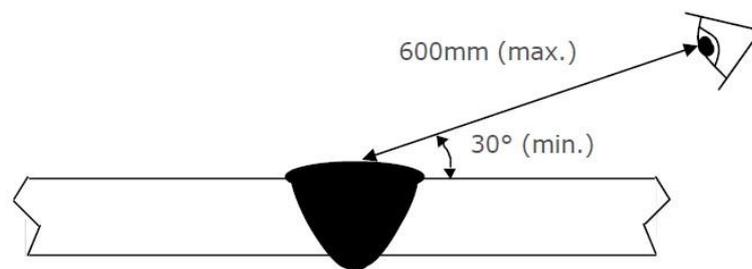
Adapun tabel berikut merupakan hasil pengujian impak.

Tabel 17. Hasil Uji Impak

Variasi Arus	Spesimen	Energi Impak (joule )	Rata-rata Energi Impak (joule )	Harga Impak ( J/mm <sup>2</sup> )	Rata – Rata Harga Impak ( J/mm <sup>2</sup> )
60	1				
	2				
	3				
80	1				
	2				
	3				

### 3.5.3. Pengujian Visual

Dalam melakukan pengujian visual ini menggunakan standar ISO 17637, yang mana minimal pencahayaan yang digunakan pada saat pengujian yaitu 350 lux. Dalam teknisnya pencahayaan normal seperti pada ruangan kantor itu sangat direkomendasikan dengan ukuran 500 lux. Selanjutnya posisi pada saat pengujian visual ini, dari jarak spesimen ke mata dengan minimal jarak 30 cm dengan sudut kemiringan minimal 30 derajat.



Gambar 31. Uji Visual

Sumber : (Achmadi, 2020)

Adapun Langkah – Langkah dalam pengujian visual ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan bahan yang diperlukan.
2. Membersihkan permukaan dengan menggunakan sikat kawat untuk membuang kotoran yang menutupi *defect*.
3. membersihkan permukaan dengan menggunakan *solvent* untuk menghilangkan kotoran.
4. Menyemprotkan penetrant ke permukaan hingga merata lalu diamkan selama 10 menit.
5. Membuang kelebihan penetrant menggunakan *solvent* pada kain dengan satu arah.
6. Mengeringkan permukaan dengan *solvent*.
7. Menyemprotkan *developer* ke permukaan secara merata tunggu sekitar 30 menit.
8. Melakukan analisis hasil pengujian.

Berdasarkan pada kolom tabel dari hasil uji visual terdapat kolom intensitas yang di tandai menggunakan 5 bintang. Penjelasan untuk yang mendapatkan bintang pertama yaitu tidak ada cacat (\*), kemudian untuk bintang kedua cacat cukup rendah (\*\*), selanjutnya untuk bintang ketiga cacat rendah (\*\*\*), bintang keempat cacat tinggi (\*\*\*\*) dan untuk bintang kelima cacat sangat tinggi (\*\*\*\*\*). Adapun tabel hasil uji visual sebagai berikut.

Tabel 18. Contoh Data *Penetrant* Berdasarkan Uji Visual Uji Tarik

Spesimen	No	Jenis Cacat	Bentuk	Intensitas
Ampere 60				
Ampere 80				

Tabel 19. Contoh Data *Penetrant* Berdasarkan Uji Visual Uji Impak

Spesimen	No	Jenis Cacat	Bentuk	Intensitas
Ampere 60				
Ampere 80				

## V. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Adapun simpulan yang didapatkan setelah dilakukan penelitian pengelasan bimetal dengan variasi arus ampere adalah sebagai berikut :

Pada pengelasan bimetal yang menggunakan baja AISI 1020 dan AISI 1040 ini menghasilkan sebuah sambungan yang mana pada sambungan ini telah dilakukan pengujian untuk melihat seberapa kuat pengelasan ini. Pengujian yang dimaksud antara lain, pengujian Tarik dan pengujian impak. Terdapat juga satu pengujian yang merupakan sebuah pengujian untuk melihat cacat pada hasil pengelasan. Cacat yang terdapat pada pengelasan ini juga menjadi salah satu faktor kekuatan sambungan bimetal ini menjadi berkurang. Untuk melihat cacat pada hasil pengelasan ini dilakukan pengujian penetrant, cacat yang terdapat pada pengujian bimetal pada material baja AISI 1020 dan baja AISI 1040 ini yaitu cacat splatter, cacat underfill dan cacat undercut. Pada masing masing spesimen uji terdapat 3 jenis cacat tersebut, hampir kedua variasi ampere yang digunakan memiliki cacat tersebut.

Selanjutnya untuk mengetahui hasil sambungan pada pengelasan bimetal ini, dilakukannya sebuah pengujian Tarik dan impak. Pada pengujian Tarik dengan variasi arus 60 ampere rata – rata nilai ultimate strength yang didapat sebesar 367.881 MPa, sedangkan untuk variasi arus 80 ampere didapatkan rata – rata nilai ultimate strength nya sebesar 417.447 MPa. Nilai ini membuktikan bahwa penggunaan arus 80 ampere memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan arus 60 ampere. Kemudian untuk pengujian impak sendiri pada pengelasan variasi arus 60 ampere rata – rata energi impak yang diserap sebesar 145.33 joule dan rata – rata harga impaknya sebesar 1.13 J/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya pada variasi arus 80 ampere rata – rata energi impak yang di serap sebesar 93 joule dan rata – rata harga impaknya sebesar 0.71 J/mm<sup>2</sup>. Pada kasus

pengujian impak nilai yang besar terjadi pada variasi arus 60 ampere, penyebab terjadinya hal ini adalah pengaruh dari cacat pada pengelasannya yang memungkinkan pada saat pengujian material uji mengalami penurunan kekuatan.

## 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini untuk pengembangan penelitian ini selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Proses pengujian harus sesuai dengan standar yang ada.
2. Untuk penelitian selanjutnya menggunakan jenis pengelasan yang berbeda.
3. Menggunakan jenis material yang berbeda untuk penelitian selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi. (2020). Cara Melakukan Uji Visual Hasil Las. Teknologi Pengelasan.
- Achmadi. (2024). Macam Cacat Las Serta Cara Menanganinya. Teknologi Pengelasan.
- Afandi, E., Sari, D. Y., Nurdin, H., & Rahim, B. (2022). Analisa Pengaruh Kuat Arus Pengelasan SMAW Terhadap kekuatan Uji Impak Pada Sambungan baja Karbon ST 42. VOMEX.
- Agustriyana, L., Sarjiyana, & Suyanta. (2019). Pengaruh Pengelasan GTAW Pada Logam *Bimetal* Plat Baja Karbon Rendah Dan Stainless Steel Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las. Info Teknik, 167 - 180.
- Ardian, A. (2011). Proses Las Busur Nyala Listrik (SMAW). Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Dwisetiono, & Kurniawan, A. M. (2023). Perbandingan Hasil Pengelasan GMAW dan FCAW pada *Welding Repair Propeller* Berbahan Kuningan . JMEMME, 36-42.
- Faisal, M. (2019). Analisa *Hardenability* Dan Perubahan Struktur Mikro Baja AISI 1040, 1060 Menggunakan Metode Uji Jominy. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Handoyo, Y. (2013). Perancangan Alat Uji Impak Metode *Charpy* Kapasitas 100 Joule . Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 45 - 53.
- Haryanto, B. (2023). Analisis Pengaruh Elektroda E309-16 Pada Sambungan Bimetal Baja Carbon AISI 1045 Dan Stainless Steel 304 Dengan Menggunakan Pengelasan SMAW. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

- Haryanto, B., Tuparjono, & Dharta, Y. (2023). Analisis Pengaruh Elektroda E309-16 Pada Sambungan Baja Carbon AISI 1045 dan Stainless Steel 304 dengan Menggunakan Pengelasan SMAW . *Inovasi Teknologi Terapan*, 245 - 253.
- Khoirofik, I. (2015). Analisa Teknis Pengelasan Dissimilar Material Antara AA 6063 dan AA 5083 Ditinjau Dari Aspek Mekanik Dan Metalurgi Pada Bangun Kapal. Master Thesis.
- Kurniawan, I., Anjani, R. D., & Hanifi, R. (2022). Analisa Sambungan Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) menggunakan pengujian metalografi di PT. XYZ . *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 99-108.
- Leman, A., & Suharno. (2004). Pengaruh Kecepatan Pengelasan pada Submerged Arc Welding Baja SM 490 Terhadap Ketangguhan Beban Impak . *Jurnal Teknik Mesin*, 71-74.
- Mansyur, Usman, & Syamsuar. (2023). Analisis Hubungan Variasi Arus Terhadap Kecacatan Lasan SMAW 3G Pada Material AISI 1020 Dengan Pengujian Tidak Merusak. *Jurnal Mesin Sains Terapan*.
- Manurung, R. D., Budiarto, U., & Yudo, H. (2021). Analisa Kekuatan Tarik dan Impak Hasil Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja ASTM A36 Dengan Variasi Polaritas dan Besar Arus Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 360-368.
- Munawar, H. M., Gusniar, I. N., & Hanafi, R. (2023). Pengaruh Jenis Elektroda Las SMAW Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Micro. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 93-109.
- Mustafid, S., Hartono, P., & Robbi, N. (2011). Analisis Pengaruh Hasil Pengelasan *Bimetal* Baja S45c Dan Stainless Steels 304 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro . *Universitas Islam Malang*, 25 - 30.
- Naryono, & Suharyadi , I. (2012). Analisa Pengelasan Dingin Dengan Menggunakan Metode *High Frequency Electrical Resistance Welding* Pada Proses Pembuatan Pipa Baja STKM 13B. *Jurnal Teknik Mesin*, 12-22.

- Nasrul, L., Suryanto, H., & Qolik. (2016). Pengaruh Variasi Arus Las SMAW Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar Stainless Steel 304 Dan St 37. *Jurnal Teknik Mesin*, 1-12.
- Nasution, M., & Nasution, R. (2020). Analisis Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI1020 Terhadap Perlakuan *Carburizing* Dengan Arang Batok Kelapa. *Buletin Utama Teknik*, 165-173.
- Nugroho, A., & Setiawan, E. (2018). Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Sambungan Las Plate Carbon Steel ASTM 36 . *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 134 -142.
- Nugroho, B. (2021). Jenis Cacat Las Yang Sering Terjadi. Serang: [expertlas.com/cacat-las/](http://expertlas.com/cacat-las/).
- Pratama, M. y., Budiarto, U., & Jokosisworo, S. (2019). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 203-214.
- Pujo, I., & Sarjito. (2008). Analisis Kekuatan Sambungan Las *Smaw* ( *SHIELDED METAL ARC WELDING* ) Pada Marine Plate St 42 Akibat Faktor Cacat Porositas Dan Incomplete Penetration . Universitas Diponegoro, 102-118.
- Putra, W. T., Winangun, K., & Fadelan. (2019). Analisa Kekuatan Tarik Seng Galvanis Terhadap Beban Yang Di Berikan. *Jurnal Teknik Mesin*, 9-15.
- Rahmawati, A. I. (2023). *Welding Defect*. Logam Ceper.
- Renaldi, A., Kasir, & Faisal , R. A. (2016). Pengaruh Kekuatan Tarik Sambungan Pengelasan Dissimilar SMAW Dengan Bentuk Kampuh V Groove Variasi Arus 50 Ampere, 70 Ampere, 100 Ampere. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Rifnaldi, R., & Mulyanti. (2019). Pengaruh Perlakuan Panas Hardening Dan Tempering Terhadap Kekerasan (Hardness) Baja AISI 1045. *Jurnal Of Multidisciplinary Research and Development*, 950-959.

- Saifuddin, Jalil, A., Zulkifli, & Rahayu, T. (2017). Analisa Kekuatan Impak Pada Penyambungan Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 Dengan Variasi Arus Pengelasan. *JURNAL POLIMESIN*, 58 - 63.
- Santoso, J. (2006). Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018 .
- Sugiarto, Soenoko, R., Purnowidodo, A., & Irawan, R. S. (2016). Perubahan Laju Perambatan Retak Dissimilar Welding Akibat Penambahan Fluks Magnet . *SENIATI*, 229-235.
- Suherman, & Abdullah, I. (2020). Teknik Pengelasan (Cara Menghindari Cacat Las). Medan: UMSU Press.
- Sumarji. (2011). Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe SS 304 Dan SS 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu Dan PH. *Jurnal ROTOR*, 1-8.
- Sutowo, C., & Sanjaya, A. (2016). Pengaruh Hasil Pengelasan GTAW Dan SMAW Pada Pelat Baja SA 516 Dengan Kampuh V Tunggal. *Welding hand book*, 8-16.
- Syaripuddin, Basori , I., & Putra, Y. M. (2014). Pengaruh Jenis Kampuh Las Terhadap Kekuatan Tarik Baja Paduan Rendah (ASTM A36) Menggunakan Las SMAW . *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur* , 94-97.
- Tafrant, D., Hendradinata, Mulyadi, Sampurno, R., & Sani, A. (2022). Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1040 Sebagai Hasil Proses Quenching Menggunakan Pendingin Air Garam Dan Asap Cair. *Machinery Jurnal*, 62-68.
- Tarkono, Siaahan, G. P., & Zulhanif. (2012). Studi Penggunaan Jenis Elektroda Las Yang Berbeda Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan SMAW Baja AISI 1045 . *Jurnal Mechanical*, 51-62.

- Widodo , A., & Ilman, M. (2022). Pengaruh Frekuensi Getaran Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Pada Sambungan Las MIG Aluminium Paduan AA 6061-T6. *Rekayasa Mesin*, 171-178.
- yusuf. (2023). Pengaruh Kekuatan Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Sambungan Dissimilar Menggunakan Las GMAW Pada Baja Karbon Rendah AISI 1020 Dengan AISI 1045. Universitas Diponegoro.
- Yusuf, M., & Mahadi. (2020). Studi Perbandingan Variasi Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Baja Aisi P20 Dengan Metode Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). *Jurnal Dinamis*.