



UNIVERSITAS NEGERI PADANG

"Alam takambang jadi guru"

TUGAS AKHIR – MSN1.62.8004

ANALISIS CACAT PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI 1040

IBNU HAFIZ WARDHANA
21338069

DOSEN PEMBIMBING

ZAINALABADI, S.Pd., M.Eng

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

PADANG

2025

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Cacat Pengelasan SMAW pada Baja AISI 1040
Nama : Ibnu Hafiz Wardhana
NIM : 21338069
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, 29 Oktober 2025

Koordinator Program Studi
SI Teknik Mesin



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1976070662003121001

Dosen Pembimbing,



Zainat Abadi, S.Pd., M.Eng
NIP. 198706122019031006

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

*Dinyatakan lulus setelah mempertahankan tugas akhir di depan tim penguji
Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Padang.*

Judul : Analisis Cacat Pengelasan SMAW pada Baja AISI 1040
Nama : Ibnu Hafiz Wardhana
NIM : 21338069
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, 29 Oktober 2025

Tim Penguji

Nama

1. Ketua : Zainal Abadi, S.Pd., M.Eng.
2. Anggota : Dr. Waskito, M.T.
3. Anggota : Prof. Ir. Syahril, M.Sc., Ph.D.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa

1. Karya tulisan saya, tugas akhir dengan judul “Analisis Struktural Desain Rangka Tubular Kendaraan Off-Road Tipe Buggy terhadap Beban Benturan dan Roll Over Menggunakan Metode Elemen Hingga” adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Negeri Padang, maupun di Perguruan Tinggi Lainnya.
2. Karya tulis ini murni hasil gagasan, rumusan, dan penilaian saya sendiri, tanpa bantuan tidak sah dari pihak lain, kecuali arahan dari tim pembimbing dan penguji.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh tanpa ada paksaan dari pihak lain dan apa bila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dari tulisan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.



Padang, 29 Oktober 2025

Ibnu Hafiz Wardhana

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis mampu menyusun proposal penelitian dengan judul **“ANALISIS CACAT PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI 1040”**.

Penyusunan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan penulis pada program studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Selesaiannya Tugas Akhir ini berkat adanya dorongan dari dalam diri penulis serta pihak yang memberikan semangat, motivasi dan arahnya. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan kasih sayang, do’a, nasehat, motivasi, serta atas kesabarannya yang luar biasa dalam setiap langkah penulis, yang merupakan anugerah terbesar dalam hidup.
2. Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Yoli Fernanda, S.T., M.T, Ph.d., selaku Kepala Departemen Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Drs. Jasman, M.Kes, selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA), atas arahan dan nasihat yang diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Bapak Zainal Abadi, S.Pd., M.Eng. selaku Pembimbing Akademis, Pembimbing Tugas Akhir sekaligus Ketua Prodi S1 Teknik Mesin yang selalu mendorong dan memotivasi penulis selama pembuatan Tugas Akhir.
6. Bapak Dr. Waskito, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir.

7. Bapak Prof. Ir. Syahril, M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Dosen beserta Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
9. Dosen dan teknisi Workshop Institut Teknologi Padang yang telah memberikan izin, fasilitas, serta bantuan selama pelaksanaan pengujian penelitian penulis.
10. Rezky Saputra, yang telah membantu sebagai welder dalam pembuatan spesimen uji penelitian ini.
11. Bang Aulia Zulkarnaen Nasty, S.Pd. yang telah membantu dalam proses pengujian tugas akhir penulis.
12. Yopi Zekrri Jenizah Putra, Saepul Muzaki, Muhammad Iqbal Parezi, Ananda Jafron Rhionaldo, Fido Delfri Tamasya serta teman-teman mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, yang turut membantu dalam proses penyusunan tugas akhir penulis.

Walaupun demikian, dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari masih belum sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya masukan dan saran yang dapat membangun.

Padang, 29 Oktober 2025

Ibnu Hafiz Wardhana

NIM. 21338069

ABSTRAK

Ibnu Hafiz Wardhana, 2025. Analisis Cacat Pengelasan SMAW pada Baja AISI 1040. Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) merupakan salah satu proses penyambungan logam yang paling luas digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi karena kemudahan aplikasi serta kemampuannya menghasilkan sambungan. Cacat porositas, undercut, incomplete fusion, dan slag inclusion sering muncul akibat kurangnya konsistensi teknis dari operator dalam penyambungan sehingga dapat menurunkan kekuatan sambungan. Penelitian ini menganalisis cacat pengelasan pada baja karbon sedang AISI 1040 menggunakan metode SMAW dengan posisi pengelasan 3G dan jenis sambungan butt joint kampuh V. Evaluasi dilakukan dengan kombinasi metode Non-Destructive Test (NDT) berupa liquid penetrant test dan magnetic particle test, serta Destructive Test (DT) berupa bending test dan tensile test. Hasil pengujian menunjukkan bahwa cacat dominan yang ditemukan adalah porositas dan *slag inclusion* pada area face weld dan root weld. Pada uji tekuk, empat dari tujuh spesimen dinyatakan lulus sesuai kriteria penerimaan AWS D1.1 karena tidak ditemukan retak pada permukaan tekukan, satu dinyatakan lulus dengan cacat didalam batas toleransi, dan dua spesimen dinyatakan gagal karena melewati batas toleransi. Nilai kekuatan tarik maksimum rata-rata mencapai 416 MPa, mengindikasikan penurunan kekuatan sebesar 32,9% dibandingkan logam dasar kekuatan tarik material induk AISI 1040 tercatat sebesar 620 MPa. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa pengelasan SMAW pada baja AISI 1040 menghasilkan sambungan dengan cacat yang masih dapat diterima oleh standar AWS D1.1 dan ASME BPVC Section IX, dan kualitas sambungan dapat ditingkatkan melalui teknis pengelasan serta keterampilan operator.

Kata kunci : pengelasan SMAW, baja AISI 1040, cacat las, uji penetran, uji magnetik, uji tekuk, uji tarik

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Kajian Teori	9
1. Pengertian dan Prinsip Dasar Pengelasan	9
2. Jenis Sambungan <i>Butt Joint</i> Kampuh V.....	12
3. Karakteristik Baja AISI 1040.....	13
4. Jenis Cacat pada Pengelasan dan Dampaknya	17
5. Tegangan Sisa dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan	21
7. <i>Non-Destructive Testing</i> (NDT)	23
8. <i>Destructive Testing</i> (DT).....	30
B. Penelitian Relevan.....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	39
A. Jenis Penelitian.....	39
B. Tempat dan Waktu Penelitian	40
C. Data dan Geometri	40
1. Dimensi Spesimen Uji	41

2. Jumlah Spesimen.....	41
D. Alat dan Bahan.....	42
1. Alat.....	42
2. Bahan.....	45
E. Diagram Alir	47
F. Prosedur Penelitian.....	48
1. Penyambungan Plat.....	48
2. Uji Penetran (<i>Penetrant test</i>).....	51
3. Uji magnetik.....	53
4. Pembuatan Spesimen untuk Pengujian	58
5. Uji tekuk (<i>Bending test</i>)	60
6. Uji Tarik.....	62
G. Data dan Analisis	63
1. Bending test (Uji Tekuk).....	63
2. Tensile Test (Uji Tarik).....	65
3. Magnetic Test (Uji magnetik)	68
4. Penetrant test (Uji Penetran)	69
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	72
A. Hasil Penelitian	72
1. Data Matriks Penelitian.....	73
B. Analisis Hasil Penelitian	101
1. Analisis Cacat Las (NDT).....	102
2. Evaluasi Hasil Uji Tarik.....	103
3. Evaluasi Hasil Uji Tekuk (Bending Test)	104
4. Hubungan Antara Cacat Las dan Sifat Mekanik.....	109
5. Analisis Teknis dan Faktor Penyebab	110
6. Implikasi terhadap Kualitas Sambungan.....	111
BAB V PENUTUP.....	115
A. Kesimpulan	115
B. Saran.....	116
Daftar Pustaka	119
Lampiran	122

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Komposisi Baja AISI 1040.....	14
Tabel 2 Profil Baja AISI 1040	15
Tabel 3 Tabel parameter pengelasan <i>root Pass</i>	49
Tabel 4 Tabel Parameter <i>Filler Pass</i> dan <i>Cover Pass</i>	50
Tabel 5 Data <i>Bending Test</i>	64
Tabel 6 Tabel Uji Tarik.....	68
Tabel 7 Data Inspeksi <i>Magnetic Test</i>	69
Tabel 8 Tabel Uji Penetran	71
Tabel 9 Data Hasil Uji Penetran Sampel 1	74
Tabel 10 Data hasil Uji Penetran Sampel 2.....	77
Tabel 11 Data Hasil Inspeksi <i>Magnetic Test</i> Sampel 1	79
Tabel 12 Data Hasil Inspeksi <i>Magnetic Test</i> Sampel 2	81
Tabel 13 Data Hasil Uji Tarik	83
Tabel 14 Data <i>Bending Test</i>	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema Pengelasan <i>SMAW</i>	11
Gambar 2 Kampuh V	13
Gambar 3 Pengerjaan <i>Penetrant Testing</i>	27
Gambar 4 Skema <i>Particle Magnetic Testing</i>	29
Gambar 5 Skema <i>Bending test</i>	31
Gambar 6 Pengujian <i>Tensile Test</i>	33
Gambar 7 Dimensi Spesimen uji Tekuk	41
Gambar 8 Ketentuan dimensi standar ASTM E8	41
Gambar 9 Alat Alat Pengelasan <i>SMAW</i>	42
Gambar 10 <i>Universal Testing Machine</i>	43
Gambar 11 Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 12 pemotongan kampuh dengan menggunakan flame cutting machine	48
Gambar 13 Penguncian masing masing sisi plat	49
Gambar 14 pendinginan sampel secara perlahan	50
Gambar 15 Permukaan Sampel yang Telah Dibersihkan dengan Cairan <i>Remover</i>	51
Gambar 16 Sampel yang Telah Diberikan <i>Liquid Penetrant</i>	52
Gambar 17 Sampel yang Permukaannya Telah Dibersihkan	52
Gambar 18 Sampel yang telah diberikan cairan <i>Developer</i>	53
Gambar 19 Pembersihan sampel dari sisa developer uji penetran	54
Gambar 20 Sampel yang telah dibersihkan dengan cairan remover	54
Gambar 21 Pengaplikasian Warna Kontras pada Spesimen	55
Gambar 22 Sampel yang Telah Dilakukan Pembagian Seksi	55
Gambar 23 Pengaplikasian Partikel Magnetik pada Sampel	56
Gambar 24 Magnetisasi pada Sampel	57
Gambar 25 Indikasi Cacat yang ditemukan setelah partikel magnetik dimagnetisasi	57
Gambar 26 Rencana pemotongan Spesimen	58
Gambar 27 Sampel diratakan dengan Mesin Sekrap	58
Gambar 28 pemotongan alat uji dengan gergaji mesin.	59
Gambar 29 Proses Milling pada Spesimen Uji Tarik	59
Gambar 30 Dimensi Standar Spesimen Uji Tarik ASTM e8	60
Gambar 31 Penempatan Spesimen pada Alat Uji	60
Gambar 32 Contoh Spesimen yang Lulus Uji	61
Gambar 33 Contoh Spesimen yang Tidak Lulus Uji	61
Gambar 34 Penempatan Spesimen	62
Gambar 35 Kurva Uji Tarik	66
Gambar 36 Inspeksi uji penetran pada <i>root</i> spesimen 1	73
Gambar 37 Inspeksi uji penetran pada <i>face</i> spesimen 1	73

Gambar 38 Inspeksi uji penetran pada <i>root</i> spesimen 2.....	75
Gambar 39 Inspeksi uji penetran pada <i>face</i> spesimen 2	76
Gambar 40 Inspeksi Magnetik pada <i>root</i> spesimen 1	78
Gambar 41 Inspeksi Magnetik pada <i>face</i> spesimen 1	78
Gambar 42 Inspeksi Magnetik pada <i>Root</i> Sampel 2.....	80
Gambar 43 Inspeksi Magnetik pada <i>face</i> sampel 2.....	81
Gambar 44 Grafik Stress strain	85
Gambar 46 Grafik Stress Strain Spesimen 3.....	87
Gambar 47 Stress Strain Sampel 3.....	89
Gambar 48 Spesimen Hasil Uji Tarik	92
Gambar 49 Permukaan Spesimen <i>Face</i> 1	96
Gambar 50 Spesimen <i>Face</i> 2	97
Gambar 51 Permukaan Spesimen <i>face</i> 3.....	98
Gambar 52 Permukaan Spesimen <i>Face</i> 4	99
Gambar 53 Permukaan Spesimen <i>root</i> 1	100
Gambar 54 Permukaan Spesimen <i>root</i> 2.....	100
Gambar 55 Permukaan Spesimen <i>root</i> 3.....	101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sertifikat Mill Material.....	122
Lampiran 2 Hasil Las Sampel 1	123
Lampiran 3 Hasil Las Sampel 2	123
Lampiran 4 Dimensi Spesimen Uji Tarik.....	124
Lampiran 5 Dimensi Spesimen Uji Tekuk	124
Lampiran 6 Sampel yang Telah Dipotong Jadi Spesimen.....	125
Lampiran 7 Spesimen Uji Tarik	125
Lampiran 8 Sertifikat <i>Welding</i> dari <i>Welder</i>	126
Lampiran 9 Lembaran Konsultasi Tugas Akhir	127

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam dunia industri manufaktur dan konstruksi, Pengelasan merupakan salah satu proses esensial yang digunakan untuk menyambungkan logam, terutama baja AISI 1040. Material ini banyak digunakan karena memiliki keseimbangan antara kekuatan dan kemudahan dalam proses pembentukan. Kualitas sambungan hasil Pengelasan sangat memengaruhi kekuatan struktural suatu produk, sehingga diperlukan metode dan teknik pengelasan yang tepat serta didukung oleh profesionalitas operator yang tinggi dalam pelaksanaannya.

Salah satu metode Pengelasan yang paling umum digunakan di lapangan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Proses ini dikenal karena kemudahan aplikasinya serta efisiensi biaya operasional. Pengelasan (*Shielded Metal Arc Welding*/SMAW) adalah proses yang melelehkan dan menyambungkan logam dengan memanaskannya menggunakan busur listrik yang terbentuk antara elektroda berbentuk batang yang dilapisi logam. Proses ini sering disebut sebagai Pengelasan stik. Pemegang elektroda dihubungkan melalui kabel las ke salah satu terminal sumber daya, sedangkan benda kerja dihubungkan melalui kabel kedua ke terminal lainnya dari sumber daya tersebut. (Kou, 1972) Meskipun sederhana, keberhasilan proses ini sangat bergantung pada kemampuan operator dalam mengatur parameter pengelasan seperti arus, tegangan, kecepatan gerak elektroda, dan sudut pengelasan.

Kesalahan dalam pengaturan atau kurangnya keterampilan teknis dapat menyebabkan cacat las yang menurunkan kualitas sambungan. Dalam praktik industri, masih banyak ditemui permasalahan terkait cacat retak, porositas, *undercut*, *incomplete fusion*, maupun *slag inclusion* masih sering ditemui pada sambungan las. Cacat-cacat tersebut muncul akibat faktor teknis seperti kestabilan arus dan tegangan, jarak busur yang tidak konsisten, atau pembersihan antar-lapisan yang kurang optimal, serta faktor manusia yang berkaitan dengan profesionalitas dan kompetensi operator. Operator las yang berpengalaman mampu menjaga konsistensi hasil sambungan melalui pemahaman terhadap karakteristik material, kondisi lingkungan, dan pengaturan alat las yang tepat. Sebaliknya, rendahnya tingkat profesionalisme operator dapat menyebabkan variasi hasil sambungan yang signifikan dan meningkatkan potensi cacat yang berdampak langsung terhadap kekuatan mekanik sambungan las.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, diperlukan penelitian yang menganalisis kualitas sambungan hasil Pengelasan dengan metode SMAW pada baja AISI 1040. Evaluasi kualitas sambungan dilakukan dengan menggunakan uji non destructive (NDT) dan uji destructive (DT), guna memperoleh gambaran menyeluruh mengenai sifat dan kualitas sambungan las.

Non-Destructive Test (NDT) adalah metode pengujian material atau sambungan tanpa merusak bentuk fisik atau fungsi dari benda yang diuji. Pengujian ini digunakan untuk mendeteksi cacat, seperti retakan, pori-pori, atau

ketidaksempurnaan lain pada sambungan las, baik di permukaan maupun di bagian dalam material. Tujuan utama NDT adalah memastikan kualitas dan integritas sambungan tanpa harus menghancurkan benda kerja, sehingga sangat ideal digunakan dalam inspeksi rutin atau proses kontrol kualitas. Beberapa metode umum dalam NDT meliputi uji visual (*Visual Test*), *Penetrant test* (*Penetrant test*), uji partikel magnetik (*Magnetic Particle Test*), uji ultrasonik (*Ultrasonic Test*), dan uji radiografi (*Radiographic Test*). NDT memiliki keunggulan karena efisien, ekonomis, dan tidak membuang spesimen, namun hasil yang diperoleh bersifat tidak langsung dan membutuhkan interpretasi yang cermat. Disebut sebagai pengujian *non-destructive* karena mengevaluasi material atau komponen tanpa merusaknya. Pengujian *destructive* pada bagian-bagian tertentu dapat menjadi mahal dan mengasumsikan bahwa bagian-bagian yang tidak diuji memiliki kualitas yang sama dengan yang diuji. Pengujian *non-destructive* memberikan hasil yang tidak langsung namun tetap valid, dan sesuai definisinya, tidak merusak objek uji, sehingga objek tersebut tetap layak untuk digunakan sesuai fungsinya. (International Atomic Energy Agency, 2001)

Sementara itu, Destructive Test (DT) adalah metode pengujian yang dilakukan dengan merusak atau menghancurkan sebagian dari spesimen uji untuk mengevaluasi sifat mekanik dan struktur material secara langsung. Metode ini memberikan data yang sangat akurat dan detail terkait kekuatan tarik, ketangguhan, kekerasan, dan struktur mikro dari material atau sambungan las. Beberapa jenis pengujian *destructive* yang umum dilakukan antara lain uji

tarik, *bending test* (tekuk), uji kekerasan (seperti Vickers atau Brinell), uji impact (Charpy atau Izod), serta pengamatan mikrostruktur menggunakan mikroskop metalografi. Meskipun hasil dari DT sangat bermanfaat untuk analisa teknis yang mendalam, pengujian ini memiliki kekurangan karena menyebabkan kerusakan permanen pada benda uji dan tidak ekonomis jika dilakukan secara massal. Hal ini menyebabkan sampel-sampel tersebut rusak, sehingga tidak dapat dijual. Akibatnya, semakin banyak sampel yang diuji, semakin besar pula jumlah produk yang sebenarnya masih layak jual namun tidak dapat dikirim ke pelanggan, yang pada akhirnya menyebabkan kerugian finansial yang terus-menerus bagi para produsen.(Kim, 2024)

Kombinasi antara metode NDT dan DT menjadi langkah yang komprehensif dalam menganalisis kualitas sambungan las. NDT digunakan untuk memastikan tidak adanya cacat visual maupun internal, sementara DT memberikan informasi detail mengenai kekuatan mekanik sambungan. Melalui pendekatan gabungan ini, penelitian terhadap pengelasan baja AISI 1040 menggunakan metode SMAW diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh faktor teknis dan profesionalitas operator terhadap munculnya cacat las.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi industri dalam meningkatkan mutu sambungan las melalui penerapan teknik pengelasan yang sesuai standar serta peningkatan kompetensi dan profesionalisme operator, sehingga dapat meminimalkan risiko cacat dan memastikan keandalan struktur pada berbagai aplikasi teknik.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan utama yang muncul dalam penelitian ini. Permasalahan tersebut berkaitan dengan kualitas sambungan hasil pengelasan baja AISI 1040 menggunakan metode SMAW yang masih berpotensi mengalami berbagai jenis cacat. Adapun identifikasi masalahnya sebagai berikut:

1. Pengelasan baja AISI 1040 dengan metode SMAW berpotensi menimbulkan cacat las yang dapat memengaruhi kekuatan dan keandalan sambungan.
2. Cacat pengelasan seperti porositas, retak, undercut, incomplete fusion, dan *slag inclusion* dapat menurunkan sifat mekanik material sehingga berisiko menimbulkan kegagalan pada struktur yang dilakukan pengelasan.
3. Masih diperlukan analisis mendalam mengenai jenis-jenis cacat yang paling dominan terjadi pada pengelasan baja AISI 1040 menggunakan metode SMAW.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan dapat dilakukan secara sistematis, maka diperlukan pembatasan ruang lingkup penelitian. Batasan masalah ini bertujuan untuk memfokuskan penelitian pada aspek-aspek yang relevan dengan tujuan yang ingin dicapai, sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat dan aplikatif. Adapun batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian terbatas pada penggunaan baja AISI 1040.

2. Pelaksanaan pengelasan memakai standar AWS (*American Welding Society*).
3. Dimensi spesimen uji tarik terbatas pada standar ASTM E8
4. Penelitian terbatas pada analisa cacat pada pengelasan.
5. Hasil dari penelitian hanya terbatas dalam mencari cacat yang ditimbulkan pengelasan SMAW pada baja AISI 1040
6. Pengujian *destructive* hasil Pengelasan terbatas pada uji tekuk (*bending test*), dan uji tarik (*tensile test*)
7. Analisa uji tekuk hanya dilakukan untuk menilai kelayakan sambungan (*Pass or Fail*) sehingga pengujian tidak dilakukan sampai spesimen mengalami patah.
8. Pengujian *non destructive* hasil Pengelasan terbatas pada *Penetrant test* dan uji magnetik.
9. Penelitian terbatas pada Pengelasan posisi 3G.
10. Penyambungan Pengelasan dilakukan dengan metode butt joint.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini disusun untuk menjadi dasar arah penelitian agar lebih terfokus dan terukur. Rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Apa saja jenis cacat pengelasan yang terjadi pada baja AISI 1040 menggunakan metode SMAW?

2. Bagaimana hasil evaluasi kualitas sambungan las baja AISI 1040 berdasarkan metode Non-Destructive Test (NDT)?
3. Bagaimana sifat mekanik sambungan las baja AISI 1040 ditinjau dari hasil Destructive Test (DT)?
4. Sejauh mana pengaruh cacat pengelasan terhadap kualitas sambungan las baja AISI 1040?

E. Tujuan Penelitian

Rumusan masalah yang telah dijabarkan di atas kemudian menjadi dasar dalam penentuan tujuan penelitian. Tujuan ini menggambarkan capaian yang ingin diperoleh dari proses penelitian yang dilakukan, baik secara teoritis maupun praktis. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi jenis-jenis cacat yang terjadi pada baja AISI 1040 menggunakan metode pengelasan SMAW.
2. Mengevaluasi kualitas sambungan las baja AISI 1040 melalui metode Non-Destructive Test (NDT).
3. Menguji sifat mekanik sambungan las baja AISI 1040 menggunakan metode Destructive Test (DT).
4. Menilai pengaruh keberadaan cacat terhadap kualitas sambungan las baja AISI 1040.

F. Manfaat Penelitian

Selain memiliki tujuan akademis, penelitian ini juga diharapkan memberikan manfaat yang nyata bagi dunia industri, pendidikan, dan

pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik pengelasan. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi pengelasan, khususnya terkait analisa cacat pada baja AISI 1040 dengan metode SMAW.
2. Menjadi referensi ilmiah dalam memahami pengaruh diskontinuitas proses Pengelasan terhadap kualitas sambungan, terutama pada material baja AISI 1040.
3. Memberikan informasi yang berguna bagi praktisi industri manufaktur dan konstruksi dalam cacat pengelasan yang ditemui untuk mengetahui kualitas dan kekuatan sambungan las.
4. Memberikan rekomendasi mengenai metode evaluasi kualitas sambungan las melalui kombinasi Non-Destructive Test (NDT) dan Destructive Test (DT).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai Analisis Cacat Pengelasan SMAW pada Baja AISI 1040 dengan menggunakan uji Non-Destructive Test (NDT) dan Destructive Test (DT), dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Jenis cacat yang paling dominan ditemukan melalui pengujian *Non-Destructive Test* (NDT) berupa *Liquid Penetrant Test* dan *Magnetic Particle Test* adalah porositas dan *slag inclusion*, baik pada sisi *face weld* maupun *root weld*. Cacat tersebut muncul akibat pembersihan antar-lapisan yang kurang optimal dan ketidakstabilan arus pengelasan.
2. Hasil *Destructive Test* (DT) menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik rata-rata sambungan sebesar 416 MPa, mengalami penurunan sekitar 32,9 % dibanding kekuatan material induk (620 MPa). Kegagalan tarik umumnya terjadi pada daerah HAZ yang mengalami perubahan mikrostruktur akibat pemanasan berlebih, sehingga menjadi titik lemah sambungan.
3. Pada uji tekuk, dari tujuh spesimen yang diuji, lima spesimen dinyatakan lulus sempurna, Face 2 lulus dengan cacat minor yang masih dalam batas toleransi AWS D1.1, dan Face 1 serta Face 4 gagal karena retakan melebihi 3 mm. Cacat utama berupa *slag inclusion* dan porositas mikro terbukti menjadi titik awal retak pada pembebanan lentur.

4. Hasil uji NDT dan DT menunjukkan hubungan empiris bahwa semakin sedikit indikasi cacat pada hasil inspeksi NDT, semakin baik pula kekuatan tarik dan ketahanan lentur sambungan. Hal ini menegaskan bahwa kualitas visual sambungan berpengaruh langsung terhadap sifat mekanik hasil las.
5. Secara keseluruhan, pengelasan SMAW pada baja AISI 1040 masih memenuhi kriteria kelayakan menurut standar AWS D1.1 Clause 4.8.3.3 dan ASME Section IX QW-180, dengan sebagian cacat yang bersifat minor. Namun, sisi *face weld* memerlukan peningkatan dalam kontrol parameter dan teknik pembersihan antar-pass agar kualitasnya setara dengan hasil pada sisi root.
6. Penelitian ini membuktikan bahwa faktor manusia (*human factor*), seperti keterampilan pengelas, kestabilan arus, serta kontrol *heat input*, memiliki pengaruh paling besar terhadap munculnya cacat las dan penurunan kekuatan mekanik sambungan, sebagaimana juga dijelaskan oleh (Assagaf et al., 2023) dalam kajiannya menggunakan metode *Fault Tree Analysis*.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, berikut adalah saran-saran yang dapat diberikan untuk perbaikan proses pengelasan dan penelitian selanjutnya:

1. Sangat disarankan bagi *welder* untuk lebih memperhatikan waktu pendinginan (*interpass cooling time*) sebelum melanjutkan pengelasan dari *root pass* ke *filler pass* dan ke *capping pass*. Peningkatan temperatur antar-lapisan yang berlebihan dapat memperlambat laju pendinginan, yang

berisiko memperburuk struktur mikro di HAZ dan mengurangi sifat mekanik sambungan.

2. *Welder* tidak seharusnya meletak panas secara berlebih (*excessive heat input*) pada material yang sedang dilas. Panas berlebih tidak hanya memengaruhi sifat mekanik, tetapi juga menjadi penyebab utama deformasi (distorsi) pada benda kerja, yang memerlukan proses *straightening* tambahan dan meningkatkan biaya produksi. Pengendalian *heat input* dapat dilakukan dengan mengatur kombinasi arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan secara konsisten.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi dan mengimplementasikan Prosedur Pengelasan yang optimal, khususnya dalam hal arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan, untuk meminimalkan pembentukan cacat internal seperti *slag inclusion* dan *incomplete fusion*.
4. Peningkatan pelatihan bagi *welder* untuk memastikan teknik pengelasan yang benar, termasuk sudut elektroda, panjang busur, dan terutama prosedur pembersihan *slag* yang menyeluruh pada setiap *pass* untuk mencegah *slag inclusion*.
5. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menambahkan Uji Kekerasan (*Hardness Test*) dan Analisis Mikrostruktur untuk mengkorelasikan secara mendalam perubahan metalurgi (seperti pembentukan martensite atau ferrite-pearlite yang tidak diinginkan di HAZ) dengan penurunan sifat mekanik yang terdeteksi pada uji tarik dan tekuk.

6. Penelitian selanjutnya dapat diperluas dengan membandingkan hasil pengelasan baja AISI 1040 dengan jenis baja karbon menengah lainnya, atau dengan menggunakan variasi *preheat* dan *post-weld heat treatment* (PWHT) untuk menguji efektivitasnya dalam mengendalikan tegangan sisa dan meningkatkan keuletan sambungan

Daftar Pustaka

- American Welding Society. (1998). *Welding Handbook, Volume 1: Welding Technology* (8th ed.). American Welding Society.
- American Welding Society. (2000). *AWS D1.1: Structural Welding Code—Steel* (17th ed., Vol. 12, Issue 3). American Welding Society.
- Andreas, A. O. (2022). Analisa Pengaruh Media Pendingin pada Perlakuan Panas Terhadap Kekuatan Tarik Baja Aisi 104. *Piston*, 6(02), 72–80.
- Assagaf, I. P. A., Ariyanto, Nurhidayat, Ilmal Yaqin, R., & Prasetyo, A. B. (2023). Analisa Hasil Pengelasan Pada Posisi 1G Baja St37 Dengan Metode Fault Tree Analysis. *Steam Engineering*, 5(1), 44–52.
<https://doi.org/10.37304/jptm.v5i1.10857>
- ASTM E8. (2010). ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1. *Annual Book of ASTM Standards 4, C*, 1–27.
<https://doi.org/10.1520/E0008>
- Christian, M., Reinhardt, H.-W., & Dobmann, G. (2010). Non-Destructive Evaluation of Reinforced Concrete Structures: Non-Destructive Testing Methods. In *Woodhead Publishing Limited*.
<https://doi.org/10.1533/9781845699604.2.185>
- Gnirss, G. (1990). Vibration and vibratory stress relief . Historical development , theory and practical application. *Indian Welding Journal*, 3–14.
- Hargiyarto, P., Marwanto, A., & Djatmiko, R. D. (2015). Analisis Kesalahan Esensial Hasil Pengelasan Peserta Lomba Kompetensi Siswa SMK Tingkat Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 22(3), 350. <https://doi.org/10.21831/jptk.v22i3.6841>
- Hertzberg, R. W., Vinci, R. P., & Hertzberg, J. L. (2020). *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials* (6th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- International Atomic Energy Agency. (2000). Liquid Penetrant and Magnetic Particle Testing at Level 2. In *International Atomic Energy Agency* (Issue 11). International Atomic Energy Agency.
https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:31018313
- International Atomic Energy Agency. (2001). Guidebook for the Fabrication of Non-Destructive Testing (NDT) Test Specimens. In *Iaea-Tecdok-Tcs-13* (Issue 13).
- Jose, M. J., Kumar, S. S., & Sharma, A. (2020). Vibration assisted welding (VAW) and their influence on quality of welds. *Indian Institute of Technology Hyderabad*.
- Kim, B. W. (2024). *From Destructive to Non-Destructive : Transforming Bond*

Pull Test in Wire Bonding Using Machine Learning. 7, 50.

- Korol, C. (2013). *Arc Welding Reference* (Vol. 2). Saskatchewan 4-H.
<http://www.worldbank.org/en/topic/publicprivatepartnerships/publication/the-ppp-reference-guide-version-20>
- Kou, S. (1972). Welding Metallurgy. In *A Wiley-Interscience publication* (Vol. 4, Issue 3). <https://doi.org/10.22486/iwj.v4i3.150243>
- Kusuma, R. C., Jokosisworo, S., & Budi, A. W. (2017). Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, Tekuk Dan Mikrografi Aluminium 5083 Pasca Pengelasan Tig (Tungsten Inert Gas) Dengan Media Pendingin Air Laut Dan Oli. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(4), 585–593.
<http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Lashchenko, G. I. (2016). Technological capabilities of vibration treatment of welded structures (Review). *Paton Welding Journal*, 4, 40–47.
- Majumdar, J. D. (1970). Underwater Welding - Present Status and Future Scope. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, 3(1), 38–47.
<https://doi.org/10.3329/jname.v3i1.927>
- Nafrizal, Tarkono, & Sugiyanto. (2011). Analisis Uji Destructive Dan Non Destructive Terhadap Hasil Sambungan Las V-Tunggal Baja AISI 1045. *Jurnal Mechanical*, 2(2), 66–67.
- Nagler, J. (2019). *Failure Mechanics of Multi Materials Laminated Systems Review Analysis - Based Project Section 1 : Major Concept Section 2 : Monolithic Material Vs . Composite Laminated Material Systems*. February.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15062.91200>
- Panggaben, C. W., Budiarto, U., & Santosa, A. W. (2021). Pengaruh Variasi Arus Dan Polaritas Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Kekerasan Hasil Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja SS 400. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(4), 350–359. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Prakash, D. B., Krishnaiah, G., & Shankar, N. V. S. (2016). Optimization of process parameters using taguchi techniques when turning aisi 1040 steel with coated tools. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7(6), 114–122.
- Rahmatika, A., Sutarto, E., & Arifin, A. C. (2021). Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)*, 3(1), 24–30. <https://doi.org/10.36870/jvti.v3i1.218>
- Samnur, & Anwar, B. (2022). *Pengujian Bahan Teknik.pdf*. Deepublish Publisher.
- Silvestre, A. M. S. (2019). *IoT ready eddy current testing structural health monitor*.
- Sukarno, Halim Asiri, M., & Mardin. (2022). Analisis Kekuatan Tarik dan

Bending Dari Beberapa Jenis Kampuh V,X,I pada Pengelasan SMAW terhadap Baja Karbon Medium. *Journal of Technology Process*, 2(01), 22–32.

The American Society of Mechanical Engineers. (2025). ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section IX – Welding, Brazing, and Fusing Qualifications. *The Secret Doctrine*, 91–97.
<https://doi.org/10.1017/cbo9780511978371.011>

Toro, S. A., Aranda, P. M., García-Herrera, C. M., & Celentano, D. J. (2019). Analysis of the elastoplastic response in the torsion test applied to a cylindrical sample. *Materials*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/ma12193200>

Wisnujati, A., & Andryansyah, J. (2021). Analysis Of Mechanical Properties SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Welding Joints Of Portable Electric Hydraulic Jack Frame. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 7(2), 155–159.
<https://doi.org/10.31963/intek.v7i2.2134>

Yunianto, B., Wicaksana, P., Sudharto, J., UNDIP Tembalang, K., & Tengah, J. (2023). Analisis Cacat Hasil Pengelasan Pada Pipa ASTM A106 Grade B Menggunakan Magnetic Particle Test dan Liquid Penetrant Test di Workshop Las dan Inspeksi PPSDM Migas Cepu. *Rotasi*, 25(2), 54–60.