

TUGAS AKHIR

**ANALISIS CACAT SAMBUNGAN *BUTT JOINT* PIPA *CARBON*
STEEL A106 AKIBAT VARIASI ARUS PENGELASAN 2G
SMAW MENGGUNAKAN METODE NDT PAUT**



Masrohan

22DK50019

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA AL GHAZALI

CILACAP

2026

PERNYATAAN ORISINILITAS TUGAS AKHIR

PERNYATAAN ORISINILITAS TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Masrohan
NIM : 22DK50019
Fakultas/Prodi : Fakultas Teknologi Industri/Teknik Mesin
Tahun : 2026
Judul Tugas Akhir : Analisis Cacat Sambungan *Butt Joint* Pipa *Carbon Steel* A106 Akibat Variasi Arus Pengelasan 2G SMAW Menggunakan Metode NDT PAUT

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini benar-benar orisinal/asli dibuat oleh saya sendiri, tidak ada pihak lain yang membuat laporan ini, tidak ada unsur plagiat kecuali pada bagian-bagian yang disebutkan rujukannya. Jika suatu hari ditemukan adanya indikasi dibuat oleh pihak lain atau plagiat, maka saya bersedia menerima konsekuensi dari institusi.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran tanpa ada paksaan.

Cilacap, 30 Maret 2026

Yang Menyatakan

A handwritten signature in black ink is written over a yellow 10,000 Rupiah stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'Rp 10.000', and 'METERAI TEMPEL'. The serial number '61841ANX301777896' is visible at the bottom of the stamp.

Masrohan

NIM. 22DK50019

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Sebagai Civitas Akademik Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA)

Cilacap, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Masrohan
NIM : 22DK50019
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas Tugas Akhir saya yang berjudul: “Analisis Cacat Sambungan *Butt Joint* Pipa *Carbon Steel* A106 Akibat Variasi Arus Pengelasan 2G SMAW Menggunakan Metode NDT PAUT” beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Adanya Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada unsur paksa dari pihak lain.

Cilacap, 30 Maret 2026

Yang Menyatakan

 **Masrohan**

NIM. 22DK50019

NOTA PEMBIMBING

NOTA PEMBIMBING

Hal : Naskah Laporan Tugas Akhir Masrohan
Lamp : -

Kepada Yth.
Dekan Fakultas Teknologi Industri
UNUGHA Cilacap
Di –
Cilacap

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Setelah membaca, mengkoreksi dan mengadakan perbaikan seperlunya, maka pembimbing berpendapat bahwa Laporan Tugas Akhir saudara:

Nama : Masrohan
NIM : 22DK50019
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisis Cacat Sambungan *Butt Joint* Pipa *Carbon Steel* A106 Akibat Variasi Arus Pengelasan 2G SMAW Menggunakan Metode NDT PAUT

Telah dapat diajukan kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Strata Satu (S-1) Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri pada Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Cilacap, 12 Maret 2026
Pembimbing,



Frida Amriyati Azzizzah, S.Pd., M.Pd
NIDN. 0607049101

NOTA KONSULTAN

NOTA KONSULTAN

Hal : Naskah Laporan Tugas Akhir Masrohan
Lamp : -

Kepada Yth.
Dekan Fakultas Teknologi Industri
UNUGHA Cilacap
Di –
Cilacap

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Setelah membaca, mengkoreksi dan mengadakan perbaikan seperlunya, maka konsultan berpendapat bahwa Laporan Tugas Akhir saudara:

Nama : Masrohan
NIM : 22DK50019
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisis Cacat Sambungan *Butt Joint* Pipa *Carbon Steel* A106 Akibat Variasi Arus Pengelasan 2G SMAW Menggunakan Metode NDT PAUT

Telah dapat diajukan kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Strata Satu (S-1) Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri pada Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Cilacap, /2. Maret 2026
Konsultan,



Christian Soolany, S.TP., M.Si.
NIDN. 0627128801

PENGESAHAN

PENGESAHAN

Tugas Akhir Saudara,

Nama : **Masrohan**
NIM : 22DK50019
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisis Cacat Sambungan *Butt Joint* Pipa *Carbon Steel* A106 Akibat Variasi Arus Pengelasan 2G SMAW Menggunakan Metode NDT PAUT

Telah disidang Tugas Akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Teknologi Industri Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap pada :

Rabu, 11 Maret 2026

Dan dapat diterima sebagai pemenuhan tugas akhir mahasiswa Program Strata 1 (S-1) Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri pada Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap.

Mengetahui,

Penguji 1



Christian Soolany, S.TP., M.Si.
NIDN. 0627128801

Penguji 2



Dhimas Oki Permata Aji, S.Pd., M.Pd
NIDN. 0612109001

Pembimbing 1/Ketua Sidang



Frida Amriyati Azzizzah, S.Pd., M.Pd
NIDN. 0607049101

Pembimbing 2/Sekretaris Sidang



Dr. Rina Krisnayana, M.T
NIDN. 0603048301

Cilacap, 12 Maret 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknologi Industri



Christian Soolany, S.TP., M.Si.
NIDN. 0627128801

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan kemudahan yang diberikan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Perjalanan menyusun penelitian ini tidaklah ringan, namun justru di setiap lelah itulah saya menemukan makna yang jauh lebih besar dari sekadar gelar. Terima kasih kepada: Allah SWT; Bapak Dr. A. Luthfi Hamidi, M.Ag. selaku Rektor Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Cilacap; Bapak Christian Soolany, S.TP, M.Si selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri dan Penguji I; Ibu Frida Amriyati Azzizzah, M.Pd selaku Sekretaris Fakultas Teknologi Industri dan Pembimbing I; Bapak Dhimas Oki Permata Aji, M.Pd selaku Kaprodi Teknik Mesin dan Penguji II; Ibu Dr Rina Krisnayana, S.T, M.T selaku Pembimbing II; Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Mesin FTI UNUGHA Cilacap; serta pihak PT. SLV Metropolitan Indonesia atas ilmu dan kesempatan yang diberikan.

Namun ada dua sosok yang tidak cukup jika hanya disebutkan dalam daftar ucapan terima kasih biasa. Kepada istriku tersayang, terima kasih telah menjadi rumah yang selalu hangat ketika pikiran ini penat dan semangat ini hampir padam, diam-diammu menjaga, doamu yang tak pernah absen, dan senyummu yang selalu jadi alasan untuk bangkit kembali. Dan kepada anakku, buah hati yang menjadi cahaya, kelak ketika kamu tumbuh besar dan membaca ini, Ayah ingin kamu tahu bahwa setiap halaman dalam tulisan ini Ayah susun dengan harapan agar bisa menjadi kebanggaan bagimu. Tugas Akhir ini Ayah persembahkan untuk kalian berdua.

Cilacap, 30 Maret 2026

Penulis

ABSTRAK

Sistem perpipaan bertekanan tinggi pada industri minyak dan gas menuntut kualitas sambungan las yang optimal. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan SMAW (70A–130A) terhadap jenis, ukuran, dan distribusi cacat internal pada sambungan *butt joint* pipa ASTM A106 Grade B posisi 2G menggunakan elektroda BOHLER E7018-H4R. Inspeksi dilakukan dengan *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) sesuai standar ASME Section V dan dievaluasi berdasarkan ASME B31.3. Hasil menunjukkan bahwa arus rendah (V1) menghasilkan 15 indikasi dengan dominasi cacat *Planar (lack of fusion, incomplete penetration)* dan *rejection rate* 46,7%, sedangkan arus tinggi (V3) menghasilkan 11 indikasi didominasi cacat *Volumetric (porosity cluster)* dengan *rejection rate* 54,5%. Arus menengah (V2) menghasilkan indikasi paling sedikit (9 indikasi) dengan *rejection rate* 0%. Rentang arus optimal yang direkomendasikan adalah *root* 85A, *hot pass* 100A, *filler* 120A, dan *capping* 110A, dengan *heat input* berkisar 1,05–2 kJ/mm.

Keyword: ASTM A106, *Butt Joint*, Cacat Las, *Multi-Pass Welding*, *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT), SMAW, Variasi Arus.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINILITAS TUGAS AKHIR.....	I
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	II
NOTA PEMBIMBING	III
NOTA KONSULTAN	IV
PENGESAHAN	V
KATA PENGANTAR	VI
ABSTRAK	VII
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR TABEL.....	X
DAFTAR GAMBAR	XI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Ruang Lingkup.....	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
A. Bagi Industri.....	8
B. Bagi Masyarakat.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Pengelasan.....	9
2.2 <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW)	9
2.3 Posisi Pengelasan Pipa 2G	10
2.4 Material <i>Carbon Steel</i> ASTM A106	11
2.5 Sambungan Las <i>Butt Joint</i> pada Pipa.....	12
2.6 Parameter Pengelasan.....	13
2.7 <i>Multi-Pass Welding</i> (<i>Multilayer Welding</i>)	14
2.8 <i>Heat Input</i> pada Proses Pengelasan.....	14
2.9 <i>Discontinuity</i> dan Cacat Pengelasan	15
2.10 <i>Non-Destructive Testing</i> (NDT).....	15

2.11 <i>Phased Array Ultrasonic Testing</i> (PAUT).....	16
2.12 Penelitian Terdahulu	18
2.13 Kerangka Pemikiran Penelitian.....	28
2.14 Hipotesis Penelitian.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Metode Penelitian.....	32
3.2 Instrumen Penelitian.....	33
3.3 Tahapan Prosedur Penelitian.....	34
3.4 Variabel Penelitian	36
3.5 Analisis Data	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Pembuatan <i>Spesimen</i>	40
4.2 Hasil Persiapan Elektroda	41
4.3 Hasil Proses Pengelasan.....	42
4.4 Hasil Inspeksi PAUT.....	45
4.5 Rekapitulasi Seluruh Indikasi Cacat	54
4.6 Analisis Pengaruh Variasi Arus terhadap Jenis Cacat	55
4.7 Analisis Karakteristik dan Distribusi Cacat	58
4.8 Analisis Korelasi Arus, <i>Heat Input</i> dan Cacat	64
4.9 Penentuan Arus Optimal per Lapisan	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Chemical Requirements</i> ASTM A106 Grade B	11
Tabel 2. 2 <i>Literatur Review</i>	18
Tabel 2. 3 Kerangka Berfikir	28
Tabel 3. 1 Instrumen Penelitian	33
Tabel 3. 2 Parameter Pengelasan Masing-Masing Variasi.....	35
Tabel 3. 3 Variabel Penelitian.....	36
Tabel 3. 4 Metode Analisis Data.....	37
Tabel 4. 1 Kondisi Aktual Pengelasan Variasi 1 (Arus Rendah).....	42
Tabel 4. 2 Kondisi Aktual Pengelasan Variasi 2 (Arus Sedang)	43
Tabel 4. 3 Kondisi Aktual Pengelasan Variasi 3 (Arus Tinggi)	43
Tabel 4. 4 Rekapitulasi <i>Heat Input</i> Seluruh Variasi Pengelasan	44
Tabel 4. 5 Hasil Inspeksi PAUT <i>Spesimen</i> Variasi 1 (Arus Rendah).....	47
Tabel 4. 6 Hasil Inspeksi PAUT <i>Spesimen</i> Variasi 2 (Arus Menengah)	50
Tabel 4. 7 Hasil Inspeksi PAUT <i>Spesimen</i> Variasi 3 (Arus Tinggi).....	53
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Total Indikasi Cacat Seluruh <i>Spesimen</i>	54
Tabel 4. 9 Distribusi Indikasi Cacat Berdasarkan Lapisan Pengelasan	57
Tabel 4. 10 Distribusi Indikasi Cacat Berdasarkan Kuadran Posisi 2G.....	61
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Ukuran Cacat Seluruh Variasi.....	62
Tabel 4. 12 Evaluasi <i>Acceptance Criteria</i> ASME B31.3.....	63
Tabel 4. 13 Korelasi Arus Pengelasan vs Total Indikasi dan Mekanisme Pembentukan Cacat.....	65
Tabel 4. 14 Korelasi <i>Heat Input</i> per Lapisan vs Jenis Cacat Dominan.....	67
Tabel 4. 15 Ringkasan Parameter Arus Optimal per Lapisan.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengelasan.....	9
Gambar 2. 2 Ilustrasi Pengelasan Pipa 2G	10
Gambar 2. 3 Sambungan <i>Butt Joint</i>	12
Gambar 2. 4 <i>Multi-Pass Welding</i>	14
Gambar 2. 5 Cacat Pengelasan.....	15
Gambar 4. 1 Material Pipa <i>Carbon Steel</i> ASTM A106 Grade B	40
Gambar 4. 2 Ketebalan Material Pipa <i>Carbon Steel</i> ASTM A106 Grade B	40
Gambar 4. 3 Pengukuran Sudut Kampuh.....	41
Gambar 4. 4 Membuat Sambungan <i>Butt Joint</i>	41
Gambar 4. 5 Penyimpanan dan Proses <i>Rebaking</i> Elektroda	41
Gambar 4. 6 PAUT V1 - <i>Spesimen 1</i>	46
Gambar 4. 7 PAUT V1 - <i>Spesimen 2</i>	47
Gambar 4. 8 PAUT V1 - <i>Spesimen 3</i>	47
Gambar 4. 9 PAUT V2 - <i>Spesimen 1</i>	49
Gambar 4. 10 PAUT V2 - <i>Spesimen 2</i>	50
Gambar 4. 11 PAUT V2 - <i>Spesimen 3</i>	50
Gambar 4. 12 PAUT V3 - <i>Spesimen 1</i>	52
Gambar 4. 13 PAUT V3 - <i>Spesimen 2</i>	52
Gambar 4. 14 PAUT V3 - <i>Spesimen 3</i>	52
Gambar 4. 15 Cacat Berdasarkan Kuadran Posisi 2G.....	59