

SKRIPSI

**PENGARUH MEDIA PENDINGIN DAN POSISI
PENGELASAN TERHADAP KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN BAJA A36
DENGAN PROSES SMAW**



Oleh :
FERDIAN WISAM PRAYOGA
NPM. 21036010020

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
2026**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH MEDIA PENDINGIN DAN POSISI PENGELASAN TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN BAJA A36 DENGAN
PROSES SMAW**

Disusun oleh:

FERDIAN WISAM PRAYOGA

NPM. 21036010020

Telah diuji, dipertahankan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Program Studi
Teknik Mesin Fakultas Teknik & Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Pada Hari Senin, 23 Februari 2026

Dosen Penguji 1



Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.

NIP. 199404282022032011

Pembimbing



Dr. Wahyu Dwj Lestari, S.Pd., MT.

NIP. 199101142025062005

Dosen Penguji 2



Ahmad Khairul Faizin, S.T., M.Sc.

NIP. 199301202024061001

Koordinator Program Studi Teknik Mesin



Dr. T. Ir. Luluk Edahwati, MT.

NIP. 196406111992032001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik & Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur



Prof. Dr. Dra. Jarivah, M.P.

NIP. 196504031991032001



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA
TIMURFAKULTAS TEKNIK DAN SAINS**

KETERANGAN REVISI

Mahasiswa di bawah ini:

Nama : Ferdian Wisam Prayoga

NPM : 21036010020

Program Studi : ~~Teknik Kimia / Teknik Industri / Teknologi Pangan /~~

~~Teknik Lingkungan / Teknik Sipil / Teknik Mesin~~

Telah mengerjakan revisi / ~~tidak ada revisi *~~) ~~PRA-RENCANA (DESAIN) / SEMINAR
PROPOSAL / SKRIPSI / TUGASAKHIR~~ Ujian Lisan Periode I, TA . 2025/2026.

Dengan judul : PENGARUH MEDIA PENDINGIN DAN POSISI PENGELASAN
TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN
BAJA A36 DENGAN PROSES SMAW

Dosen Penguji yang memerintahkan revisi

1. Ahmad Khairul Faizin, S.T., M.Sc.

2. Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.

Surabaya, 24 Februari 2026

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd., MT.
NIP. 199101142025062005

Catatan: *) coret yang tidak perlu

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ferdian Wisam Prayoga
NPM : 21036010020
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik & Sains

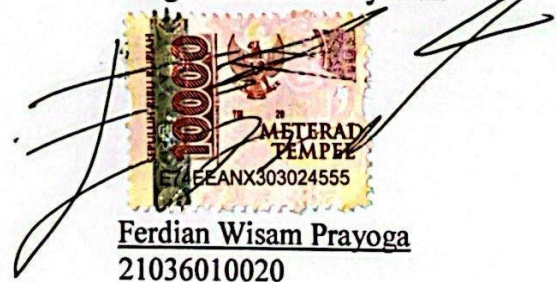
Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 25 Februari 2025 .

Yang Membuat Pernyataan



Ferdian Wisam Prayoga
21036010020

KATA PENGANTAR

Segala puji kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang diberikan, sehingga skripsi ini bisa terselesaikan dengan baik. Dalam penyusunan Skripsi ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini. Adapun pihak-pihak tersebut antara lain:

1. **Ibu Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.** selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. **Ibu Dr. Ir. Luluk Edahwati, M.T.** selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. **Ibu Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd., M.T.** yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
4. **Ibu Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.** dan **Bapak Ahmad Khairul Faizin, S.T., M.Sc.** selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan koreksi dalam penulisan dan pengerjaan Tugas Akhir.
5. **Kepada Mama dan Ayah** yang telah memberikan arahan hidup yang sangat berharga serta menjadi sumber inspirasi bagi penulis untuk bekerja keras dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. **Kepada semua pihak** yang tidak sempat penulis tuliskan satu persatu dan telah memberikan kontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian studi, penulis mengucapkan banyak terimakasih atas bantuannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Akhir kata, penulis berharap segala jerih payah dalam penyusunan skripsi ini mendapatkan berkah dan ridho dari Tuhan Yang Maha Esa.

Surabaya, 23 Februari 2026

Penulis

Ferdian Wisam Prayoga

NPM. 21036010020

ABSTRAK

Distribusi kekerasan yang tidak seragam antar zona pengelasan akibat variasi posisi pengelasan dan media pendingin merupakan isu kritis yang mempengaruhi integritas sambungan las baja struktural dalam aplikasi industri. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kombinasi posisi pengelasan (1G, 2G, 3G) dan media pendingin (udara, air, semen abu) terhadap kekerasan dan struktur mikro sambungan las baja ASTM A36 dengan proses *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Sebanyak 27 spesimen dilas menggunakan elektroda E7016 diameter 2,6 mm dengan arus 80 A. Pengujian kekerasan Brinell dilakukan pada 243 titik pengukuran meliputi zona *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM), sedangkan analisis struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan analisis kuantitatif proporsi fasa ferit-perlit menggunakan *software* ImageJ sesuai ASTM E1245. Hasil ANOVA *three-way* menunjukkan zona pengelasan merupakan faktor paling dominan (83,52%), diikuti media pendingin (9,56%), dan posisi pengelasan (0,24%). Media pendingin air menghasilkan rasio WM/BM tertinggi (1,47–1,50) yang melampaui batas rekomendasi industri, mengindikasikan ketidakhomogenan distribusi kekerasan antar zona yang berpotensi menjadi titik konsentrasi tegangan pada pembebanan dinamis. Sebaliknya, kombinasi posisi 1G atau 2G dengan media pendingin udara menghasilkan rasio WM/BM sebesar 1,27–1,32 dengan gradien kekerasan antar zona paling kecil, mencerminkan distribusi sifat mekanik yang lebih homogen. Berdasarkan kriteria homogenitas distribusi kekerasan sebagai indikator kualitas sambungan las di industri, kombinasi 1G atau 2G dengan media pendingin udara merupakan pilihan yang paling direkomendasikan untuk aplikasi struktural umum.

Kata kunci: SMAW, Baja A36, Media Pendingin, Posisi Pengelasan, Kekerasan, Struktur Mikro

ABSTRACT

Non-uniform hardness distribution across welding zones due to variations in welding position and cooling media is a critical issue affecting the structural integrity of welded joints in industrial applications. This study aims to analyze the effect of welding position combinations (1G, 2G, 3G) and cooling media (air, water, cement ash) on the hardness and microstructure of ASTM A36 steel welded joints using the *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) process. A total of 27 specimens were welded using E7016 electrodes with 2.6 mm diameter at 80 A current. Brinell hardness testing was conducted on 243 measurement points covering the *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), and *Base Metal* (BM) zones, while microstructural analysis was performed using optical microscopy with quantitative analysis of ferrite-pearlite phase proportions using ImageJ *software* according to ASTM E1245. *Three-way* ANOVA results indicate that the welding zone is the most dominant factor (83.52%), followed by cooling media (9.56%), and welding position (0.24%). Water cooling media produced the highest WM/BM ratio (1.47–1.50), exceeding the recommended industry threshold, indicating non-uniform hardness distribution across zones that may act as stress concentration points under dynamic loading. In contrast, the combination of 1G or 2G position with air cooling produced a WM/BM ratio of 1.27–1.32 with the smallest hardness gradient across zones, reflecting a more homogeneous mechanical property distribution. Based on the criterion of hardness distribution homogeneity as an indicator of weld joint quality in industrial applications, the combination of 1G or 2G position with air cooling is the most recommended for general structural applications.

Keywords: SMAW, ASTM A36 Steel, Cooling Media, Welding Position, Hardness, Microstructure

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
LEMBAR BEBAS REVISI.....	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian terdahulu	6
2.2 Baja A36	7
2.2.1 Komposisi kimia dan Sifat Mekanik Baja A36	8
2.2.2 Sifat Mekanik Baja A36	9
2.3 Proses Pengelasan SMAW	10
2.3.1 Prinsip Dasar SMAW	10
2.3.2 Parameter Pengelasan SMAW.....	11
2.3.3 Zona Pengelasan	12

2.3.4 Jenis Kampuh Las yang Digunakan dalam Penelitian	13
2.4 Posisi Pengelasan.....	13
2.5 Media Pendingin dan Laju Pendinginan.....	15
2.6 Transformasi Fasa dan Struktur Mikro Baja	17
2.6.1 Diagram Fasa Besi-Sementit (Fe-Fe ₃ C)	17
2.6.2 Diagram Transformasi Isotermal (TTT).....	18
2.6.3 Diagram Transformasi Pendinginan Kontinu (CCT)	19
2.6.4 Struktur Mikro	21
2.7 Pengolahan Citra Digital untuk Analisis Struktur Mikro (<i>Image Processing</i>).....	23
2.8 Uji Kekerasan	23
2.9 Analisis Kesalahan Data Pengukuran (<i>Error Analysis</i>)	25
2.10 Hipotesis Penelitian	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Lokasi Penelitian	27
3.2 Diagram Alir.....	27
3.3 Variabel Penelitian	28
3.3.1 Variabel Bebas.....	28
3.3.2 Variabel Terikat.....	29
3.3.3 Variabel Kontrol	29
3.4 Perancangan Percobaan (<i>Design of experiment</i>)	30
3.5 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.5.1 Alat	32
3.5.2 Bahan	33
3.6 Preparasi Spesimen dan Proses Pengelasan.....	34
3.6.1 Preparasi Spesimen.....	34
3.6.2 Proses Pengelasan SMAW	34
3.6.3 Aplikasi Media Pendingin	35

3.6.4 Inspeksi Visual	35
3.7 Prosedur Pengujian	36
3.7.1 Testing Alat dan Kalibrasi	36
3.7.2 Uji Kekerasan	37
3.7.3 Struktur Mikro	38
3.8 Analisis Data.....	39
3.8.1 Analisis Data Kekerasan.....	39
3.8.2 Analisis Struktur Mikro	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Analisis Kekerasan Sambungan Las.....	41
4.1.1 Distribusi Kekerasan Variasi Media Pendingin pada Posisi Pengelasan 1G.....	41
4.1.2 Distribusi Kekerasan Variasi Media Pendingin pada Posisi Pengelasan 2G.....	43
4.1.3 Distribusi Kekerasan Variasi Media Pendingin pada Posisi Pengelasan 3G.....	45
4.1.4 Analisis Statistik ANOVA <i>Three-Way</i>	46
4.1.5 Analisis Interaction Plot	49
4.2 Analisis Struktur Mikro Metalografi	50
4.2.1 Struktur Mikro Posisi 1G dengan Media Pendingin Air	51
4.2.2 Struktur Mikro Posisi 2G dengan Media Pendingin Air	52
4.2.3 Struktur Mikro Posisi 3G dengan Media Pendingin Air	53
4.3 Analisis Kombinasi Posisi Pengelasan dan Media Pendingin Terbaik	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Prinsip Kerja Pengelasan SMAW	11
Gambar 2.2 Skema Zona Pengelasan	12
Gambar 2.3 Kampuh V	13
Gambar 2.4 Berbagai Posisi Pengelasan Standar AWS.....	15
Gambar 2.5 Diagram Fasa Fe Fe ₃ C	18
Gambar 2.6 Diagram TTT	19
Gambar 2.7 Diagram CCT.....	21
Gambar 2.8 Struktur Mikro pada baja karbon rendah	22
Gambar 2.9 Skema Pengujian Brinell	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Gambar Dimensi Setelah Pengelasan	35
Gambar 3.3 Skema Identasi Brinell.....	37
Gambar 4.1 Nilai HBN Media Pendingin pada Posisi 1G	42
Gambar 4.2 Nilai HBN Media Pendingin pada Posisi 2G	44
Gambar 4.3 Nilai HBN Media Pendingin pada Posisi 3G	45
Gambar 4.4 Interaction Plot for HBN	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu terkait Pengaruh Posisi Pengelasan dan Media Pendingin..	6
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja A36.....	8
Tabel 3.1 Rancangan Experimen Penelitian.....	31
Tabel 3.2 Alat Penelitian	32
Tabel 3.3 Bahan Penelitian.....	33
Tabel 4.1 Hasil ANOVA Uji Kekerasan	47
Tabel 4.2 Proporsi Fasa Posisi 1G dengan Media Pendingin Air	51
Tabel 4.3 Proporsi Fasa Posisi 2G dengan Media Pendingin Air	52
Tabel 4.4 Proporsi Fasa Posisi 3G dengan Media Pendingin Air	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Sheet Material Baja A36	63
Lampiran 2 Spesifikasi Alat	64
Lampiran 3 Perhitungan Kalibrasi Alat.....	67
Lampiran 4 Proses Preparasi dan Pengelasan Spesimen	68
Lampiran 5 Proses Pengujian Kekerasan dan Metalografi.....	71
Lampiran 6 Nilai HB Test	75
Lampiran 7 Hasil Struktur Mikro Variasi Media Pendingin	78
Lampiran 8 Hasil Threshhold Struktur Mikro Variasi Media Pendingin	81
Lampiran 9 Biodata Mahasiswa	84

DAFTAR NOTASI

HB	= Angka Kekerasan Brinell (<i>Brinell Hardness Number</i>) dalam satuan HBN
P	= Beban yang diberikan (kg atau kgf)
D	= Diameter bola indentor (mm)
d	= Diameter bekas indentasi pada permukaan benda uji (mm)
π	= Konstanta Pi (3,14159...)
%Perlit	= Persentase proporsi fase perlit (%)
%Ferit	= Persentase proporsi fase ferit (%)
Area_dark	= Total area fase gelap/perlit (pixel ²)
Area_total	= Total area pengamatan (pixel ²)
p-value (sig)	= Nilai signifikansi statistik
R²	= Koefisien determinasi (persentase variasi yang dijelaskan model)
F	= Nilai F-statistik (rasio varians antar kelompok terhadap varians dalam kelompok)