

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH *PWHT* TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA S45C PADA HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN VARIASI WAKTU TAHAN DAN MEDIA PENDINGIN



Disusun oleh:
ALDIFA GITA MAULANA
1421800007

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

NAMA : ALDIFA GITA MAULANA
NBI : 1421800007
PROGRAM STUDI : TEKNIK MESIN
FAKULTAS : TEKNIK
JUDUL : ANALISIS PENGARUH *PWHT* TERHADAP SIFAT
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA S45C
PADA HASIL PENGELASAN *SMAW* DENGAN
VARIASI WAKTU TAHAN DAN MEDIA PENDINGIN

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing

Maula Nafi, S.T., M.T.
NPP. 20420.16.01717

Dekan
Fakultas Teknik

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Dr. Ir. Sajiyo, M.Kes., IPU., ASEAN Eng.
NPP. 20410.90.0197

Edi Santoso, S.T., M.T.
NPP. 20420.96.0485

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir dengan Judul:

“ANALISIS PENGARUH *PWHT* TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA S45C PADA HASIL PENGELASAN *SMAW* DENGAN VARIASI WAKTU TAHAN DAN MEDIA PENDINGIN”

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik Mesin pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan duplikasi dari Tugas Akhir yang sudah dipublikasikan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di lingkungan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya maupun di perguruan tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang bersumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 26 Juni 2023

Aldifa Gita Maulana
1421800007

LEMBAR PERSEMBAHAN

Keberhasilan penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, pendapat dan saran semua pihak, sehingga penulis dapat mengatasi kesulitan yang dihadapi. Untuk ini, penulis dengan tulus banyak berterima kasih kepada:

1. Kepada Allah SWT atas segala puji dan syukur atas segala rahmat rizqi dan hidayahnya sehingga proposal Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Yang sangat istimewa kepada kedua orang tua dan segenap keluarga saya yang telah memberikan semangat dan doa yang tiada henti sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Edi Santoso. S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
4. Bapak Maula Nafi. S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk selalu sabar membimbing saya dalam menyusun Tugas Akhir ini.
5. Bapak/Ibu Dosen mata kuliah di prodi Teknik Mesin UNTAG Surabaya yang telah banyak memberikan ilmu dan wawasannya semoga kelak di dunia kerja akan berguna bagi saya.
6. Banyak terima kasih terutama kepada Mohammad Ficky Saputra, S.T. dan Rian Ardy Triansyah, S.T. dengan semua teman seperjuangan Teknik Mesin kelas malam angkatan 2018 yang sudah banyak membantu mengarahkan dan selalu memberi masukan dan semangat selama saya menempuh Jenjang Strata 1 di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya ini.
7. Teman-teman AJK-WA, Team Poci Kreasi Mandiri dan Team Sundatawiya Trans yang selalu mesupport dari awal hingga akhir ini.

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH *PWHT* TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA S45C PADA HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN VARIASI WAKTU TAHAN DAN MEDIA PENDINGIN

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambah maupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Sejauh yang diketahui bahwa proses pengelasan pada material selalu meninggalkan tegangan akibat panas yang masuk, tegangan ini dinamakan tegangan sisa. Tegangan sisa yang terdapat pada material menyebabkan material tersebut menjadi keras dan getas, untuk itu diperlukan cara untuk menghilangkan tegangan sisa yang timbul dan untuk memperbaiki struktur mikronya yaitu dengan cara *PWHT*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi waktu tahan *PWHT* dan media pendingin terhadap struktur mikro pada hasil pengelasan SMAW material baja S45C dengan menggunakan variasi waktu tahan 20, 40 dan 60 menit dan media pendingin udara, oli, dan larutan garam terhadap sifat mekanik terutama pada ketangguhan dari baja S45C pada hasil pengelasan SMAW. Pengujian yang dilakukan menggunakan uji kekerasan rockwell dan uji struktur mikro.

Dari hasil pengujian kekerasan terdapat perbedaan nilai kekerasan di setiap variasi pengujian. Hal ini ditunjukkan hasil pengujian kekerasan di manarata-rata kekerasan tertinggi di dapat oleh variasi waktu tahan 60 menit dengan media pendingin larutan garam sebesar 123,77 HRB *Base Metal*, 123,27 HRB *HAZ* dan 101 HRB *Weld Metal* sedangkan nilai rata-rata kekerasan paling rendah di dapat pada waktu tahan 20 menit dengan media pendingin udara sebesar 99,1 HRB *Base Metal*, 99,03 HRB *HAZ* dan 84 HRB *Weld Metal*. Sedangkan pada hasil pengamatan struktur mikro, semakin lama waktu tahan disetiap variasi media pendingin akan cenderung meningkatkan fasa perlit, sedangkan waktu tahan yang pendek cenderung meningkatkan fasa ferit. Dimana semakin besar persentase fasa perlit membuat spesimen cenderung getas, sebaliknya semakin besar persentase fasa ferit membuat spesimen cenderung ulet.

Kata kunci: Baja S45C, *PWHT*, Sifat Kekerasan, SMAW dan Struktur Mikro.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT) ON HARDNESS PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF S45C STEEL IN SMAW WELDING WITH VARYING HOLDING TIME AND COOLING MEDIA

Welding is a process of joining two metal pieces to the point of metal recrystallization, using either filler material or not, and employing heat energy to melt the welded material. It is widely known that welding process always induces residual stresses in materials due to the applied heat, resulting in what is known as residual stress. The presence of residual stress in materials causes them to become hard and brittle, necessitating a method to eliminate the generated residual stress and to improve the microstructure, such as Post Weld Heat Treatment (PWHT).

The objective of this study is to analyze the influence of varying PWHT holding times and cooling media on the microstructure of SMAW-welded S45C steel. Three different holding times (20, 40, and 60 minutes) and three cooling media (air, oil, and salt solution) were employed. The mechanical properties, particularly the toughness of the welded S45C steel, were evaluated. The hardness test using the Rockwell hardness test and microstructure examination were conducted.

The results of the hardness test revealed variations in hardness values among the different test conditions. The highest average hardness values were obtained from the 60-minute holding time with salt solution as the cooling medium, measuring 123.77 HRB in the base metal, 123.27 HRB in the Heat Affected Zone (HAZ), and 101 HRB in the weld metal. Conversely, the lowest average hardness values were observed with a 20-minute holding time using air as the cooling medium, measuring 99.1 HRB in the base metal, 99.03 HRB in the HAZ, and 84 HRB in the weld metal. Furthermore, the microstructure analysis indicated that longer holding times with each cooling medium tended to increase the perlite phase, while shorter holding times tended to increase the ferrite phase. A higher percentage of perlite phase led to brittleness in the specimens, whereas a higher percentage of ferrite phase resulted in ductility.

Keywords: *Hardness properties, Microstructure, PWHT, S45C steel SMAW.*

KATA PENGANTAR

Segala puja dan syukur atas segala rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh *PWHT* Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Baja S45C Pada Hasil Pengelasan *SMAW* Dengan Variasi Waktu Tahan Dan Media Pendingin”. Penelitian ini dibuat sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan Program Strata 1 Sarjana Teknik Mesin di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis telah menerima banyak dukungan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Keberhasilan penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, pendapat dan saran semua pihak, sehingga penulis dapat mengatasi kesulitan yang dihadapi.

Penulis menyadari didalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kepada pembaca untuk memberikan kritik dan saran yang membangun dengan tujuan untuk menyempurnakan penulisan dimasa mendatang. Semoga tulisan ini bisa bermanfaat.

Surabaya, 26 Juni 2023

Aldifa Gita Maulana
1421800007

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaar Penelitian.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pengelasan	3
2.1.1 Proses Dasar Pengelasan	4
2.1.2 Klasifikasi Pengelasan.....	5
2.1.3 Las Busur Elektroda Terbungkus (<i>Shielded Metal Arc Welding/SMAW</i>).....	6
2.1.4 Klasifikasi Sambungan Pada Pengelasan	8
2.1.5 Kampuh Pengelasan	8
2.1.6 Posisi Pengelasan	10
2.2 Perlakuan Panas Pada Pengelasan	10
2.2.1 <i>PWHT (Post Weld Heat Treatment)</i>	11
2.3 Metalurgi Las.....	14
2.3.1 Struktur Mikro Dan Sifat-Sifat Mekanik.....	15
2.3.2 Daerah Las.....	15
2.3.3 Ketangguhan Las (<i>Weldability</i>).....	16
2.4 Proses Terjadinya Tegangan Sisa	17
2.4.1 Penyebab Terjadinya Tegangan Sisa.....	17
2.4.2 Sifat-Sifat Tegangan Sisa	17

2.4.3 Pengaruh Tegangan Sisa	17
2.4.4 Pengurangan Dan Pembebasan tegangan Sisa.....	18
2.5 Baja.....	18
2.5.1 Baja S45C.....	19
2.6 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	20
2.6.1 Pengujian Kekerasan Rockwell.....	21
2.7 Struktur Mikro	23
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Persiapan Alat dan Bahan	28
3.2.1 Bahan.....	28
3.2.2 Alat.....	29
3.3 Persiapan Material Plat S45C	32
3.3.1 Proses Pemotongan Raw Material.....	32
3.3.1 Proses Pembuatan Kampuh Las	33
3.4 Proses Pengelasan SMAW Baja S45C	33
3.5 Proses Pembuatan Spesimen Uji Mikro Dan Kekerasan	34
3.6 Proses PWHT (<i>Post Weld Heat Treatment</i>).....	34
3.7 Pengujian Struktur Mikro	35
3.8 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	37
3.9 Matriks Penelitian.....	38
BAB 4 ANALISIS DATA	39
4.1 Analisis Data Pengujian Kekerasan Rockwell.....	39
4.1.1 Data dan Perhitungan Rata-rata Nilai Kekerasan	39
4.1.2 Analisis Hasil Data Pengujian Kekerasan Rockwell	40
4.2 Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Terhadap Sifat Kekerasan	40
4.3 Analisis Data Pengujian Struktur Mikro	41
4.3.1 Hasil Analisis Foto Struktur Mikro Spesimen.....	43
4.3.2 Perhitungan Persentase Fasa Hasil Uji Struktur Mikro	45
4.4 Analisis Hasil Data Pengujian Struktur Mikro.....	56
4.5 Pengaruh Variasi Waktu Tahan PWHT dan Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro	57
4.6 Hubungan Pengaruh Variasi Waktu Tahan PWHT Dan Media Pendingin	

Terhadap Hasil Pengujian Kekeerasan dan Struktur Mikro.....	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 Perkembangan pengelasan (Wirjosumarto, 2008).....	4
Gambar 2.3 Skema Definisi Proses Pengelasan (Sonawan, 2006).....	4
Gambar 2.4 Skema Las SMAW (Wirjosumarto, 2008).....	6
Gambar 2.5 Pengaruh Kuat Arus Terhadap Bentuk Lelehan Elektroda Pada Proses Las SMAW (Wirjosumarto, 2008).....	6
Gambar 2.6 Klasifikasi sambungan pada pengelasan	8
Gambar 2.7 Macam Alur Sambungan Las Tumpul (Wirjosumarto, 2008).....	9
Gambar 2.8 Contoh Bagian Bagian Dari Kampuh V (Sonawan, 2006).....	9
Gambar 2.9 Macam-Macam Posisi Pengelasan (Sunaryo, 2008)	10
Gambar 2.10 Diagram Fasa Fe - Fe ₃ C.....	10
Gambar 2.11 Perbedaan Laju Pendinginan Annealing, Normalizing dan Quenching.	14
Gambar 2.12 Struktur Mikro Dalam Baja Karbon Sedang	15
Gambar 2.13 Diagram CCT	15
Gambar 2.14 Empat zona daerah pengelasan (Pusdiklat Migas, 2016)	16
Gambar 2.15 Material Plat Baja S45C	19
Gambar 2.16 Sertifikat Material Plat Baja S45C	20
Gambar 2.17 Skema Pengujian Kekerasan Rockwell (Callister, 2004).....	21
Gambar 2.18 Efek Proses Etsa pada Permukaan Spesimen (Calisster, 2004).....	25
Gambar 2.19 Pantulan Sinar Pada Pengamatan Metalografi (Calisster, 2004).....	26
Gambar 2.20 Contoh Penentuan Titik Dalam Perhitungan Persentase (Imami, 2017)	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.3 Raw material Baja S45C	28
Gambar 3.4 Elektroda E7016	28
Gambar 3.5 Kertas Gosok / Amplas.....	28
Gambar 3.6 Autosol	29
Gambar 3.7 Cairan HNO ₃	29
Gambar 3.8 Mesin Las SMAW	29
Gambar 3.9 Mesin Gerinda Tangan	30
Gambar 3.10 Mesin Frais	30
Gambar 3.11 Busur Derajat.....	30
Gambar 3.12 Alat Uji Microscope Optic	31
Gambar 3.13 Alat Uji Kekerasan	31
Gambar 3.14 Furnace Atau Tungku.....	32
Gambar 3.15 Proses Pemotongan Plat Baja S45C	32
Gambar 3.16 Proses Pembuatan Kampuh Las	33
Gambar 3.17 Proses Pengelasan SMAW	33
Gambar 3.18 Proses Pembuatan Spesifikasi Dimensi Spesimen	34
Gambar 3.19 Proses PWHT	35
Gambar 3.20 Proses Polishing	36

Gambar 3.21 Pengambilan Foto Hasil Struktur Mikro	36
Gambar 3.22 Proses Pengujian Kekerasan.....	37
Gambar 4.1 Diagram Nilai Kekerasan Pengaruh PWHT.....	41
Gambar 4.2 Struktur Mikro Pada Spesimen.....	42
Gambar 4.3 Diagram Hasil Uji Mikro Pengaruh Variasi Waktu Tahan PWHT Dengan Media Pendingin	57
Gambar 4.4 Hubungan Pengaruh Variasi Waktu Tahan PWHT Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan & Struktur Mikro (Baase Metal)	58
Gambar 4.5 Hubungan Pengaruh Variasi Waktu Tahan PWHT Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan & Struktur Mikro (HAZ).....	58
Gambar 4.6 Hubungan Pengaruh Variasi Waktu Tahan PWHT Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan & Struktur Mikro (Weld Metal).....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.2 Kondisi Pembebasan Tegangan Dengan Cara Anil Untuk Baja (Wiryo Sumarto, 2000)	11
Tabel 2.3 Weldability pada Baja Karbon (Sonawan, 2006)	16
Tabel 2.4 Penggunaan Skala Kekerasan Rockwell Pada Material	22
Tabel 2.5 Skala Kekerasan Rockwell (Callister, 2004)	22
Tabel 3.2 Matriks Penelitian	38
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Rata-Rata Nilai Kekerasan Pada Tiap Daerah Pengamatan	39
Tabel 4.2 Hasil Pengambilan Foto Uji Struktur Mikro Daerah Base Metal	43
Tabel 4.3 Hasil Pengambilan Foto Uji Struktur Mikro Daerah HAZ	44
Tabel 4.4 Hasil Pengambilan Foto Uji Struktur Mikro Daerah Weld Metal	45
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Persentase Fasa Pada Tiap Daerah Pengamatan	56