

TESIS

**ANALISA KELAYAKAN TEMPER BEAD
WELDING UNTUK MENGGANTIKAN POST WELD
HEAT TREATMENT PADA PENGELASAN A335
GRADE P22**



HARYADI

03032682327001

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

TESIS

ANALISA KELAYAKAN TEMPER BEAD WELDING UNTUK MENGGANTIKAN POST WELD HEAT TREATMENT PADA PENGELASAN A335 GRADE P22

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH

HARYADI

03032682327001

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA KELAYAKAN TEMPER BEAD WELDING UNTUK MENGGANTIKAN POST WELD HEAT TREATMENT PADA PENGELASAN A335 GRADE P22

TESIS

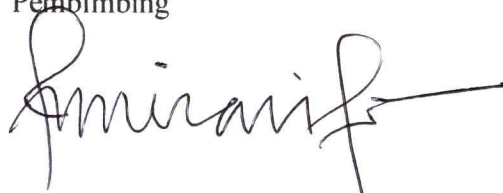
Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

HARYADI

03032682327001

Palembang, Desember 2024
Menyetujui,
Pembimbing



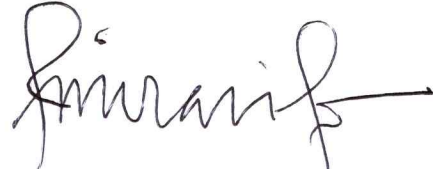
Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. Bhakri Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

HALAMAN PERSETUJUAN

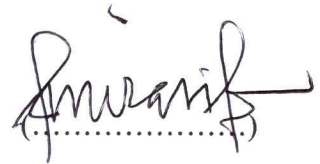
Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “ANALISA KELAYAKAN TEMPER BEAD WELDING UNTUK MENGGANTIAN POST WELD HEAT TREATMENT PADA PENGELASAN A335 GRADE P22” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Tesis Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 Agustus 2024 dan dinyatakan sah untuk melakukan penelitian lebih lanjut.

Palembang, Desember 2024

Pembimbing

1. Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP 197909272003121004



(.....)

Tim Penguji Sidang Tesis:

1. Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.

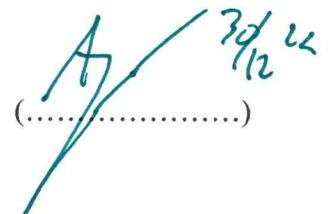
NIP 196307191990032001



(.....)

2. Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D.

NIP 197901052003121002



(.....)

Mengetahui,

Koordinator Prodi Magister Teknik Mesin



Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D.

NIP 197901052003121002

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

TESIS

NAMA : HARYADI

NIM : 03032682327001

JURUSAN : TEKNIK MESIN

BIDANG STUDI : TEKNIK MATERIAL DAN MANUFAKTUR

**JUDUL : ANALISA KELAYAKAN TEMPER BEAD
WELDING UNTUK MENGGANTIKAN
POST WELD HEAT TREATMENT PADA
PENGELASAN A335 GRADE P22**

DIBUAT TANGGAL : 1 JANUARI 2024

SELESAI TANGGAL : 16 DESEMBER 2024

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

Palembang, Desember 2024
Pembimbing



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Haryadi

NIM : 03032682327001

Judul : ANALISA KELAYAKAN TEMPER BEAD WELDING UNTUK
MENGGANTIKAN POST WELD HEAT TREATMENT PADA
PENGELASAN A335 GRADE P22

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2024



Haryadi
NIM. 03032682327001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Haryadi

NIM : 03032682327001

Judul : ANALISA KELAYAKAN TEMPER BEAD WELDING
UNTUK MENGGANTIKAN POST WELD HEAT
TREATMENT PADA PENGELASAN A335 GRADE P22

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2024



Haryadi
NIM. 03032682327001

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan *temper bead welding (half bead technique)* sebagai pengganti *post weld heat treatment* dalam memengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik pada pengelasan pipa A335 Grade P22. Penelitian ini mengacu pada WPS dan PQR yang berlaku, dengan tiga metode pengelasan: *pre-heat*, *pre-heat TBW*, dan *pre-heat PWHT*. Pengujian tarik pada 12 spesimen menunjukkan kegagalan terjadi di area *base metal* untuk semua metode, dengan morfologi patahan menunjukkan sifat ulet dan elongasi sebesar 13–18%. Kekuatan tarik berkisar antara 587–636 N/mm² untuk *pre-heat*, 588–611 N/mm² untuk *pre-heat TBW* dan 497–564 N/mm² untuk *pre-heat PWHT*. Hasil ini konsisten dengan struktur mikro, di mana base metal didominasi ferit dengan sedikit perlit, sedangkan HAZ, *fusion zone*, dan *weld metal* didominasi perlit dengan sedikit ferit. Pengujian kekerasan menunjukkan nilai stabil pada *base metal* untuk semua metode, sementara HAZ menunjukkan kekerasan tertinggi pada *pre-heat* (302–342 HV), sedikit lebih rendah pada *pre-heat TBW* (287–328 HV), dan menurun signifikan pada *pre-heat PWHT* (183–188 HV). Metode TBW menawarkan alternatif praktis untuk PWHT, menghindari kompleksitas dan biayanya, tetapi lebih cocok untuk pengelasan perbaikan daripada fabrikasi umum karena penerapannya yang tidak sepenuhnya TBW dimana masih terdapat *root pass*, *hot pass*, dan *capping*.

Kata kunci : TBW, PWHT, *Vickers microhardness*, Uji tarik, Struktur mikro

SUMMARY

This study evaluates the feasibility of temper bead welding (half bead technique) as an alternative to post-weld heat treatment (PWHT) in influencing the microstructure and mechanical properties of A335 Grade P22 pipe welding. It compares three welding methods: pre-heat, pre-heat TBW, and pre-heat PWHT, based on WPS and PQR standards. Tensile tests on 12 specimens showed failures in the base metal across all methods, with ductile fracture morphology and elongation of 13–18%. Tensile strength ranged from 587–636 N/mm² for pre-heat, 588–611 N/mm² for pre-heat TBW, and 497–564 N/mm² for pre-heat PWHT. Microstructural analysis revealed ferrite dominance with some pearlite in the base metal, while the HAZ, fusion zone, and weld metal were predominantly pearlite with minor ferrite. Hardness tests showed consistent base metal hardness, with the HAZ showing the highest values for pre-heat (302–342 HV), slightly lower for pre-heat TBW (287–328 HV), and significantly reduced for pre-heat PWHT (183–188 HV). While TBW offers a practical, cost-effective alternative to PWHT, it is more suited for repair welding due to incomplete application in root, hot, and capping passes, making it less ideal for general fabrication processes.

Keywords : TBW, PWHT, Vickers microhardness, Tensile test, Microstructure

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat menyelesaikan sidang tesis ini yang disusun untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan pendidikan Magister Jurusan Teknik Mesin pada Universitas Sriwijaya. Dalam proses penyusunan tesis ini, saya memperoleh berbagai bantuan, dukungan serta saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si., Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc., Direktur Program Pascasarjana.
4. Bapak Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang tulus membimbing, mendidik, mengarahkan dan memotivasi penulis dalam penyusunan tesis ini.
5. Ibu Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T. selaku Dosen Penguji Tesis I.
6. Bapak Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Pascasarjana dan Dosen Penguji Tesis II.
7. Teman seperjuangan Teknik Mesin Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
8. Rekan-rekan kerja yang mensupport dan mendukung dan selalu memberikan bantuan selama penyelesaian tesis ini.
9. Kedua orang tua saya Ayah dan Ibu yang selalu mendoakan kelancaran sepanjang proses perkuliahan.
10. Istriku tercinta yang selalu mensupport dan mendoakan kelancaran sepanjang proses perkuliahan.

Saya menyadari bahwa tesis ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, sangat diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk perbaikan laporan ini supaya lebih baik lagi dalam penyusunannya. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat, pengetahuan serta informasi bagi pembaca dan penulis khususnya mahasiswa teknik mesin Universitas Sriwijaya.

Palembang, Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN TANDA PENERIMAAN TESIS.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengelasan.....	5
2.2 Las Busur	7
2.2.1 <i>Arc Welding Process : Non Consumable Electrode</i>	7
2.2.2 <i>Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)</i>	8
2.2.3 <i>Arc Welding Process : Consumable Electrode</i>	9
2.2.4 <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	10
2.3 Metalurgi Pengelasan	11
2.4 Bentuk Kampuh Las.....	13
2.5 Jenis-Jenis Sambungan Las.....	13
2.6 Posisi <i>Groove Weld Pipe</i>	14

2.7	Struktur Mikro Baja dan Diagram <i>Iron-Iron Carbide</i>	15
2.7.1	Pembentukan Struktur Martensit	19
2.7.2	Pembentukan Struktur Bainit.....	20
2.8	Klasifikasi <i>Steel</i>	22
2.8.1	<i>Low Carbon Steel</i>	24
2.8.2	<i>Medium Carbon Steel</i>	24
2.8.3	<i>High Carbon Steel</i>	25
2.9	ASTM A335 Gr. P22	25
2.10	<i>Post Weld Heat Treatment</i>	26
2.11	<i>Temper Bead Welding</i>	27
2.12	Pengujian Material	31
2.12.1	Pengujian Kekerasan <i>Vickers Microhardness</i>	31
2.12.2	<i>Tensile Test</i>	32
2.12.3	Pengujian Metalografi	36
2.12.4	Pengujian SEM.....	36
BAB 3 METODE PENELITIAN		39
3.1	Bagan Alir Penelitian	39
3.2	Prosedur Penelitian.....	40
3.2.1	Bahan Penelitian	40
3.2.2	Peralatan Penelitian	41
3.3	Spesifikasi Pipa ASTM A335 Gr. P22.....	42
3.4	Proses Pengelasan	43
3.5	Pelaksanaan Pengelasan	44
3.5.1	Tahap Preparasi Awal.....	44
3.5.2	Tahap Pengelasan	45
3.6	Prosedur Penelitian.....	46
3.6.1	Pemotongan Material.....	46
3.6.2	Pembuatan Spesimen Uji.....	47
3.6.3	Pengujian Tarik.....	47
3.6.4	Pengujian Metalografi dan SEM	48
3.6.5	Pengujian <i>Hardness</i>	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Data Parameter Pengelasan	51
4.2	Menghitung <i>C Equivalent</i>	54

4.3	Diagram <i>Schaeffler</i>	55
4.4	Pengujian Sifat Mekanik.....	57
4.4.1	Pengujian Tarik.....	58
4.4.2	Pengujian Kekerasan.....	60
4.5	Pengujian Metalografi.....	63
4.5.1	Pengujian Struktur Mikro.....	64
4.5.2	Pengujian SEM.....	69
4.6	Analisa.....	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	75
DAFTAR RUJUKAN.....		757
LAMPIRAN.....		81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi cara pengelasan.....	6
Gambar 2.2	Pengaruh dari polaritas dan jenis arus (a) Arus DC dengan polaritas lurus; (b) Arus DC dengan polaritas terbalik dan (c) arus AC.....	8
Gambar 2.3	Skema pengelasan <i>gas tungsten arc welding process</i> yang juga dikenal sebagai pengelasan TIG	9
Gambar 2.4	Ilustrasi pengelasan SMAW	10
Gambar 2.5	Pembagian zona pada pengelasan fusi.....	11
Gambar 2.6	Hubungan antara diagram fasa Fe-Fe ₃ C dan struktur mikro di HAZ dari baja karbon	12
Gambar 2.7	Jenis-jenis kampuh las	13
Gambar 2.8	Jenis-jenis sambungan las.....	14
Gambar 2.9	Las <i>groove</i> pada pipa dan posisi-posisi Pengelasan	15
Gambar 2.10	Diagram fasa <i>iron-iron carbide</i>	16
Gambar 2.11	Struktur mikro baja karbon khas perlit dan ferit primer (<i>white phase</i>).....	17
Gambar 2.12	Modifikasi dan penyederhanaan diagram <i>iron-iron carbide</i> (Fe-Fe ₃ C)	18
Gambar 2.13	Ketika laju pendinginan dari austenit cukup lambat, struktur mikro ferit + perlit dapat diharapkan	19
Gambar 2.14	Ketika laju pendinginan dari austenit cukup cepat, struktur mikro martensit dapat diharapkan	19
Gambar 2.15	Efek memori bentuk.....	20
Gambar 2.16	Struktur mikro <i>upper bainite</i>	21
Gambar 2.17	Struktur mikro <i>lower bainite</i>	22
Gambar 2.18	Perilaku alotropik besi	22
Gambar 2.19	Klasifikasi baja	23
Gambar 2.20	Prosedur PWHT	27
Gambar 2.21	Skema yang Mengilustrasikan Hubungan antara Diagram Fase Fe-C dan Berbagai Wilayah HAZ	28
Gambar 2.22	Efek temper dari manik-manik berikutnya pada HAZ manik-manik sebelumnya	29
Gambar 2.23	Nomeklatur untuk <i>temper bead welding</i>	31

Gambar 2.24	Uji kekerasan <i>vickers microhardness</i>	32
Gambar 2.25	Skema peralatan yang digunakan dalam uji tarik	33
Gambar 2.26	Kurva Empat besaran/parameter yang berbeda	33
Gambar 2.27	Contoh kurva hasil uji tarik.....	34
Gambar 2.28	Gambar singkat uji tarik.....	35
Gambar 2.29	Proses <i>mounting</i> pada spesimen.....	36
Gambar 2.30	Perbedaan mikroskop cahaya dan mikroskop elektron.....	37
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 3.2	Bentuk, sudut kampuh las dan <i>welding symbol</i>	40
Gambar 3.3	Spesimen uji tarik	48
Gambar 3.4	Cairan <i>polycrystalline diamond</i>	49
Gambar 3.5	Pemilihan cairan <i>microetching</i> sesuai jenis material	49
Gambar 3.6	<i>Compositions and procedure of etchant number</i>	49
Gambar 3.7	Area pengujian dan grafik pengujian <i>hardness</i>	50
Gambar 4.1	Preparasai sebelum dilakukan pengelasan	51
Gambar 4.2	Diagram <i>schaeffler</i> pada pengelasan A335 Gr. P22	57
Gambar 4.3	Grafik angka kekuatan tarik pada area <i>base metal</i>	58
Gambar 4.4	Spesimen setelah dilakukan pengujian tarik	59
Gambar 4.5	Titik indentasi dan <i>chart</i>	61
Gambar 4.6	Spesimen pengujian metalografi.....	64
Gambar 4.7	Mikrostruktur spesimen dengan etsa nital pada area <i>base metal</i> . (a) <i>pre-heat</i> , (b) <i>pre-heat TBW</i> , (c) <i>pre-heat PWHT</i>	65
Gambar 4.8	Mikrostruktur spesimen dengan etsa nital pada area HAZ. (a) <i>pre-heat</i> , (b) <i>pre-heat TBW</i> , (c) <i>pre-heat PWHT</i>	66
Gambar 4.9	Mikrostruktur spesimen dengan etsa nital pada area <i>fusion zone</i> . (a) <i>pre-heat</i> , (b) <i>pre-heat TBW</i> , (c) <i>pre-heat PWHT</i>	67
Gambar 4.10	Mikrostruktur spesimen dengan etsa nital pada area <i>weld metal</i> . (a) <i>pre-heat</i> , (b) <i>pre-heat TBW</i> , (c) <i>pre-heat PWHT</i>	68
Gambar 4.11	SEM spesimen pada area <i>base metal</i> . (a) <i>pre-heat</i> , (b) <i>pre-heat TBW</i> , (c) <i>pre-heat PWHT</i>	69
Gambar 4.12	SEM spesimen pada area HAZ. (a) <i>pre-heat</i> , (b) <i>pre-heat TBW</i> , (c) <i>pre-heat PWHT</i>	69
Gambar 4.13	SEM spesimen pada area <i>weld metal</i> . (a) <i>pre-heat</i> , (b) <i>pre-heat TBW</i> , (c) <i>pre-heat PWHT</i>	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan mikroskop cahaya dan mikroskop elektron.....	38
Tabel 3.1	Spesifikasi material.....	40
Tabel 3.2	<i>Chemical requirement of ASTM A335 Gr. P22</i>	42
Tabel 3.3	<i>Heat treatment requirement of ASTM A335 Gr. P22</i>	42
Tabel 3.4	<i>Tensile requirement of ASTM A335 Gr. P22</i>	42
Tabel 3.5	Parameter proses pengelasan	43
Tabel 3.6	Daftar dan jumlah spesimen uji	47
Tabel 4.1	Parameter pengelasan <i>pre-heat</i>	52
Tabel 4.2	Parameter pengelasan <i>pre-heat</i> TBW	53
Tabel 4.3	Parameter pengelasan <i>pre-heat</i> PWHT.....	53
Tabel 4.4	<i>Chemical composition</i> material dan <i>filler</i>	55
Tabel 4.5	Pengujian tarik	58
Tabel 4.6	Pengujian kekerasan rata-rata	60

ANALISA KELAYAKAN TEMPER BEAD WELDING UNTUK MENGGANTIKAN METODE POST WELD HEAT TREATMENT PADA PENGELASAN PIPA A335 GRADE P22

Haryadi¹, Amir Arifin¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia.

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi kelayakan penggunaan metode *Temper Bead Welding* (TBW) dengan *Half Bead Technique* sebagai alternatif terhadap *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) untuk pengelasan pipa A335 Grade P22. Tiga metode perlakuan dibandingkan: *pre-heat*, *pre-heat* TBW, dan *pre-heat* PWHT. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode uji kekerasan mikro Vickers. Metode *pre-heat* saja menunjukkan nilai kekerasan tertinggi di HAZ (342 HV), *fusion zone* (357 HV), dan *weld metal* (334 HV). TBW hanya menunjukkan kekerasan lebih tinggi pada logam dasar (191 HV). PWHT memberikan distribusi kekerasan yang paling seragam, secara efektif menghilangkan tegangan sisa, dan menghomogenkan mikrostruktur. TBW mengurangi ukuran HAZ hingga 50% dibandingkan dengan pemanasan awal. Mikrostruktur yang diamati pada semua metode adalah ferit dan perlit, dengan perbedaan terutama pada ukuran butir. Meskipun TBW merupakan alternatif yang layak untuk perbaikan, metode ini tidak cocok untuk aplikasi dalam proses fabrikasi awal.

Kata Kunci: *TBW, Half Bead Technique, PWHT, Vickers hardness, Microstructure*

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin.



Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D.
NIP 197901052003121002

Pembimbing,



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

FEASIBILITY ANALYSIS OF HALF BEAD TECHNIQUE TO REPLACE POST WELD HEAT TREATMENT IN WELDING A335 GRADE P22 PIPES

Haryadi¹, Amir Arifin¹

¹Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Sriwijaya University,
South Sumatera, Indonesian

ABSTRACT

This work evaluates the feasibility of using the Temper Bead Welding (TBW) method with the Half Bead technique as an alternative to Post Weld Heat Treatment (PWHT) for welding A335 Grade P22 pipes. Three treatment methods were compared: pre-heating, pre-heating with TBW, and pre-heating with PWHT. Hardness testing is carried out using the Vickers microhardness testing method. The only pre-heat method showed the highest hardness values in the HAZ (342 HV), fusion zone (357 HV), and weld metal (334 HV). TBW with the half bead technique had higher hardness only in the base metal (191 HV). PWHT provides the most uniform hardness distribution, effectively relieves residual stresses, and homogenizes the microstructure. TBW reduced HAZ size by 50% than pre-heat. The microstructure observed in all methods was ferrite and pearlite, with differences mainly in grain size. Although TBW is a viable alternative for repair, this method is not suitable for application in early fabrication processes.

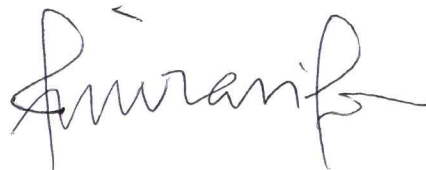
Keywords: *TBW, Half Bead Technique, PWHT, Vickers hardness, Microstructure*

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin.



Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D.
NIP 197901052003121002

Pembimbing,



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja CrMo banyak digunakan pada aplikasi struktur suhu tinggi seperti pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan industri petrokimia untuk boiler, perpipaan, dan bejana reaksi kimia (Wu *et al.*, 2008), hal ini dikarenakan baja ini memiliki ketahanan korosi yang baik, kekuatan mekanik, dan temperabilitas yang tinggi, sehingga baja ini efektif untuk bekerja pada kondisi kritis (Juliermes *et al.*, 2019).

Masalah yang paling umum pada baja yang digunakan dalam pembangkit listrik dan aplikasi petrokimia adalah risiko temper dan kerapuhan hidrogen. Kerapuhan temper terjadi sebagai akibat paparan baja pada kisaran suhu 340 - 565 °C. Kerapuhan temper baja A335 Gr. P22 (2,25Cr-1Mo) umumnya dikaitkan dengan kegagalan *intergranular* yang timbul dari pemisahan batas butir pengotor seperti fosfor, sulfur, arsenik, timah, dan antimon. Menjadi penyebab utama degradasi ketangguhan baja feritik, kerapuhan temper menyebabkan pergeseran suhu transisi duktil ke getas (DBTT) ke suhu yang lebih tinggi. Masalah kerapuhan dapat diatasi dengan mengurangi fosfor, sulfur, arsenik, timah, dan antimon (Acarer *et al.*, 2017).

Proses pengelasan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan proses penyambungan lainnya, seperti mengikat bentuk yang rumit secara permanen dan kemungkinan untuk mengelas material tipis. Meskipun demikian, ketidaksempurnaan pengelasan terkadang dapat terjadi pada pengelasan yang sudah ada karena beberapa penyebab. Menurut *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), faktor-faktor yang menyebabkan cacat pengelasan meliputi 41% akibat kondisi proses yang kurang baik, 32% karena kesalahan operator, 12% disebabkan oleh penggunaan teknik yang tidak tepat, 10% dari bahan habis pakai yang tidak sesuai, dan 5% akibat alur las yang tidak sempurna (Aloraier *et*

al., 2021). Sambungan las memerlukan keahlian tinggi dari juru las yang harus mengikuti WPS dan PQR yang disusun oleh *welding engineer* untuk menghasilkan sambungan berkualitas. Teknologi pengelasan memiliki banyak aplikasi dalam konstruksi, seperti pada kapal, jembatan, struktur baja, bejana tekan, pipa dan kereta api (Wiryosumarto and Okumura, 2000).

Heat affected zone (HAZ) adalah area pada logam yang mengalami perubahan akibat paparan suhu tinggi, yang dapat memberikan dampak negatif terhadap desain dan struktur logam tersebut dikarenakan terdapatnya tegangan sisa. Tegangan sisa dapat menimbulkan masalah potensial secara langsung atau selama umur struktur yang dilas, dan perlu dikurangi atau dihilangkan untuk menghindari relaksasi di lapangan. Bila jumlah tegangan sisa tarik melampaui batas leleh suatu material, material tersebut akan mengalami deformasi dan menghasilkan struktur yang terdistorsi (Silva *et al.*, 2016). Lebih jauh lagi, tegangan sisa dapat bersifat aditif dengan tegangan operasi, karena tegangan sisa dapat menyebabkan timbulnya retakan dan dapat meningkatkan gaya pendorong perambatan retakan bahkan tanpa adanya tegangan operasi (Rathod *et al.*, 2019).

Untuk mengembalikan struktur pada logam kembali ke bentuk semula, perlu dilakukan metode *heat treatment* atau *cold working*. *Post weld heat treatment* (PWHT) adalah bagian dari proses *heat treatment* bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa yang muncul setelah pengelasan selesai dilakukan. Material, terutama baja karbon, akan mengalami perubahan struktur dan ukuran butir akibat proses pemanasan dan pendinginan. Struktur yang tidak homogen ini menyimpan tegangan sisa, yang menyebabkan material menjadi lebih keras tetapi kurang tangguh. Meskipun PWHT merupakan teknik umum yang digunakan untuk menghilangkan tegangan sisa, namun biayanya sangat mahal dan memakan waktu lama karena waktu penahanan yang seringkali lama pada suhu PWHT, laju peningkatan dan penurunan yang diperlukan lambat, dan biaya yang besar (Singh, Kulshrestha and Nair, 2018).

Metode *temper bead welding* (TBW) sering diterapkan untuk meningkatkan kualitas lasan dan dapat digunakan sebagai alternatif proses PWHT. TBW merupakan teknik menempatkan manik-manik las (*bead*) pada lokasi tertentu di area lasan atau permukaan las dengan tujuan memengaruhi sifat

metalurgi dari HAZ dan material deposit dari pengelasan sebelumnya (ASME BPVC Section IX, 2021). Dalam teknik *half-bead*, seperti yang tersirat dari namanya, setengah dari lapisan pertama *buttering* digiling sebelum pengendapan lapisan kedua, untuk memastikan bahwa HAZ dari lapisan pertama dipanaskan ulang oleh lapisan kedua, idealnya untuk mengaustenisasi ulang dan menyempurnakannya, tetapi minimal untuk melunakkan struktur mikro yang keras dan getas (Abson, Barnes and Raghunathan, 2013). Kerugian dari pendekatan ini adalah kesulitan dalam mengendalikan kedalaman penggilingan, dan peningkatan waktu yang dibutuhkan tahap penggilingan untuk operasi perbaikan (Abson, Barnes and Raghunathan, 2013).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa kelayakan *temper bead welding (half bead technique)* untuk menggantikan *post weld heat treatment* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada pengelasan pipa A335 Grade P22.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka didapatkan beberapa permasalahan yang harus diselesaikan, diantaranya:

1. Kelayakan penggunaan TBW untuk menggantikan metode PWHT terhadap pengelasan *Chrome moly steel pipe ferritic A335 Gr. P22*.
2. Pengaruh pengelasan dengan menggunakan metode pre-heat, pre-heat TBW dan pre-heat PWHT terhadap sifat mekanik pada pengelasan *Chrome moly steel pipe ferritic A335 Gr. P22*.
3. Pengaruh pengelasan dengan menggunakan metode *pre-heat, pre-heat TBW* dan *pre-heat PWHT* terhadap metalografi pada pengelasan *Chrome moly steel pipe ferritic A335 Gr. P22*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus pembahasan, diperlukan pembatasan masalah dalam penelitian ini. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seluruh prosedur mengacu pada WPS dan PQR pengelasan *Chrome moly steel pipe ferritic A335 Gr. P22*.
2. Material yang digunakan adalah *Chrome moly steel pipe ferritic A335 Gr. P22 schedule 120*.
3. Proses pengelasan adalah GTAW DCSP.
4. *Preheat* 200°C - 350 °C dengan metode *continues heating*.
5. *Interpass* temperatur max 350°C, dimonitor dengan *infrared thermogun*.
6. PWHT pada temperatur 725°C dengan *holding time* selama 2 jam, kenaikan temperatur 177 °C/hour dan pendinginan dengan temperatur 173 °C/hour menggunakan *ceramic heater* dan *ceramic fiber*.

1.4 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh TBW untuk menggantikan metode PWHT terhadap pengelasan *chrome moly steel pipe ferritic A335 Gr. P22*.
2. Bagaimana pengaruh pengelasan dengan menggunakan metode *pre-heat*, *pre-heat* TBW dan *pre-heat* PWHT terhadap sifat mekanik pada pengelasan *chrome moly steel pipe ferritic A335 Gr. P22*.
3. Bagaimana pengaruh pengelasan dengan menggunakan metode *pre-heat*, *pre-heat* TBW dan *pre-heat* PWHT terhadap metalografi pada pengelasan *Chrome moly steel pipe ferritic A335 Gr. P22*.

DAFTAR RUJUKAN

- Abson, D., Barnes, A. and Raghunathan, S. (2013) 'Temper Bead Qualification Hardness Acceptance Criteria', in *ASM Standards Technology, LLC*.
- Acarer, M. *et al.* (2017) 'Toughness of 2,25Cr-1Mo steel and weld metal', in, p. 090003. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.4999898>.
- Aloraier, A. *et al.* (2021) 'TBW technique by varying weld polarities in SMAW as an alternative to PWHT', *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 194, p. 104505. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104505>.
- Arifin, A. (2024) 'Pengantar Teknologi Pengelasan', *Unsri Press* [Preprint].
- ASME BPVC Section II A (2023) *Part A Ferrous Material Specifications (SA-451 to End)*, *THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS*.
- ASME BPVC Section IX (2021) 'Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusion Operators', *THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511978371.011>.
- ASTM E407 – 07 (2012) 'Standard Practice for Microetching Metals and Alloys 1', in *ASTM International*, pp. 1–22. Available at: <https://doi.org/10.1520/E0407-07.2>.
- AWS D1.1/D1.1M (2020) *Structural Welding Code - Steel.*, *American National Standards Institute, Standards*.
- Bhadeshia, H.K.D.H. and Sir Robert Honeycombe (2006) *Steels Microstructure and Properties Third Edition*. Elsevier Ltd.
- Bresman P Siboro *et al.* (2016) 'Analisa Daerah Antar Muka Hasil Proses Cladding Material Stainless Steel Terhadap Baja Karbon Menengah',

Dinamis, 4(4), p. 12. Available at:
<https://doi.org/10.32734/dinamis.v4i4.7112>.

Budiman, H. (2016) ‘Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja St37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell’, *J-Ensitem*, 3(01), pp. 9–13. Available at: <https://doi.org/10.31949/j-ensitem.v3i01.309>.

David H. Phillips (2016) *Welding engineering An introduction*.

Denti Salindeho, R., Soukota, J. and Poeng, R. (2013) ‘Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material’, *Jurnal Sam Ratulangi*, pp. 1–11.

González, G. *et al.* (2012) ‘Evolution of the Structure of Ferritic Steels Subjected to Torsion’, *Procedia Materials Science*, 1, pp. 126–133. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2012.06.017>.

Guiraldenq, P. and Hardouin Duparc, O. (2017) ‘The genesis of the Schaeffler diagram in the history of stainless steel’, *Metallurgical Research and Technology*, 114(6), pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1051/metal/2017059>.

Harati, Ebrahim, Harati, Ehsan and Onochie, U. (2024) ‘Effect of post-weld heat treatment on mechanical and microstructural properties of high strength steel weld metal’, *Welding International*, 38(6), pp. 422–429. Available at: <https://doi.org/10.1080/09507116.2024.2348008>.

Ibrahim, A. *et al.* (2020) ‘Hardness, an Important Indicator of Bone Quality, and the Role of Collagen in Bone Hardness’, *Journal of Functional Biomaterials*, 11(4). Available at: <https://doi.org/10.3390/jfb11040085>.

Juliermes, C. *et al.* (2019) ‘Microstructural and Mechanical Characterization of Steel 2, 25Cr-1Mo Treated by Quenching Process’, *International Journal of Metallurgy and Metal Physics*, 4(2). Available at: <https://doi.org/10.35840/2631-5076/9240>.

Kannan, D.M. (2018) ‘Scanning electron microscopy: principle, components and applications’, *Textbook on Fundamentals and Applications of Nanotechnology*, pp. 82–92.

- Oluwatobi, E.M. (2017) 'Effect of Pre and Post-Heattreatment on the Heat-Affected-Zone (HAZ) of Austenitic Stainless -Steel', *Energy and Environmental Engineering*, pp. 1–34.
- Rathod, D.W. *et al.* (2019) 'Residual stresses in arc and electron-beam welds in 130 mm thick SA508 steel: Part 1 - Manufacture', *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 172, pp. 313–328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2019.03.034>.
- Silva, C.C. *et al.* (2016) 'Residual Stress, Microstructure and Hardness of Thin-Walled Low-Carbon Steel Pipes Welded Manually', *Materials Research*, 19(6), pp. 1215–1225. Available at: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0217>.
- Singh, N., Kulshrestha, M. and Nair, S. (2018) 'PWHT Requirement for Submarine Pipelines Challenges and Way Forward', in *Day 2 Tue, November 13, 2018*. SPE. Available at: <https://doi.org/10.2118/192665-MS>.
- Sonawan, H. and Suratman Rochim (2006) 'Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam', *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam* [Preprint].
- Sperko, W.J. (2005) 'Exploring temper bead welding', *Welding Journal (Miami, Fla)*, 84(7), pp. 37–40.
- Tuz, L. (2018) 'Evaluation of Microstructure and Selected Mechanical Properties of Laser Beam Welded S690QL High-Strength Steel', *Advances in Materials Science*, 18(3), pp. 34–42. Available at: <https://doi.org/10.1515/adms-2017-0039>.
- Wiryosumarto, H. and Okumura, T. (2000) 'Teknologi Pengelasan Logam', *Teknologi Pengelasan Logam*, 8.
- Wu, J. *et al.* (2008) 'An Auger electron spectroscopy study of phosphorus and molybdenum grain boundary segregation in a 2.25Cr1Mo steel', *Materials Characterization*, 59(3), pp. 261–265. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.01.003>.

Zhang, kaiwen (2016) 'Experimental and Computational Investigation of Temper Bead Welding and Dissimilar Metal Welding for Nuclear Structures Repair'. Available at: http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1469036863.