

**ANALISIS PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK *GIRTH WELD*
PIPA BAJA API 5L GRADE B HASIL PENGELASAN
*SHIELD METAL ARC WELDING (SMAW)***

TUGAS AKHIR

HERMAWATY NATALIA

123.10.006

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
INSTITUT TEKNOLOGI DAN SAINS BANDUNG
KOTA DELTAMAS
SEPTEMBER 2014**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Hermawaty Natalia

NPM : 123.10.006

Tanda Tangan :

Tanggal : Rabu, 17 September 2014

**ANALISIS PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK *GIRTH WELD*
PIPA BAJA API 5L GRADE B HASIL PENGELASAN
*SHIELD METAL ARC WELDING (SMAW)***

TUGAS AKHIR

HERMAWATY NATALIA

123.10.006

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material

Menyetujui
Kota Deltamas, 17 September 2014
Pembimbing,

Dr. Eng. Akhmad. A. Korda, ST., MT.

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Metalurgi dan Material

Dr. Eng. Akhmad. A. Korda, ST., MT.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Institut Teknologi dan Sains Bandung. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Eng. Akhmad A Korda ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Metalurgi dan Material ITSB sekaligus dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ir. Deni Rachmat ST, MT selaku dosen wali yang telah memberikan saya arahan, bimbingan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini;
3. Prof. Dr. Ir. Syoni Soepriyanto, M.Sc selaku dosen pengajar sekaligus Kepala Laboratorium Metalurgi Fisik dan Keramik FTTM ITB yang telah berkenan memberikan izin penggunaan sarana dan prasarana Laboratorium sebagai penunjang Tugas Akhir ini;
4. Dr. rer. nat. Mardiyati selaku dosen pengajar Program Studi Teknik Metalurgi dan Material yang telah memberikan motivasi untuk Tugas Akhir ini serta banyak memberikan pesan-pesan moral yang tak bisa dilupakan;
5. Bapak dan Ibu Staff Pengajar Program Studi Teknik Metalurgi dan Material ITSB;
6. Pak Herman yang telah membantu dalam memperoleh sampel pengujian untuk Tugas Akhir ini;
7. Pak Septa dan Pak Fajar dari Laboratorium FTTM ITB yang telah membantu dan membimbing saya dalam memperoleh data pengujian dalam Tugas Akhir ini;

8. Orang tua terkasih yaitu Bpk. Dorkas Lumban Gaol dan Ibu Hermi Nainggolan yang selalu memberikan saya nasihat, semangat, bantuan baik secara moral maupun materil, doa yang terus dipanjatkan agar saya kelak memperoleh kesuksesan di masa depan
9. Adik saya tercinta Sastro dan Immanuel yang selalu membantu saya untuk memperoleh kelancaran selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Kepada paman saya Antonius Nainggolan yang telah memberikan bantuan materil untuk kelancaran perkuliahaan saya di ITSB.
11. Kepada keluarga besar Lumban Gaol dan Nainggolan yang telah memberikan bantuan baik secara moral dan materil selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
12. Teman-teman terkasih di pelayanan Sekolah Minggu dan PP dan Remaja GKPI Cikarang Baru dan UKM SAMARIA yang memberikan semangat, doa, dan hiburan yang menguatkan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
13. TMM 2010 yaitu Reza, Imin, Sunoto, Alfi, Raihan yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada Penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Teman-teman di Himatama yang memberi warna tersendiri dalam pengalaman berorganisasi dan menjadi kenangan tak terlupakan.
15. Kak Andriani Rini, Falza, Della, Lala, Kusumaning, Rika, Teteh Ndes, Aini yang telah memberikan semangat dan bantuan kepada penulis.
16. Pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan menurunkan berkatNya kepada semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu dan bagi banyak pihak.

Kota Deltamas, 17 September 2014

Penulis

v Institut Teknologi dan Sains Bandung

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Institut Teknologi dan Sains Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hermawaty Natalia
NIM : 123.10.006
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik dan Desain
Jenis Karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi dan Sains Bandung **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik *Girth Weld* Pipa Baja Api 5l Grade B Hasil Pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW)”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Teknologi dan Sains Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Kota Deltamas

Pada Tanggal : 17 September 2014

Yang Menyatakan

Hermawaty Natalia

vi Institut Teknologi dan Sains Bandung

ABSTRAK

Pipa API 5L Grade B merupakan salah satu baja yang masuk dalam kelompok baja paduan rendah berkekuatan tinggi dan umum digunakan sebagai pipa penyalur untuk minyak dan gas. Pipa baja ini diolah dengan memadukan beberapa mikro paduan dengan kadar karbon yang rendah yaitu kurang dari 0.1 wt%. Pada umumnya, pipa API 5L Grade dilas dengan metode *Shield Metal Arc Welding* (SMAW). Pasca proses pengelasan, siklus termal akan menghasilkan perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal.^[6] *Post Weld Heat Treatment* diharapkan mampu mengurangi tegangan-tegangan termal dan menurunkan perbedaan kekerasan antara logam induk, *heat affected zone* dan logam las sehingga terhindar dari pembentukan fase keras yaitu martensit yang memicu terjadinya retak. Pada penelitian ini, sampel pipa API 5L Grade B yang digunakan yaitu diproduksi oleh PT. Bakrie Pipe Industries, Bekasi. Pipa baja tersebut disambung dengan teknik pengelasan SMAW secara melingkar (*girth weld*) dengan menggunakan elektroda E6010 dan E7010 sesuai standar API 1104. Daerah lasan pipa dipotong dan dijadikan sampel dengan ukuran 60 mm x 12.7 mm x 15 mm. Masing-masing sampel dipanaskan pada temperatur 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, selama 5 menit, 10 menit, dan 30 menit. Sampel didinginkan dengan udara hingga temperatur kamar. Pengamatan mikrostruktur dan uji kekerasan dilakukan terhadap daerah logam induk, *heat affected zone*, dan logam lasan. Hasil uji kekerasan sampel *as received*, daerah logam las memiliki kekerasan rata-rata tertinggi yaitu sebesar 257.77 HVN. Seiring dengan peningkatan temperatur hingga 500°C dan waktu PWHT hingga 30 menit dapat menurunkan perbedaan kekerasan daerah logam las dengan logam induk dan HAZ sebesar 18.75 HVN, menurunkan kekerasan daerah logam las sebesar 49.3 HVN, dan menurunkan kekuatan daerah pengelasan sebesar 121.59 MPa dari kondisi *as received*. Penurunan ini terjadi akibat perubahan struktur mikro yaitu difusi Fe₃C dari ferit ke batas butir pada daerah logam induk, transformasi perlit kasar menjadi Fe₃C (*spheroidite*) pada daerah HAZ, dan terdifusinya karbon pada fasa ferit asikular menjadi fasa perlit dan Fe₃C.

KATA KUNCI: API 5L Grade B, SMAW, Girth Weld, PWHT

ABSTRACT

Pipe API 5L Grade B steel is one included in the group of high-strength low-alloy steel and commonly used as a pipelines for oil and gas. The steel pipe is processed by combining some micro alloys with low carbon content of less than 0.1 wt%. In general, welded pipe API 5L Grade with a method of Shield Metal Arc Welding (SMAW). Post-welding, thermal cycling will produce metallurgical changes are complicated, deformation and thermal stresses ^[6] Post Weld Heat Treatment is expected to reduce thermal stresses and decrease hardness difference between the base metal, heat affected zone and weld metal so that avoid the formation of hard martensite phase that stimulate cracks. In this study, samples of API 5L Grade B pipe used is manufactured by PT. Bakrie Pipe Industries, Bekasi. Steel pipe is connected with a circular SMAW welding techniques (girth weld) using E6010 and E7010 electrodes according 1104. API standard pipe cut and weld area is sampled with a size of 60 mm x 12.7 mm x 15 mm. Each sample was heated at a temperature 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, for 5 minutes, 10 minutes, and 30 minutes. The sample is cooled with air to room temperature. Observation of microstructure and hardness tests carried out on the base metal, heat affected zone and weld metal. Results of hardness test samples as received, the weld metal has the highest average hardness is equal to 257.77 HVN. Along with the increase in temperature up to 500°C and PWHT time up to 30 minutes can reduce the difference in hardness of the weld metal with the parent metal and HAZ at 18.75 HVN, decrease the hardness of the weld metal at 49.3 HVN, and decrease the strength of the welding area of 121.59 MPa of condition as received. The decrease was due to changes in the microstructure of the diffusion Fe₃C ferrite grain boundaries to the parent metal regions, coarse pearlite transformation into Fe₃C (spheroidite) in the HAZ, and carbon in the ferrite phase asikular diffused into pearlite phase and Fe₃C.

KEYWORDS: *API 5L Grade B, SMAW, Girth Weld, PWHT*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>High Strength Low Alloy Steel (HSLA)</i>	7
2.2 Pengaruh Paduan Mikro Baja.....	8
2.3 Sifat Mampu Las Baja Karbon Rendah	10
2.4 Shield Metal Arc Welding (SMAW).....	11
2.5 Daerah Pengelasan	15
2.6 Post Weld Heat Treatment	17
BAB III PROSEDUR DAN HASIL PERCOBAAN.....	18
3.1 Bahan.....	18
3.2 Alat	19

3.3	Prosedur Percobaan	20
	3.3.1 Diagram Alir Percobaan.....	20
	3.3.2 Persiapan Sampel Baja	21
	3.3.3 PWHT.....	22
	3.3.4 Metalografi	23
	3.3.5 Uji Kekerasan	24
3.4	Hasil Percobaan.....	25
3.4.1	Komposisi Kimia API 5L Grade B	25
3.4.2	Data Kekerasan.....	26
3.4.3	Data Metalografi.....	33
BAB IV	PEMBAHASAN.....	37
4.1	Kemampulan API 5L Grade B.....	37
4.2	Pengaruh Temperatur PWHT Terhadap Struktur Mikro... 37	
	4.2.1 Struktur Mikro Logam Induk	38
	4.2.2 Struktur Mikro HAZ	39
	4.2.3 Struktur Mikro Logam Las.....	41
4.3	Pengaruh Waktu PWHT Terhadap Kekerasan	45
	4.3.1 Pengaruh PWHT Terhadap Perbedaan Kekerasan Daerah Logam Las dengan Logam Induk dan HAZ	47
	4.3.2 Pengaruh PWHT Terhadap Perbedaan Kekerasan Daerah Logam Las	48
4.4	Pengaruh PWHT Terhadap Kekuatan	50
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	53
	DAFTAR PUSTAKA	54
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi dan kemampuan baja karbon.....	10
Tabel 3.1	Spesifikasi elektroda 6010 dan 7010	21
Tabel 3.2	Daerah pengujian distribusi kekerasan	24
Tabel 3.3	Komposisi kimia API 5L Grade B.....	25
Tabel 3.4	Daerah pengujian sampel baja API 5L Grade B	26
Tabel 4.1	Perbedaan Kekerasan Daerah Logam Las dengan Logam Las dengan Logam Induk dan HAZ	47
Tabel 4.2	Perbedaan Kekerasan Daerah Logam Las dengan Logam Las dengan Logam Induk dan HAZ	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	6
Gambar 2. 1 Skema <i>Welding Circuit</i>	12
Gambar 2. 2 Skema Proses Las Elektroda Terbungkus (SMAW)...	13
Gambar 2. 3 Fasa-fasa yang terbentuk pada saat pengelasan	16
Gambar 2. 4 Diagram <i>continuous cooling transformation</i> (CCT).....	16
Gambar 3. 1 Diagram alir percobaan	20
Gambar 3. 2 Desain sambungan lasan SMAW	22
Gambar 3. 3 Posisi titik pengujian kekerasan	24
Gambar 3. 4 Grafik uji kekerasan (T = 200°C, t = 5 menit)	27
Gambar 3. 5 Grafik uji kekerasan (T = 300°C, t = 5 menit).....	27
Gambar 3. 6 Grafik uji kekerasan (T = 400°C, t = 5 menit)	28
Gambar 3. 7 Grafik uji kekerasan (T = 500°C, t = 5menit)	28
Gambar 3. 8 Grafik uji kekerasan (T = 200°C, t = 10 menit)	29
Gambar 3. 9 Grafik uji kekerasan (T = 300°C, t = 10 menit)	29
Gambar 3. 10 Grafik uji kekerasan (T = 400°C, t = 10 menit)	30
Gambar 3. 11 Grafik uji kekerasan (T = 500°C, t = 10 menit)	30
Gambar 3. 12 Grafik uji kekerasan (T = 200°C, t =30 menit)	31
Gambar 3. 13 Grafik uji kekerasan (T = 300°C, t = 30 menit)	31
Gambar 3. 14 Grafik uji kekerasan (T = 400°C, t = 30 menit)	32
Gambar 3. 15 Grafik uji kekerasan (T = 500°C, t = 30 menit)	32
Gambar 3. 16 Foto makro Foto makro daerah lasan sampel, a) 200°C selama 5 menit, b) 10 menit, c) 30 menit, d) 300°C selama 5 menit, e)10 menit, f) 30 menit	33
Gambar 3. 17 Foto makro Foto makro daerah lasan sampel, a) 400°C selama 5 menit, b) 10 menit, c) 30 menit, d) 500°C selama 5 menit, e) 10 menit, f) 30 menit C	34
Gambar 3. 18 Struktur mikro sampel baja API 5L Grade B <i>as received</i>	35
Gambar 3. 19 Posisi titik pengamatan struktur mikro.....	36
Gambar 4. 1 Struktur mikro logam induk <i>as-received</i> perbesaran 50x dan 100 x.....	38
Gambar 4. 2 Perbandingan struktur mikro logam induk (a) PWHT 200°C selama 5 menit, (b) PWHT 500°C selama 30 menit	38
Gambar 4. 3 Struktur mikro daerah transformasi HAZ <i>as received</i> ,a) dekat logam induk, b) dekat logam lasan, perbesaran 200x	40
Gambar 4. 4 Perbandingan struktur mikro HAZ, (a) PWHT 200 °C selama 5 menit, (b) PWHT 500°C selama 30 menit	40
Gambar 4. 5 Struktur mikro daerah logam lasan 5 lapis.....	42
Gambar 4. 6 Perbandingan struktur mikro logam las daerah atas, (a) PWHT 200°C selama 5 menit, (b) PWHT 500°C selama 30 menit	43
Gambar 4. 7 Perbandingan struktur mikro logam las daerah tengah, (a) PWHT 200°C selama 5 menit, (b) PWHT 500°C selama 30 menit	44

Gambar 4. 8 Perbandingan struktur mikro logam las daerah tengah, (a) PWHT 200°C selama 5 menit, (b) PWHT 500°C selama 30 menit	45
Gambar 4. 9 Distribusi kekerasan API 5L Grade B	46
Gambar 4. 10 Kurva hubungan temperatur PWHT dan ΔHVN_1	48
Gambar 4. 11 Kurva hubungan temperatur PWHT dan ΔHVN_2	50
Gambar 4. 12 Hubungan perlakuan PWHT dan kekuatan tarik	50

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1: Diagram Fasa Fe-C
- Lampiran 2: Gambar mikrostruktur daerah lasan baja API 5L Grade B dietsa dengan Nital 3%
- Lampiran 3: Komposisi kimia dan kekuatan tarik standar API 5L
- Lampiran 4: Data distribusi kekerasan dan σ_{UTS} Sampel API 5L Grade B
- Lampiran 5: Data kekuatan daerah lasan sampel API 5L Grade B
- Lampiran 6: Laporan hasil uji spektroetri API 5L Grade B

DAFTAR SIMBOL

A1	:Nilai temperatur pada diagram Fe-Fe ₃ C, dimana terjadi perubahan Austenit menjadi ferit pada saat pendinginan.
A3	:Nilai temperatur pada diagram Fe-Fe ₃ C, dimana terjadi perubahan Austenit menjadi ferit pada saat pendinginan.
FA	: Ferit Asikular
FBB	: Ferit Batas Butir
ε	: Karbida Transisi Epsilon (Fe ₂ C)
Fe ₃ C	: Karbida Sementit
FW	: Ferit Widmanstatten
FP	: Ferit Poligonal
HAZ	: <i>Heat Affected Zone</i>
API 5L	:Spesifikasi menurut API, yang sering digunakan untuk mengalirkan minyak dan gas.
API 5L Grade B	: Jenis pipa API 5L, dan Grade B menyatakan <i>grade</i> dengan <i>Specified Minimum Yield Strength</i> 241 MPa.
HSLA	: <i>High Strength Low Alloy</i>
P	: Perlit
F	: Ferit
PWHT	: Post Weld Heat Treatment
SMAW	: Shield Metal Arc Welding
ERW	: Electric Resistance Welding
UTS	: Ultimate Tensile Strength
α	: Ferit
γ	: Austenit