

TUGAS AKHIR

PENGARUH *PREHEAT* DAN *POST WELD HEAT TREATMENT* PADA PENGELASAN *MATERIAL ASTM A 516 GRADE 60* TERHADAP NILAI *DESTRUCTIVE TEST*

Diajukan untuk melengkapi tugas – tugas guna memenuhi persyaratan mencapai gelar Sarjana Strata (S-1) Jurusan Teknik Perkapalan



Oleh:

Nama : Rizqi Jati Alwani

NIM : 2019310907

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
UNIVERSITAS DARMA PERSADA
JAKARTA**

2022



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Jl. Taman Malaka Selatan, Pondok Kelapa Jakarta Timur 13450

Telp. (021) 8649057, 8649060 Fax. (021) 8649052

Email: humas@unsada.ac.id Home page <http://www.unsada.ac.id>

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa :

Nama : Rizqi Jati Alwani

N.I.M : 2019310907

Judul :

**“Pengaruh Preheat dan Post Weld Heat Treatment pada Pengelasan
Material ASTM A 516 Grade 60 terhadap Nilai Destructive Test”**

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini adalah benar – benar asli karya cipta saya sendiri dan tidak mengandung bahan – bahan yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh pihak lain kecuali bagian – bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan dengan mengikuti kaidah penulis Tugas Akhir yang benar.

Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari kartu ilmiah yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar Pustaka di bagian akhir Tugas Akhir ini.

Jakarta, Agustus 2022

Yang Menyatakan,



Rizqi Jati Alwani

(2019310907)



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Jl. Taman Malaka Selatan, Pondok Kelapa Jakarta Timur 13450
Telp. (021) 8649057, 8649060 Fax. (021) 8649052
Email: humas@unsada.ac.id Home page <http://www.unsada.ac.id>

**SURAT KETERANGAN
PERMOHONAN UJIAN SIDANG TUGAS AKHIR DAN SEMINAR
KODE MK 31140060
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2021/2022**

Yang bertanda tangan di bawah ini, menerangkan bahwa :

Nama : Rizqi Jati Alwani
N.I.M : 2019310907
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Tugas Akhir :

“Pengaruh Preheat dan Post Weld Heat Treatment pada Pengelasan Material ASTM A 516 Grade 60 terhadap Nilai Destructive Test”

Bermaksud untuk mengajukan permohonan mengikuti Ujian Sidang Tugas Akhir dan telah menyelesaikan Tugas Akhir dan Seminar tersebut :

NO.	DOSEN PEMBIMBING	DISETUJUI TANGGAL	PARAF
1.	Arif Fadillah. S.T., M.Eng., Ph.D	05 Agustus 2022	
2.	Putra Pratama, ST.MT.	05 Agustus 2022	

Jakarta, Agustus 2022

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Perkapalan

Koordinator Tugas Akhir Prodi TP

Shanty Manullang, S.Pi. M.Si.
NIDN 0330017703

Shanty Manullang, S.Pi. M.Si.
NIDN 0330017703

Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Y. Arya Dewanto, ST. MT.
NIDN 0310096801



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Jl. Taman Malaka Selatan, Pondok Kelapa Jakarta Timur 13450

Telp. (021) 8649057, 8649060 Fax. (021) 8649052

Email: humas@unsada.ac.id Home page <http://www.unsada.ac.id>

FORM ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rizqi Jati Alwani
N.I.M : 2019310907
Judul :

**PENGARUH *PREHEAT* DAN *PWHT* PADA PENGELASAN *MATERIAL*
ASTM A 516 GRADE 60 TERHADAP NILAI *BENDING*, *TENSILE* DAN
*CHARPY IMPACT TEST***

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	02 Juni 22	✓ Format dan outline diperbaiki	
		✓ References > 20 Jurnal / Proc.	
		✓ Variabel dalam studi pustaka	
		dan metodologi diperbaiki	
		✓ Lanjutkan bab I dan bab II	
2.	03 Juni 22	Lakukan pembetulan judul sesuai	
		hasil sidang.	
		✓ Jurnal ditges kembali	
3.	07 Juni 22	- Pembetulan bab I dan bab II	
		- Lanjutkan bab III	
4.	10 Juni 22	✓ Pembetulan bab III, IV	
		- Lanjutkan bab IV	

Dosen Pembimbing I,

(Arif Fadillah. S.T., M.Eng., Ph.D)



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Jl. Taman Malaka Selatan, Pondok Kelapa Jakarta Timur 13450
Telp. (021) 8649057, 8649060 Fax. (021) 8649052

Email: humas@unsada.ac.id Home page <http://www.unsada.ac.id>

FORM ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rizqi Jati Alwani
N.I.M : 2019310907
Judul :

**PENGARUH *PREHEAT* DAN *POST WELD HEAT TREATMENT* PADA
PENGELASAN MATERIAL ASTM A 516 GRADE 60 TERHADAP NILAI
*DESTRUCTIVE TEST***

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
5	14 Jun'22	✓ pembuatan & pengelasan tabung I, II, III & IV	
		✓ Analisis laborator hasil specimen	
6	17 Juni 22	✓ Pembuatan bambaki tabung I, II & IV	
		✓ Mulai dilakukan analisis	
7	24 Juni 22	✓ Pembuatan tabung I, II, III & IV	
		✓ Analisis dimulai	
		✓ pembuatan specimen	
8	08 Juli 22	✓ pengelasan tabung IV tambahan	
		✓ Analisis setiap spesimen	
		✓ Uji & pengelasan	

9. 22 Juli 22 ✓ pengelasan tabung IV
✓ Analisis & setiap kegiatan penelitian

Dosen Pembimbing I,

(Arif Fadillah. S.T., M.Eng., Ph.D)



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Jl. Taman Malaka Selatan, Pondok Kelapa Jakarta Timur 13450





Telp. (021) 8649057, 8649060 Fax. (021) 8649052

Email: humas@unsada.ac.id Home page <http://www.unsada.ac.id>

FORM ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rizqi Jati Alwani
N.I.M : 2019310907
Judul :

**“PENGARUH PREHEAT DAN POST WELD HEAT TREATMENT
PADA PENGELASAN MATERIAL ASTM A 516 GRADE 60
TERHADAP NILAI DESTRUCTIVE TEST”**

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	7 Juni 22	Format Penulisan	
2	16 Juni 22	Lengkapi Penulisan	
3	23 Juni 22	Lengkapi Perhitungan	
4	7 Juli 22	Perbaiki Perhitungan	

Dosen Pembimbing II,



(Putra Pratama, ST.MT)



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Jl. Taman Malaka Selatan, Pondok Kelapa Jakarta Timur 13450

Telp. (021) 8649057, 8649060 Fax. (021) 8649052

Email: humas@unsada.ac.id Home page <http://www.unsada.ac.id>

FORM ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rizqi Jati Alwani
N.I.M : 2019310907
Judul :

***Pengaruh Preheat dan Post Weld Heat Treatment pada Pengelasan
Material ASTM A 516 Grade 60 terhadap Nilai Destructive***

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
5	14 Juli 22	Duat bab V & VI	
6	28 Juli 22	Perbaiki bab V & VI	
7	3 Agus 22	Simulasi Presentasi	
8	5 Agustus 2022	Siap disidangkan	

Dosen Pembimbing II,

(Putra Pratama, ST. MT)



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Jl. Taman Malaka Selatan, Pondok Kelapa Jakarta Timur 13450
Telp. (021) 8649057, 8649060 Fax. (021) 8649052
Email: humas@unsada.ac.id Home page <http://www.unsada.ac.id>

SURAT KETERANGAN PERBAIKAN TUGAS AKHIR

Memperhatikan ketentuan Sidang Tugas Akhir pada hari Selasa, 11 Agustus 2022. Untuk mengadakan perbaikan sesuai dengan daftar data perbaikan, maka:

Nama Mahasiswa : Rizqi Jati Alwani

N.I.M : 2019310907

Judul Tugas Akhir :

**“Pengaruh *Preheat* dan *Post Weld Heat Treatment* pada Pengelasan Material
ASTM A 516 Grade 60 terhadap Nilai *Destructive Test*”**

Telah memperbaiki koreksi-koreksi yang diberikan oleh Dosen Penguji pada waktu sidang :

No.	Dosen Penguji	Disetujui Tanggal	Paraf
1	Augustinus Pusaka, S.T., M.Si.	19 Oktober 2022	
2	Shanty Manullang, S.Pi., M.Si.	29 November '22	
3	Rizky Irvana, S.T., M.T.	10 April 2023	

Jakarta, September 2022

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Arif Fadillah, S.T, M.Eng, Ph.D

Dosen Pembimbing II

Putra Pratama, S.T, M.T

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Yoseph Arya Dewanto, ST, MT

Ketua Jurusan Teknik Perkapalan

Shanty Manullang, S.Pi.,M.Si

ABSTRAK

PENGARUH *PREHEAT* DAN *POST WELD HEAT TREATMENT* PADA PENGELASAN MATERIAL ASTM A 516 *GRADE 60* TERHADAP NILAI *DESTRUCTIVE TEST*

Oleh:

Rizqi Jati Alwani

2019310907

Pada pembangunan *independent tank (spherical)* pasti berkaitan dengan pengelasan. Pengelasan sendiri memiliki peran yang sangat penting dalam proses menyambungkan pelat-pelat baja. Penelitian ini menggunakan material baja ASTM A 516 *grade 60*, dimana material tersebut biasa digunakan untuk konstruksi tangki atau bejana tekan (*pressure vessel*). Material baja tersebut dilas dengan proses pengelasan SMAW (*shield metal arc welding*) dengan beberapa variabel pengelasan yang dibedakan, yaitu salah satunya diberi variabel *preheat* dan *post weld heat treatment (PWHT)* dan satu lainnya tidak diberi variabel tersebut. Lalu material akan diuji mekanis, seperti uji tekuk (*bending*), uji tarik (*tensile*), dan uji takik (*impact*) dengan kondisi suhu rendah (-20°C). Dari hasil penelitian ini akan diketahui nilai *tensile strength* dan energi yang diserap. Pada spesimen uji pengelasan dengan variabel *preheat* dan PWHT didapat bukaan sebesar 1,68 mm, dengan nilai *tensile strength* rata-rata 523 N/mm^2 , dan nilai energi rata-rata 205,15 J. Sedangkan pada spesimen tanpa variabel *preheat* dan PWHT didapat bukaan sebesar 1,21 mm, dengan nilai *tensile strength* rata-rata $473,5 \text{ N/mm}^2$, dan nilai energi rata-rata 46,7 J.

Kata Kunci: *Preheat, Post weld heat treatment, Uji tekuk, Uji tarik, Uji takik*

ABSTRACT

THE EFFECT OF PREHEAT AND POST WELD HEAT TREATMENT ON WELDING ASTM A 516 GRADE 60 MATERIAL ON DESTRUCTIVE TEST VALUE

By:

Rizqi Jati Alwani
2019310907

In the construction of independent tanks (spherical) must be related to welding. Welding itself has a very important role in the process of connecting steel plates. This research uses ASTM A 516 grade 60 steel material, where the material is commonly used for the construction of tanks or pressure vessels. The steel material is welded by the SMAW (shield metal arc welding) welding process with several different welding variables, one of which is given the preheat and post weld heat treatment (PWHT) variables and the other is not given these variables. Then the material will be tested mechanically, such as bending test, tensile test, and impact test under low temperature conditions (-20°C). From the results of the tests will be known the value of tensile strength and energy absorbed. In the welding test specimen with preheat and PWHT variables, an opening of 1.68 mm was obtained, with an average tensile strength value of 523 N/mm^2 , and an average energy value of 205.15 J. While in the specimen without preheat and PWHT variables, the opening was obtained. of 1.21 mm, with an average tensile strength value of 473.5 N/mm^2 , and an average energy value of 46.7 J.

Keywords: Bending test, Impact test, Preheat, Post weld heat treatment, Tensile test

PRAKATA

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh. Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang. Segala puji bagi Allah SWT Yang maha agung. Rahmat dan keselamatan semoga tetap dilimpahkan pada sang suri tauladan penghulu keluhuran Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarganya dan para sahabat-sahabatnya yang semuanya telah menjadi bintang penerang untuk melakukan dan menyelesaikan mata kuliah wajib ini berupa tugas akhir (skripsi).

Penelitian ini merupakan tugas akhir sebagai syarat kelulusan dan mencapai gelar Sarjana Strata I (S-1) Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Universitas Darma Persada. Tugas akhir ini berisi penelitian tentang Studi Pengaruh *Preheat* Dan *Post Weld Heat Treatment* Pada Pengelasan *Material* ASTM A 516 *Grade* 60 Terhadap Nilai *Destructive Test*.

Dalam rangkaian penelitian ini, dipaparkan hal-hal yang melatar belakangi penelitian, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, referensi-referensi terkait penelitian, hasil yang diperoleh, serta saran dan kesimpulan. Skripsi ini memuat literatur-literatur tentang teori-teori yang berkaitan dengan pengaruh *preheat* dan *post weld heat treatment* terhadap hasil nilai *destructive test*.

Tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan berupa saran sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca secara umum.

Jakarta, 5 Agustus 2022

Rizqi Jati Alwani
(2019310907)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Cargo Tank</i>	5
2.1.1. <i>Independent Tank</i>	5
2.1.2. <i>Membrane Tank</i>	6
2.1.3. <i>Semi-membrane Tank</i>	6
2.1.4. <i>Integral Tank</i>	6
2.2. Material Baja ASTM A 516 Grade 60	6
2.3. Pengelasan (<i>Welding</i>)	6
2.3.1. <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	7
2.3.2. <i>Flux Core Arc Welding (FCAW)</i>	7
2.3.3. <i>Gas Metal Arc Welding (GMAW)</i>	8
2.3.4. <i>Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)</i>	8
2.3.5. <i>Submerged Arc Welding (SAW)</i>	8
2.4. Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>)	8
2.5. Pemanasan Paska Las (<i>Post Weld Heat Treatment</i>)	9
2.6. Uji Tidak Merusak (<i>Non Destructive Test</i>)	9
2.6.1. Inspeksi Visual	9
2.6.2. <i>Liquid Penetrant Test (PT)</i>	10

2.6.3. <i>Magnetic Particle Test (MT)</i>	10
2.6.4. <i>Ultrasonic Test (UT)</i>	10
2.6.5. <i>Radiography Test (RT)</i>	11
2.7. Uji Merusak (<i>Destructive Test</i>)	11
2.7.1. <i>Tensile Test</i>	11
2.7.2. <i>Hardness Test</i>	12
2.7.3. <i>Impact Test</i>	12
2.7.4. <i>Bending Test</i>	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. Alur Penelitian (<i>Flow Chart</i>).....	15
3.2. Metode Penelitian.....	16
3.3. Studi Literatur.....	16
3.4. Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.5. Alat dan Bahan Penelitian	16
3.5.1. Alat.....	16
3.5.2. Bahan	24
3.6. Prosedur Penelitian.....	26
3.6.1. Pengelasan	26
3.6.2. <i>Penetrant Test (PT)</i>	28
3.6.3. <i>Post Weld Heat Treatment (PWHT)</i>	29
3.6.4. Uji Merusak (<i>Destructive Test</i>).....	30
BAB IV DATA DAN INFORMASI	32
4.1. <i>Independent Tanks</i>	32
4.1.1. <i>Design & Construction</i>	33
4.1.2. <i>Materials Requirement</i>	34
4.2. <i>ASTM A 516 Grade 60 Specifications</i>	35
4.2.1. <i>ASTM A 516 Chemical Requirements</i>	35
4.2.2. <i>ASTM A 516 Tensile Requirements</i>	36
4.2.3. <i>Mill Certificate</i>	36
4.3. <i>Preliminary Welding Procedure Specification</i>	37
4.4. Pengelasan (<i>Welding</i>)	37
4.4.1. <i>Welder Certificate</i>	38

4.4.2. <i>Welding Consumable Certificates</i>	39
4.4.3. <i>Run Sheet</i>	40
4.5. Inspeksi Visual	40
4.6. <i>Liquid Penetrant Test</i>	41
4.7. <i>Post Weld Heat Treatment</i>	42
4.8. <i>Destructive Test</i>	43
4.8.1. <i>Bending Test</i>	44
4.8.2. <i>Tensile Test</i>	45
4.8.3. <i>Charpy Impact Test</i>	46
BAB V PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	49
5.1. Persiapan Material	49
5.1.1. Pemotongan (<i>Cutting</i>).....	49
5.1.2. <i>Bevelling</i>	50
5.1.3. <i>Fit-up</i>	51
5.2. Pengelasan	52
5.2.1. Pengelasan <i>Test Coupon</i> Pertama.....	52
5.2.2. Pengelasan <i>Test Coupon</i> Kedua.....	55
5.3. Inspeksi Visual	56
5.4. <i>Penetrant Test</i>	57
5.4.1. <i>Pre-cleaning</i>	57
5.4.2. <i>Penetrant</i>	58
5.4.3. <i>Cleaning / Removing</i>	58
5.4.4. <i>Developer</i>	59
5.5. <i>Post Weld Heat Treatment</i>	60
5.6. <i>Destructive Test</i>	61
5.6.1. Spesimen Uji.....	62
5.6.2. <i>Bending Test (Side Bend)</i>	68
5.6.3. <i>Tensile Test</i>	72
5.6.4. <i>Charpy Impact Test</i>	78
5.7. Pembahasan	87
5.7.1. <i>Bending Test</i> dari Spesimen Uji Kedua <i>Test Coupon</i>	87
5.7.2. <i>Tensile Test</i> dari Spesimen Uji Kedua <i>Test Coupon</i>	88

5.7.3. <i>Charpy Impact Test</i> dari Spesimen Uji Kedua <i>Test Coupon</i>	89
BAB VI PENUTUP	91
6.1. Simpulan.....	91
6.2. Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA.....	92
LAMPIRAN.....	96



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Contoh LNG <i>carrier</i>	1
Gambar 1.2. Konsep <i>independent tanks (spherical)</i>	2
Gambar 2.1. Kurva tegangan - regangan	12
Gambar 2.2. <i>Charpy v-notch</i>	13
Gambar 2.3. <i>Izod</i>	13
Gambar 3.1. <i>Flow chart</i>	15
Gambar 3.2. Alat pelindung diri	17
Gambar 3.3. Meteran.....	17
Gambar 3.4. Spidol	17
Gambar 3.5. Gerinda.....	17
Gambar 3. 6. <i>Chipping hammer</i>	18
Gambar 3.7. <i>Gas cutting machine</i>	18
Gambar 3.8. <i>Centering tongs</i>	18
Gambar 3.9. Mesin las listrik SMAW.....	18
Gambar 3.10. <i>Low temperature chamber</i>	19
Gambar 3.11. <i>Oxy-gas flame</i>	19
Gambar 3.12. <i>Portable welding rod dryer</i>	19
Gambar 3.13. <i>Induction heating set</i>	19
Gambar 3.14. <i>Welding gauge</i>	20
Gambar 3.15. <i>Taper gauge</i>	20
Gambar 3.16. <i>Thermogun</i>	20
Gambar 3.17. <i>Digital clamp meter</i>	20
Gambar 3.18. <i>Stopwatch</i>	21
Gambar 3.19. Kamera	21
Gambar 3.20. Majun	21
Gambar 3.21. Kuas.....	21
Gambar 3.22. Wadah.....	22
Gambar 3.23. <i>Digital caliper</i>	22
Gambar 3.24. <i>Surface Grinding Machine</i>	22
Gambar 3.25. Mesin frais.....	22

Gambar 3.26. Mesin sekrap	23
Gambar 3.27. <i>Universal testing machine</i>	23
Gambar 3.28. <i>Impact tester</i>	23
Gambar 3.29. Material ASTM A 516 grade 60	24
Gambar 3.30. Kawat las	24
Gambar 3.31. Mata gerinda potong dan poles	24
Gambar 3.32. Oksigen dan asetilin	24
Gambar 3.33. <i>Methanol</i>	25
Gambar 3.34. <i>Penetrant</i>	25
Gambar 3.35. <i>Cleaner / remover</i>	25
Gambar 3.36. <i>Developer</i>	25
Gambar 4.1. <i>Spherical tank</i>	32
Gambar 4.2. <i>Prismatic tank</i>	32
Gambar 4.3. <i>Cylindrical tank</i>	32
Gambar 4.4. <i>Bi-lobe tank</i>	33
Gambar 4.5. Desain konstruksi <i>spherical tank</i>	33
Gambar 4.6. <i>Mill test certificate</i>	37
Gambar 4.7. <i>Welder certificate</i>	38
Gambar 4.8. <i>Welding consumable certificate (E7016)</i>	39
Gambar 4.9. <i>Welding consumable certificate (E7018-1)</i>	39
Gambar 4.10. <i>Welding inspector certificate</i>	40
Gambar 4.11. Sertifikat operator <i>penetrant test level 2 (dua)</i>	41
Gambar 4.12. <i>Liquid penetrant examination report</i>	41
Gambar 4.13. <i>Heat treatment record</i>	42
Gambar 4.14. Grafik <i>post weld heat treatment (PWHT)</i>	43
Gambar 4.15. Gedung PT. Bintang Inspeksindo Indonesia	43
Gambar 4.16. Sertifikat akreditasi laboratorium pengujian	44
Gambar 4.17. Sertifikat kalibrasi <i>universal testing machine (UTM)</i>	45
Gambar 4.18. <i>Universal testing machine</i>	45
Gambar 4.19. <i>Impact testing machine</i>	47
Gambar 4.20. Sertifikat kalibrasi <i>impact testing machine</i>	47
Gambar 4.21. <i>Low temperature chamber</i> dan <i>centering tongs</i>	48

Gambar 4.22. Sertifikat kalibrasi <i>low temperature chamber</i>	48
Gambar 5.1. Panjang <i>test coupon</i> 345 mm	49
Gambar 5.2. Lebar <i>test coupon</i> 140 mm	49
Gambar 5.3. <i>Bevel design</i>	50
Gambar 5.4. Contoh <i>bevel</i>	50
Gambar 5.5. Pengukuran sudut <i>bevel</i> menggunakan <i>welding gauge</i>	50
Gambar 5.6. <i>Bevel</i> sebesar 30 derajat	51
Gambar 5.7. <i>Joint design</i>	51
Gambar 5.8. Pengukuran <i>root gap</i> menggunakan <i>taper gauge</i>	51
Gambar 5.9. <i>Test coupon</i> diletakkan pada meja kerja	52
Gambar 5.10. Pemanasan awal (<i>preheat</i>) menggunakan <i>oxy-gas flame</i>	52
Gambar 5.11. Suhu pemanasan awal didapat sebesar 94°C.....	53
Gambar 5.12. Kawat las diletakkan pada <i>portable welding rod dryer</i>	53
Gambar 5.13. Proses pengelasan <i>test coupon</i> pertama	54
Gambar 5.14. Pada <i>layer filler ampere</i> sebesar 114.5 A	55
Gambar 5.15. Proses pengelasan <i>test coupon</i> kedua.....	55
Gambar 5.16. Pada <i>layer filler ampere</i> sebesar 111.8 A	56
Gambar 5.17. Inspeksi visual hasil pengelasan.....	56
Gambar 5.18. Proses <i>pre-cleaning</i>	57
Gambar 5.19. Proses pengaplikasian <i>red penetrant</i>	58
Gambar 5.20. Proses <i>cleaning / removing</i>	58
Gambar 5.21. Proses penyemprotan <i>developer</i>	59
Gambar 5.22. Tidak ada indikasi cacat las permukaan.....	59
Gambar 5.23. Proses <i>post weld heat treatment</i>	60
Gambar 5.24. <i>Chart temperature recorder</i>	60
Gambar 5.25. Grafik <i>post weld heat treatment (PWHT)</i>	61
Gambar 5.26. Spesimen uji dari kedua <i>test coupon</i>	62
Gambar 5.27. Konfigurasi dan orientasi spesimen uji tekuk	63
Gambar 5.28. Spesimen uji tekuk (<i>bending test</i>)	64
Gambar 5.29. Tebal spesimen uji 25,21 mm	64
Gambar 5.30. Lebar spesimen uji 10,17 mm	64
Gambar 5.31. Konfigurasi dan orientasi spesimen uji tarik.....	65

Gambar 5.32. Spesimen uji tarik (<i>tensile test</i>)	65
Gambar 5.33. Tebal spesimen uji 25,14 mm	66
Gambar 5.34. Lebar (<i>gage width</i>) spesimen uji 19,14 mm.....	66
Gambar 5.35. Konfigurasi dan orientasi spesimen uji tarik	66
Gambar 5.36. Spesimen uji tarik (<i>charpy v-notch</i>)	67
Gambar 5.37. Lebar sisi penampang spesimen uji 10,03 x 10,02 mm	68
Gambar 5.38. Pengujian tekuk (<i>bending test</i>).....	68
Gambar 5.39. Pengukuran retakan atau bukaan menggunakan <i>digital caliper</i>	69
Gambar 5.40. Kedua spesimen uji setelah selesai pengujian.....	69
Gambar 5.41. Pengukuran retakan atau bukaan menggunakan <i>digital caliper</i>	70
Gambar 5.42. Kedua spesimen uji setelah selesai pengujian.....	71
Gambar 5.43. Pengujian tarik (<i>tensile test</i>).....	72
Gambar 5.44. Kurva tegangan regangan (<i>stress-strain curve</i>) pada komputer.....	72
Gambar 5.45. Lokasi patahan kedua spesimen berada pada <i>base metal</i>	73
Gambar 5.46. Grafik tegangan spesimen uji pertama (RJA1-T1)	73
Gambar 5.47. Grafik tegangan spesimen uji kedua (RJA1-T2).....	74
Gambar 5.48. Lokasi patahan kedua spesimen berada pada <i>base metal</i>	76
Gambar 5.49. Grafik tegangan spesimen uji pertama (RJA2-T1)	76
Gambar 5.50. Grafik tegangan spesimen uji pertama (RJA2-T2)	77
Gambar 5.51. Pengujian tarik (<i>charpy v-notch</i>)	78
Gambar 5.52. Kedua spesimen setelah selesai pengujian	79
Gambar 5.53. Tipe patahan kedua spesimen hasil pengujian	79
Gambar 5.54. Kedua spesimen setelah selesai pengujian	81
Gambar 5.55. Tipe patahan kedua spesimen hasil pengujian	81
Gambar 5.56. Perlakuan khusus (<i>low temperature</i>) pada spesimen uji.....	82
Gambar 5.57. Kedua spesimen setelah pengujian.....	83
Gambar 5.58. Tipe patahan kedua spesimen hasil pengujian	83
Gambar 5.59. Kedua spesimen setelah pengujian.....	85
Gambar 5.60. Tipe patahan kedua spesimen hasil pengujian	85

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. <i>Materials requirements for cargo tank and process pressure vessels for design temperatures not lower than 0°C</i>	34
Tabel 4.2. <i>ASTM A 516 chemical requirements</i>	35
Tabel 4.3. <i>ASTM A 516 tensile requirements</i>	36
Tabel 5.1. Parameter pengelasan.....	54
Tabel 5.2. Deformasi dan distorsi hasil pengelasan.....	57
Tabel 5.3. Toleransi konfigurasi dan orientasi spesimen uji takik.....	67
Tabel 5.4. Hasil uji tekuk (<i>bending test</i>)	70
Tabel 5.5. Hasil uji tekuk (<i>bending test</i>)	71
Tabel 5.6. Hasil uji tarik (<i>tensile test</i>)	75
Tabel 5.7. Hasil uji tarik (<i>tensile test</i>)	77
Tabel 5.8. Hasil uji takik (<i>charpy v-notch</i>)	80
Tabel 5.9. Hasil uji takik (<i>charpy v-notch</i>)	82
Tabel 5.10. Hasil uji takik (<i>charpy v-notch</i>)	84
Tabel 5.11. Hasil uji takik (<i>charpy v-notch</i>)	86
Tabel 5.12. Verifikasi hasil uji tekuk (<i>bending test</i>).....	87
Tabel 5.13. Verifikasi hasil uji tarik (<i>tensile test</i>).....	88
Tabel 5.14. Verifikasi hasil uji takik (<i>charpy impact test</i>).....	89