



TUGAS AKHIR - MN 184802

**PENGARUH PROSES PENGHILANGAN LOGAM LAS
SECARA PANAS DAN DINGIN PADA PENGELASAN
ULANG BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIS**

**Anwar Rusdi Lubis
NRP 0411164000003**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**PENGARUH PROSES PENGHILANGAN LOGAM LAS
SECARA PANAS DAN DINGIN PADA PENGELASAN
ULANG BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIS**

**Anwar Rusdi Lubis
NRP 0411164000003**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT - MN 184802

**THE INFLUENCE OF HOTLY AND COLDLY WELD METAL
REMOVAL PROCESS ON REWELDING OF ASTM A36
STEEL TO THE MECHANICAL PROPERTIES**

**Anwar Rusdi Lubis
NRP 0411164000003**

**Supervisor
Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PROSES PENGHILANGAN LOGAM LAS SECARA PANAS DAN DINGIN PADA PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIS

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANWAR RUSDI LUBIS
NRP 0411164000003

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing


Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
NIP 19700615 199512 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir Dewanti Ariyawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 10 Januari 2020

LEMBAR REVISI

PENGARUH PROSES PENGHILANGAN LOGAM LAS SECARA PANAS DAN DINGIN PADA PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIS

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 9 Januari 2020

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANWAR RUSDI LUBIS
NRP 0411164000003

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.

3. Totok Yulianto, S.T., M.T.

4. Danu Utama, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.

SURABAYA, 10 Januari 2020

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, karena atas karunia dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH PROSES PENGHILANGAN LOGAM LAS SECARA PANAS DAN DINGIN PADA PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIS”** dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan, ilmu dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Dony Setyawan, S.T., M.Eng. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
3. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
4. Bapak Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D., Bapak Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T., Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., Bapak Danu Utama, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Totok Yulianto, S.T, M.T, selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
6. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Teknologi dan Manajemen Produksi Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
7. Bapak, Mamak, Ucok dan Yari selaku keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, motivasi dan kasih sayang;

8. Nadhilah selaku teman, sahabat dan orang yang menemani, mengingatkan serta memotivasi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir;
9. Pak Pardi, Pak Deny, Mas Joko, Pak Didik, Pak Fairil dan Mas Agil, atas segala saran dan waktu yang diberikan untuk membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir;
10. Keluarga P-56 (IRONCLAD) yang selalu mendukung dan berjuang bersama mulai awal masuk perkuliahan hingga lulus;

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 9 Januari 2020

Anwar Rusdi Lubis

PENGARUH PROSES PENGHILANGAN LOGAM LAS SECARA PANAS DAN DINGIN PADA PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIS

Nama Mahasiswa : Anwar Rusdi Lubis
NRP : 04111640000003
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Pada industri perkapalan, proses pengelasan merupakan aspek yang penting dimana kualitas pengelasan menjadi salah satu faktor penting penilaian kualitas kapal. Setiap pengelasan yang dilakukan pada kapal harus dipastikan bahwa hasil pengelasan tersebut memenuhi *standard* dengan berbagai pengujian oleh Departemen QA/QC galangan dan pihak *surveyor* dari *class*. Apabila ditemukan adanya cacat las, maka harus dilakukan pengelasan ulang dengan cara membongkar las lasan yang cacat tadi kemudian melakukan pengelasan ulang sampai tidak ditemukan cacat pada pengelasan. Pekerjaan pembongkaran lasan ini bisa menggunakan bantuan *Carbon Arc Gouging* (CAG) secara panas dan gerinda tangan secara dingin. Alat yang paling banyak digunakan pada prakteknya di galangan untuk membongkar lasan yang cacat adalah menggunakan CAG karena membutuhkan waktu yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan gerinda, namun karena suhu kerjanya yang cukup tinggi hingga 1600°C akan menyebabkan perubahan sifat logam pada sisi bekas *gouging* sehingga berkemungkinan mempengaruhi hasil pengelasan ulang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan CAG dan gerinda tangan dalam proses pembongkaran las lasan pada hasil pengelasan ulang terhadap sifat mekanis.

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan sekali pengelasan ulang dengan alat pembongkaran logam las sebelum dilakukan pengelasan ulang menggunakan CAG dan gerinda tangan. Proses pengelasan yang digunakan untuk pengelasan baja karbon ASTM A36 adalah *flux cored arc welding* (FCAW). Selanjutnya dilakukan pengujian yang mencakup : uji tarik, uji *impact* dan uji kekerasan.

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa kuat tarik *test coupon* yang pembongkaran logam lasnya dengan gerinda 1.86% lebih besar dibandingkan *test coupon* yang pembongkaran logam lasnya dengan CAG. Nilai energi *absorb test coupon* yang pembongkaran logam lasnya dengan gerinda 1.44% lebih kecil dibandingkan *test coupon* yang pembongkaran logam lasnya dengan CAG. Nilai kekerasan *test coupon* yang pembongkaran logam lasnya dengan gerinda 6.48% lebih besar dibandingkan *test coupon* yang pembongkaran logam lasnya dengan CAG pada daerah *weld metal*, sedangkan pada daerah HAZ dan *base metal* memiliki *trend* nilai kekerasan yang berbeda dengan nilai kekerasan di daerah *weld metal*. Pembongkaran logam las dengan CAG membutuhkan waktu yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan gerinda.

Kata kunci: ASTM A36, CAG, gerinda, kuat tarik, kekerasan, *impact*

THE INFLUENCE OF HOTLY AND COLDLY WELD METAL REMOVAL PROCESS ON REWELDING OF ASTM A36 STEEL TO THE MECHANICAL PROPERTIES

Author : Anwar Rusdi Lubis
Student Number : 0411164000003
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

In the shipping industry, the welding process is an important aspect where welding quality is an essential factor in assessing ship quality. Every weld joint carried out on the ship must be ensured that the welding results meet the standards with various tests by the QA / QC Department of the shipyard and the surveyors of the class. If a welding defect is found in the welding results, it must be rewelding by removing the weld metal that was defective and then conduct rewelding until no defects are found in the weld joint. The work of removing this weld metal can use Carbon Arc Gouging (CAG) hotly and hand grinding coldly. The most widely used tool in practice in shipyards to removing flawed weld metal is CAG because it requires a relatively faster time compared to grinding, but because the working temperature is quite high up to 1600 C deg will cause changes in metal properties on the side of the former gouging so that it is likely to affect the results of rewelding. The purpose of this study was to determine the effect of the use of CAG and hand grinding in the process of weld metal removal on the results of the rewelding of mechanical properties.

In this study, one time rewelding was done with weld metal removal tool before rewelding using CAG and hand grinding. The welding process used for welding ASTM A36 carbon steel is flux cored arc welding (FCAW). Furthermore, the tests include tensile test, impact test, and hardness test.

Based on the test results it can be seen that the tensile strength of the coupon test which is remove the weld metal with a grinder is 1.86% greater than the coupon test which is remove the weld metal with CAG. The absorb energy value of coupon test which is remove the weld metal with a grinder is 1.44% smaller than the coupon test which is remove the weld metal with CAG. The hardness value of the coupon test which is remove the weld metal with a grinder is 6.48% greater than the coupon test which is remove the weld metal with CAG in the weld metal area, whereas in the HAZ and base metal area have a trend of the hardness value which is different from the hardness value in the weld metal area. Weld metal removal with CAG requires a relatively faster time compared to weld metal removal with hand grinding.

Keywords: ASTM A36, CAG, hand grinding, tensile strength, impact, hardness

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Hipotesis.....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. Dasar Teori.....	5
2.1.1. Teori Dasar Pengelasan	5
2.1.2. Baja Karbon A36	5
2.1.3. <i>Flux Cored Arc Welding</i> (FCAW)	6
2.1.4. <i>Carbon Arc Gouging</i> (CAG)	9
2.1.5. Sifat Mekanis	9
2.1.6. Pengujian Tarik	10
2.1.7. Pengujian <i>Impact</i>	12
2.1.8. Pengujian Kekerasan	12
BAB 3 METODOLOGI	15
3.1. Bahan dan Peralatan	15
3.1.1. Bahan Penelitian	15
3.1.2. Peralatan Penelitian	15
3.1.2.1. Peralatan Persiapan Material	15
3.1.2.2. Peralatan Proses Pengelasan.....	15
3.1.2.3. Peralatan Pembuatan Spesimen Uji.....	16
3.1.2.4. Peralatan Proses Pengujian.....	16
3.2. Proses Pengelasan	16
3.2.1. Pelaksanaan Pengelasan	18
3.2.1.1. Tahap Persiapan	18
3.2.1.2. Tahap Pengelasan	19
3.3. Prosedur Penelitian.....	19
3.3.1. Pemotongan Material.....	20
3.3.2. Pembuatan Spesimen Uji.....	21
3.3.3. Pengujian Tarik	21
3.3.4. Pengujian <i>Impact</i>	22

3.3.5. Pengujian Kekerasan	23
3.4. Lokasi Pengelasan dan Pengujian	23
3.5. Bagan Alir	24
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Analisis Hasil Pengujian Tarik.....	25
4.2. Analisis Hasil Pengujian <i>Impact</i>	27
4.3. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan	29
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1. Kesimpulan.....	33
5.2. Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....	35
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A PERALATAN DAN BAHAN	
LAMPIRAN B WPS DAN MILL CERTIFICATE	
LAMPIRAN C DATA HASIL PENGUJIAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Deposit FCAW	7
Gambar 2. 2 Pengaturan Mesin Las FCAW	8
Gambar 2. 3 CAG dengan Udara Tekan.....	9
Gambar 2. 4 Diagram Tegangan-Regangan	11
Gambar 3. 1 Material Baja A36.....	15
Gambar 3. 2 Pembagian <i>Test Coupon</i> Setiap Variasi Pengelasan.....	18
Gambar 3. 3 Pemasangan <i>Stopper</i>	18
Gambar 3. 4 Proses Pengelasan dan <i>Gouging</i>	19
Gambar 3. 5 Proses Pemotongan <i>Test Coupon</i>	20
Gambar 3. 6 Spesimen Uji Tarik	22
Gambar 3. 7 Dimensi dan Bentuk Spesimen Pengujian <i>Impact</i>	23
Gambar 4. 1 Grafik Pengujian Tarik	26
Gambar 4. 2 Grafik Pengujian <i>Impact</i>	28
Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Kekerasan	30

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia ASTM A36.....	6
Tabel 3. 1 Parameter Pengelasan <i>Flux Cored Arc Welding</i> (FCAW)	17
Tabel 4. 1 Data Pengujian Tarik.....	26
Tabel 4. 2 Data Pengujian <i>Impact</i>	28
Tabel 4. 3 Data Pengujian Kekerasan.....	29

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Industri perkapalan yang semakin maju seperti sekarang ini tidak bisa lepas dari teknologi pengelasan dalam proses penyambungan material seperti baja. Pengelasan adalah teknologi manufaktur dasar yang diperlukan untuk setiap sektor industri. Dalam proses reparasi kapal seperti *replating* tidak lepas pada proses pengelasan ulang atau *rework* dikarenakan adanya kesalahan yang terjadi dalam pengerjaan. Akibat dari kesalahan pengerjaan dapat menyebabkan terjadinya cacat las, deformasi ataupun retak las yang mengharuskan dilakukannya perbaikan salah satunya dengan pengelasan ulang. Hal tersebut dapat mempengaruhi sifat mekanis material.

Sebelum melakukan pengelasan ulang, tentu harus dilakukan pembongkaran pada logam las yang ditemukan adanya cacat dari hasil pengujian tertentu. Pembongkaran logam las ini dapat dilakukan menggunakan *Carbon Arc Gouging* (CAG) secara panas dan gerinda tangan secara dingin. Alat yang paling banyak digunakan pada prakteknya di galangan untuk membongkar lasan yang cacat adalah menggunakan CAG karena membutuhkan waktu yang relatif cepat dibandingkan dengan gerinda tangan, namun karena suhu kerjanya yang cukup tinggi hingga 1600°C akan menyebabkan perubahan sifat logam pada sisi bekas *gouging* sehingga bisa mempengaruhi hasil pengelasan ulang.

Dalam penelitian ini akan dibandingkan sifat mekanis dari hasil pengelasan tanpa *rework*, pengelasan *rework* yang dibongkar dengan CAG dan pengelasan *rework* yang dibongkar dengan gerinda tangan. Sifat mekanis yang akan diuji adalah uji tarik, uji *impact* dan uji kekerasan. Masing-masing pengujian akan dilakukan analisa untuk mengetahui seberapa besar perbedaan sifat mekanis yang dihasilkan dari masing-masing variasi pengujian. Material yang akan digunakan pada penelitian ini adalah baja ASTM A36 dengan proses las *Flux Cored Arc Welding* (FCAW).

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan nilai kuat tarik material hasil pengelasan ulang yang penghilangan logam lasnya menggunakan CAG dan gerinda tangan?
2. Bagaimana perbedaan nilai energi *absorb* material hasil pengelasan ulang yang penghilangan logam lasnya menggunakan CAG dan gerinda tangan?
3. Bagaimana perbedaan nilai kekerasan material hasil pengelasan ulang yang penghilangan logam lasnya menggunakan CAG dan gerinda tangan?
4. Berapakah perbedaan waktu yang dibutuhkan antara penghilangan logam las menggunakan CAG dan gerinda tangan pada proses pengelasan ulang?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui seberapa besar perbedaan nilai kuat tarik material hasil pengelasan ulang yang penghilangan logam lasnya menggunakan CAG dan gerinda tangan.
2. Mengetahui seberapa besar perbedaan nilai energi *absorb* material hasil pengelasan ulang yang penghilangan logam lasnya menggunakan CAG dan gerinda tangan.
3. Mengetahui seberapa besar perbedaan nilai kekerasan material hasil pengelasan ulang yang penghilangan logam lasnya menggunakan CAG dan gerinda tangan.
4. Mengetahui seberapa besar perbedaan waktu yang dibutuhkan antara penghilangan logam las menggunakan CAG dan gerinda tangan pada proses pengelasan ulang.

1.4. Batasan Masalah

Dengan mengutamakan hasil yang optimal dan fokus pada pembahasan maka digunakan batasan dari lingkup permasalahan sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah baja ASTM A36 dengan bentuk sambungan *butt joint (single v)*.
2. Ukuran test coupon 300x150x12 mm sebanyak 6 buah.
3. Proses las yang digunakan adalah *flux core arc welding (FCAW)* dengan *electrode E71T-1* dan gas CO² sebagai gas pelindung.

4. Proses penghilangan logam las secara panas yaitu menggunakan *carbon arc gouging* (CAG) dan secara dingin yaitu menggunakan gerinda tangan.
5. Proses *gouging* dengan CAG dilakukan pada posisi *flat*. CAG yang digunakan tidak dilengkapi dengan kompresor yang menghasilkan udara tekan sehingga lelehan logam las hasil *gouging* jatuh dari material dengan memanfaatkan gaya gravitasi.
6. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *hardness vickers* pada 9 titik tiap *test coupon* yaitu 3 titik pada daerah *weld metal*, 3 titik pada daerah HAZ dan 3 titik pada daerah *base metal*.
7. Jumlah *test piece* pada pengujian tarik sebanyak 3 *piece* tiap *test coupon*.
8. Jumlah *test piece* pada pengujian *impact* sebanyak 3 *piece* tiap *test coupon* dengan lokasi takik pada HAZ (*Fusion Line* + 5mm).

1.5. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Hasil evaluasi pengaruh proses penghilangan logam las terhadap sifat mekanis material hasil pengelasan ulang dapat dijadikan acuan oleh pihak galangan dan *owner* kapal untuk memilih alat pembongkaran logam las yang optimal mengacu pada sifat mekanis.
2. Sebagai informasi penting guna meningkatkan pengetahuan bagi peneliti dalam bidang pengujian las.

1.6. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

1. Penghilangan logam las secara panas dengan CAG akan menghasilkan nilai kuat tarik dan nilai kekerasan yang lebih kecil dibandingkan penghilangan logam las secara dingin dengan gerinda tangan karena pendinginan yang lambat setelah aplikasi CAG menyebabkan struktur mikro semakin besar dan material akan bersifat ulet namun kekuatannya menurun.
2. Penghilangan logam las secara panas dengan CAG akan menghasilkan nilai energi *absorb* yang lebih besar dibandingkan penghilangan logam las secara dingin

dengan gerinda tangan karena pendinginan yang lambat setelah aplikasi CAG menyebabkan struktur mikro semakin besar dan material akan bersifat ulet.

3. Ada perbedaan sifat mekanis material hasil pengelasan ulang yang signifikan antara penghilangan logam las secara panas dengan CAG dan penghilangan logam las secara dingin dengan gerinda tangan.

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1. Dasar Teori

2.1.1. Teori Dasar Pengelasan

Definisi pengelasan menurut *American Welding Society* adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur pencairan yang dilakukan dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). Dari definisi tersebut dapat diambil pengertian jika pengelasan merupakan proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan daerah setempat yang akan disambung hingga mencair dan selanjutnya terjadi ikatan metalurgi pada logam tersebut. [AWS D1.1, 2015]

(DIN) *Deutche Industrie Normen* mendefinisikan las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Dari definisi diatas dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari berbagai batang logam dengan menggunakan energi panas. [Wiryosumarto, 2000]

2.1.2. Baja Karbon A36

ASTM A36 merupakan material yang sangat banyak digunakan dalam perkapalan. ASTM A36 Memiliki *weldability* yang sangat baik dan sangat cocok untuk berbagai macam proses produksi, seperti *grinding, punching, tapping, drilling* dan permesinan. ASTM A36 memiliki nilai *yield strength* yang lebih rendah dibandingkan *Cold Rolled Steel C1018* (54.000 psi), hal tersebut membuat ASTM A36 lebih mudah untuk dibentuk. Pada **Tabel 2.1** di halaman berikutnya merupakan komposisi kimia yang terdapat dalam ASTM A36. ASTM A36 biasa digunakan dalam bentuk seperti *Rectangle bar, Circular rod, Square bar, H-beams and I-beams*. [ASME Sect.II A, 2017]

Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon. Oleh karena itu, baja jenis ini dikelompokkan kedalam tiga kelompok besar berdasarkan kadar karbon yang terkandung di dalamnya. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel/Mild steel*), kadar karbon sampai 0.30%. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan, kecuali dengan pengerasan

permukaan. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*), kadar karbon 0.30-0.70% masih terdiri dari ferrit dan perlit juga, dengan perlit cukup banyak, sehingga baja ini lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan tetapi getas. Baja Karbon Tinggi (*High carbon steel*), kadar karbon lebih dari 0.70% lebih kuat dan lebih keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Pada baja karbon apabila semakin besar kandungan karbonnya maka material akan semakin kuat tetapi ketangguhannya menurun. [ASME Sect.II A, 2017]

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia ASTM A36

<i>Element</i>	<i>Content</i>
Carbon, C, max, %	0.25%
Copper, Cu, min, %	0.2%
Iron, Fe	98%
Manganese, Mn, %	0.8%
Phosphorus, P, max, %	0.03%
Silicon, Si, %	0.4%
Sulfur, S, max, %	0.03%

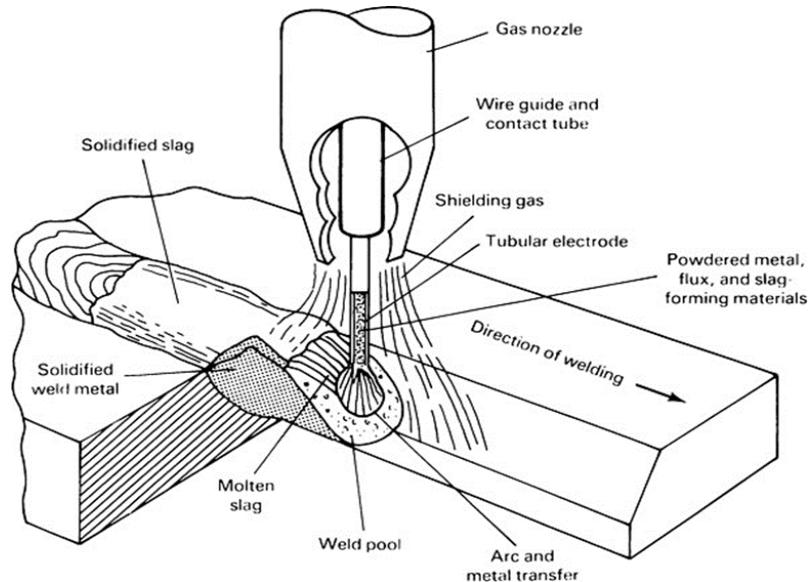
Sumber: ASME Sect.II A, 2017

2.1.3. *Flux Cored Arc Welding (FCAW)*

Pengelasan *Flux Cored Arc Welding* adalah pengelasan yang menggunakan panas dari busur listrik yang dihasilkan antara *filler* metal yang kontinu dari benda kerja. Pengelasan FCAW hampir sama dengan GMAW yang membedakan adalah pada FCAW menggunakan *electrode* tubular yang didalamnya terdapat *flux* yang akan berfungsi sebagai gas pelindung sedangkan pada GMAW menggunakan *solid wire*. Flux yang ada di dalam *electrode* akan memberikan perlindungan pada *molten weld pool* terhadap udara luar, memperbaiki kekuatan karena reaksi kimia dan campuran, memperbaiki *weld shape*. [ASM International Vol.6, 1993]

Perlindungan menggunakan *self-shielded* tidak memerlukan perlindungan tambahan berupa *external gas shielding*, akan tetapi beberapa *electrode* pada FCAW memerlukannya. Jika *external gas shielding* diperlukan biasanya gas yang digunakan adalah karbon dioksida, argon, atau campuran keduanya. Campuran dari 25% argon – 75% karbon dioksida bisa digunakan untuk memperbaiki karakteristik busur las dan memperbaiki sifat mekanik dari

hasil pengelasan. Proses deposit FCAW dapat dilihat pada **Gambar 2.1** di bawah. [ASM International Vol.6, 1993]



Gambar 2. 1 Proses Deposit FCAW
Sumber: ASM International Vol.6, 1993

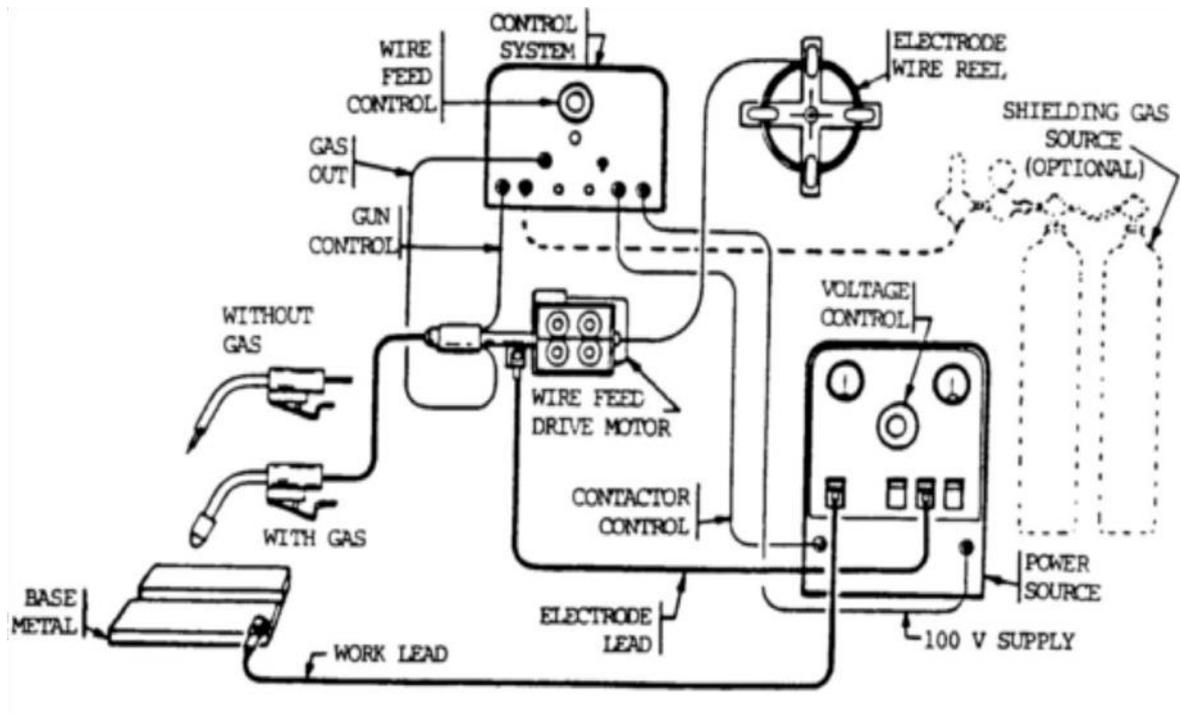
Keunggulan pengelasan FCAW sebagai berikut:

- Proses pengelasan lebih cepat dibandingkan dengan SMAW, karena pada FCAW tidak perlu sering mengganti kawat las karena sudah dalam bentuk *wire roll* yang panjang.
- FCAW merupakan jenis mesin las yang otomatis dan semiotomatis sehingga lebih mudah digunakan.
- FCAW memiliki perlindungan:
 - a. *Self shielding* FCAW (perlindungan sendiri), yaitu merupakan proses melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan *flux*.
 - b. *Dual shielding* FCAW (perlindungan ganda) yaitu perlindungan logam las yang mencair dengan menggunakan *flux* dan gas.

Kekurangan pengelasan FCAW sebagai berikut:

- Dikarenakan menggunakan *flux* sebagai pelindung maka diperlukan proses pembersihan setelah proses pengelasan selesai.
- Terkadang akan muncul cacat *porosity* atau lubang-lubang kecil jika terkena hembusan angin yang mencapai 5 mph.

- Dari segi harga memang mesin las FCAW cukup mahal untuk melakukan pengelasan bagi usaha kecil menengah.



Gambar 2. 2 Pengaturan Mesin Las FCAW

Sumber: ASM International Vol.6, 1993

Pada **Gambar 2.2** di atas menggambarkan tentang pengaturan dari alat FCAW. Peralatan FCAW terdiri atas *wire feeder* yang berfungsi untuk menarik kawat las dan mengeluarkannya melalui *welding gun*. Pada proses ini kawat las dapat dikeluarkan secara terus menerus sampai proses pengelasan selesai. *Work lead* berfungsi untuk menghubungkan kabel masa dari mesin ke benda kerja. *Welding gun* berfungsi untuk melakukan proses pengelasan yang merupakan tempat keluarnya kawat las dan gas pelindung. *Ampere* dan *Volt* kontrol berfungsi untuk mengontrol besar kecilnya *ampere* dan voltase. Biasanya pengontrol ini terdapat pada mesin las atau *wire feeder*. Tabung gas berfungsi untuk menyimpan gas pelindung yang digunakan sebagai gas pelindung saat proses pengelasan berlangsung. [ASM International Vol.6, 1993]

Klasifikasi elektroda FCAW

E 7 0 T – 1

Keterangan :

E = Simbol elektroda atau kawat las

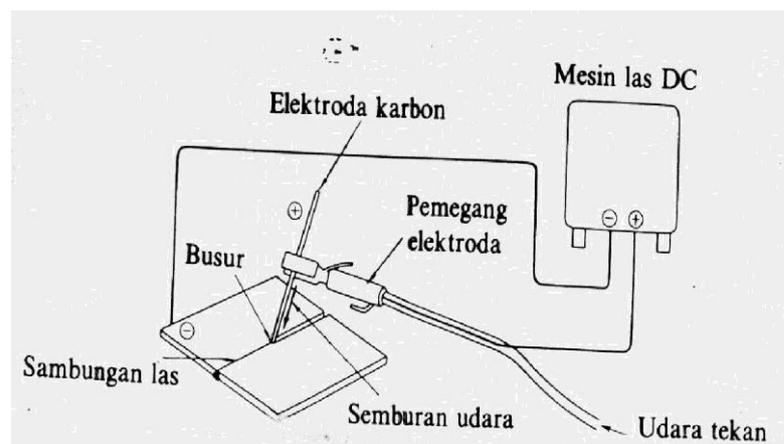
7 = Kekuatan tarik minimum dari kawat las tersebut (x10.000 psi)

0 = Posisi pengelasan yang berarti untuk posisi *flat* dan horizontal, namun jika diganti 1 maka dapat digunakan untuk semua posisi

1 = Tipe gas dan performa dari kawat las

2.1.4. Carbon Arc Gouging (CAG)

Carbon arc gouging adalah alat yang digunakan untuk pemotongan logam dimana logam yang dipotong dicairkan dengan menggunakan busur listrik yang dihasilkan oleh elektroda karbon. Logam cair yang dihasilkan oleh busur listrik dari elektroda karbon ini kemudian disingkirkan dengan dua cara yaitu menggunakan udara tekan yang meniup logam cair atau dengan memanfaatkan gaya gravitasi yang terjadi pada logam cair. Pemotongan sambungan las dengan CAG lebih banyak digunakan dibandingkan pemotongan dengan gerinda karena membutuhkan waktu yang relatif lebih cepat. Proses pemotongan sambungan las oleh CAG dengan menggunakan udara tekan ditunjukkan pada **Gambar 2.3** di bawah. [Wiryosumarto, 2000]



Gambar 2.3 CAG dengan Udara Tekan

Sumber: Wiryosumarto, 2000

2.1.5. Sifat Mekanis

Sifat mekanis adalah salah satu sifat terpenting karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban/gaya sampai menimbulkan kerusakan pada bahan tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting adalah: [AWS Part A Chapter 6, 2008]

- Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan patah. Ada banyak jenis kekuatan, masing-masing tergantung pada bagaimana beban diterapkan pada material seperti kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan torsional, kekuatan *impact* dan kekuatan kelelahan.

- Kekerasan (*hardness*) menyatakan kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, indentensi atau penetrasi. Kekerasan logam juga memungkinkan pendekatan pada kekuatan tariknya.
- Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan kerusakan. Selain itu juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja pada suatu kondisi tertentu.
- Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang yang besarnya masih jauh dibawah kekuatan elastisnya. Kelelahan logam disebabkan oleh tindakan mekanik siklik atau berulang pada daerah yang sama. Beban berganti-ganti secara bergantian antara tegangan yang tinggi dan beberapa tekanan yang lebih rendah atau sebaliknya. Tindakan ini dapat terjadi dengan cepat ataupun secara perlahan yang berkelanjutan.
- Keuletan (*ductility*) merupakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastis yang dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi. Dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.

2.1.6. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu metode pengujian material yang paling luas penggunaannya. Pada pengujian tarik spesimen uji mengalami pembebanan satu sumbu (*uniaxial loading*) yang menyebabkan terjadinya deformasi baik elastis maupun plastis. Dari pengujian ini dapat dipelajari perilaku dari material sebagai respon terhadap beban yang diberikan. Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan perubahan-perubahannya dari suatu logam terhadap gaya tarik yang diberikan. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik adalah kurva tegangan, regangan, parameter kekuatan, dan perpanjangan. [Japan Welding Engineering Society,2006]

“*Ultimate Tensile Strength*” dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum. Perubahan panjang dalam kurva disebut sebagai regangan (ϵ), yang didefinisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik (ΔL) terhadap panjang batang

mula-mula (L_0). Tegangan yang dihasilkan pada proses ini disebut dengan tegangan (σ), dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi (F) pada suatu luas penampang awal (A_0). Diagram regangan-tegangan dapat dilihat pada **Gambar 2.4** di bawah. Tegangan normal tersebut akibat beban tarik statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

σ = Tegangan normal akibat beban tarik (N/mm^2)

F = Beban tarik (N)

A_0 = Luas penampang spesimen mula-mula (mm^2)

Regangan akibat beban tarik statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

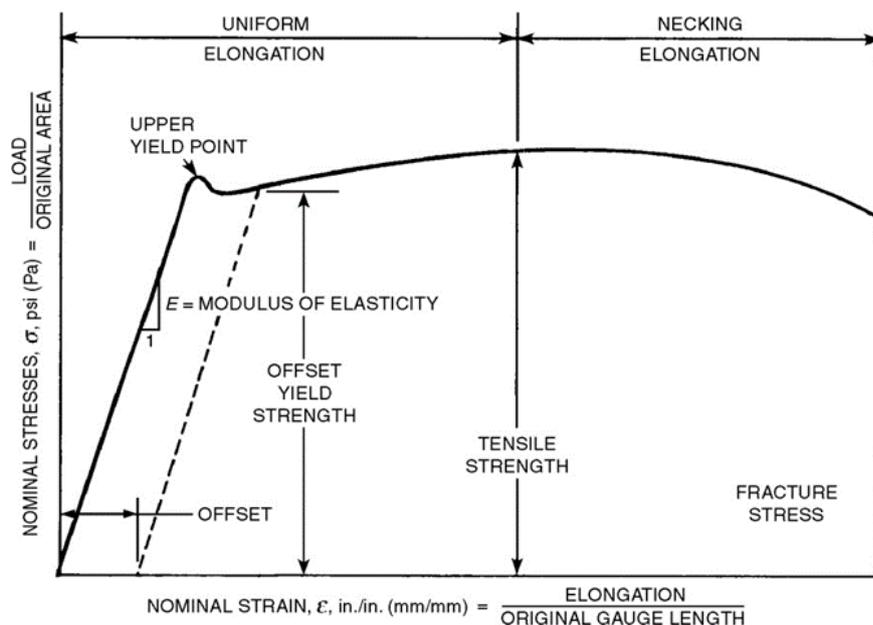
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

ϵ = Regangan akibat beban tarik

ΔL = Perubahan panjang spesimen akibat beban tarik (mm)

L = Panjang spesimen mula-mula (mm)



Gambar 2. 4 Diagram Tegangan-Regangan

Sumber: AWS edition Vol. 1, 2001

Pada pengujian tarik, akan didapatkan hasil pengujian berupa data, diantaranya adalah tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), tegangan luluh (*yield strength*), regangan (*elongation*), pengurangan luas penampang (*reduction of area*), lokasi dan mode kepecahan, dan diagram tegangan-regangan (*stress-strain diagram*). Pada gambar untuk daerah linier tidak terjadi *initial stress* maupun regangan oleh karena itu pada daerah tersebut juga disebut daerah elastis sampai batas titik luluh atau *yield point*. Pada puncak kurva merupakan *ultimate tensile strength* dimana kekuatan material akan meningkat sampai maksimal pada puncaknya dan membutuhkan tegangan untuk mencapai titik putus atau *fracture point*. [Japan Welding Engineering Society,2006]

2.1.7. Pengujian Impact

Pengujian *Impact (impact testing)* digunakan untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan uji yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statik. Prinsip awal pengujian ini adalah karena terjadinya mode kepecahan *brittle* pada saat suhu rendah, tegangan yang terjadi sangat tinggi dan *triaxial state of stress*. Untuk melakukan pengujian terhadap hal itu dapat menggunakan *fatigue test* tetapi waktu yang dibutuhkan lebih lama dan biaya yang mahal. Oleh karena itu uji *impact* dilakukan karena waktu serta biaya yang murah. [ASME Sect.III, 2017]

2.1.8. Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan istilah yang digunakan dalam dunia industri, yang dapat diartikan sebagai kemampuan sebuah material untuk menahan indentasi permanen atau deformasi ketika kontak dengan beban *indenter*. Secara umum dapat diartikan sebagai penekanan sebuah *indenter* yang mempunyai geometri dan sifat mekanik pada sebuah bahan uji material. Sebuah *indenter* dapat berbentuk bola (*spherical, brinell test*), berbentuk segi lima (*pyramidal, vickers test* atau *knoop test*), atau berbentuk kerucut (*rockwell test*). [AWS edition Vol. 1, 2001]

Penentuan kekerasan dari sebuah metal itu mudah dilakukan, karena pada umumnya banyak variasi metode yang dapat digunakan. Ada empat dasar metode penentuan kekerasan metal yaitu *brinell, rockwell, vickers* dan *microhardness*. *Microhardnes* sendiri dibagi dua yaitu *vickers* dan *knoop*. [AWS edition Vol. 1, 2001]

Pengujian kekerasan dengan metode *brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (*indenter*) yang

ditekankan pada permukaan material uji tersebut (spesimen). Idealnya pengujian *brinell* diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan *brinell* sampai 400 HB. Angka Kekerasan *brinell* (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (Koefisien) dari beban uji (F) dalam newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. [AWS edition Vol. 1, 2001]

Metode *rockwell* ini meliputi beberapa variasi prinsip dasar tetapi menggunakan beberapa diameter *indenter* yang berbeda. *Indenter* yang digunakan pada metode ini adalah *berlian Brale* dengan diameter 1/16, 1/8, 1/4, dan 1/2 in. Indentasi yang dihasilkan oleh metode *rockwell* lebih kecil jika dibandingkan dengan metode *brinell*, hal tersebut memungkinkan untuk pengetesan pada material yang lebih sempit. Menggunakan macam-macam *indenter* tadi, berbagai macam beban bisa di aplikasikan hampir disemua material. Beban yang diberikan memang lebih kecil dibandingkan dengan metode *brinell* yaitu hanya di antara rentang 60 – 150 kg. [AWS edition Vol. 1, 2001]

Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. [AWS edition Vol. 1, 2001]

Metode yang terakhir adalah metode *microhardness*, alasan dinamakan *microhardness* karena hasil dari pengujian ini perlu adanya pembesaran melalui *microscope*. Pada pengujian ini indentornya menggunakan intan kasar yang dibentuk menjadi piramida. Bentuk lekukan intan tersebut adalah perbandingan diagonal panjang dan pendek dengan skala 7:1. Pengujian ini untuk menguji suatu material adalah dengan menggunakan beban statis. Bentuk *indenter* yang khusus berupa *knoop* memberikan kemungkinan membuat kekuatan yang lebih rapat dibandingkan dengan lekukan *vickers*. Hal ini sangat berguna khususnya bila mengukur kekerasan lapisan tipis atau mengukur kekerasan bahan getas dimana kecenderungan menjadi patah sebanding dengan volume bahan yang ditegangkan. [AWS edition Vol. 1, 2001]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Bahan dan Peralatan

3.1.1. Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah baja karbon rendah A36 dengan ukuran 300 x 150 x 12 mm sejumlah 6 buah dapat dilihat pada **Gambar 3.1** di bawah.



Gambar 3. 1 Material Baja A36

3.1.2. Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan peralatan yang memiliki fungsi masing-masing sesuai dengan kegunaannya mulai pada tahap persiapan material, proses pengelasan, pembuatan spesimen uji dan proses pengujian.

3.1.2.1. Peralatan Persiapan Material

1. *Grooving machine*
2. Mesin gerinda
3. Penggaris

3.1.2.2. Peralatan Proses Pengelasan

1. Mesin Las FCAW
2. Kawat Las E71-T1
3. Gas

4. *Oxygen Acetylene Gas*
5. *Torch*
6. *Infrared Thermometer*
7. *Welding Helmet*
8. *Welding Glove*
9. Sikat
10. *Stopper*
11. *Steel Marker*
12. Gerinda

3.1.2.3. Peralatan Pembuatan Spesimen Uji

1. Gergaji
2. Mesin *Scrub*
3. Mesin Poles
4. Ragum
5. Kertas Gosok
6. Larutan Etsa
7. Jangka Sorong
8. Kikir

3.1.2.4. Peralatan Proses Pengujian

1. *Universal Testing Machine*
2. Mesin Pengujian *Impact*
3. Mesin Pengujian *Hardness Vickers*

3.2. Proses Pengelasan

Proses pengelasan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW). Pada proses pengelasan menggunakan gas dengan *filler metal* E71T-1. Parameter yang digunakan dalam proses pengelasan ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1** di halaman berikutnya.

Tabel 3. 1 Parameter Pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW)

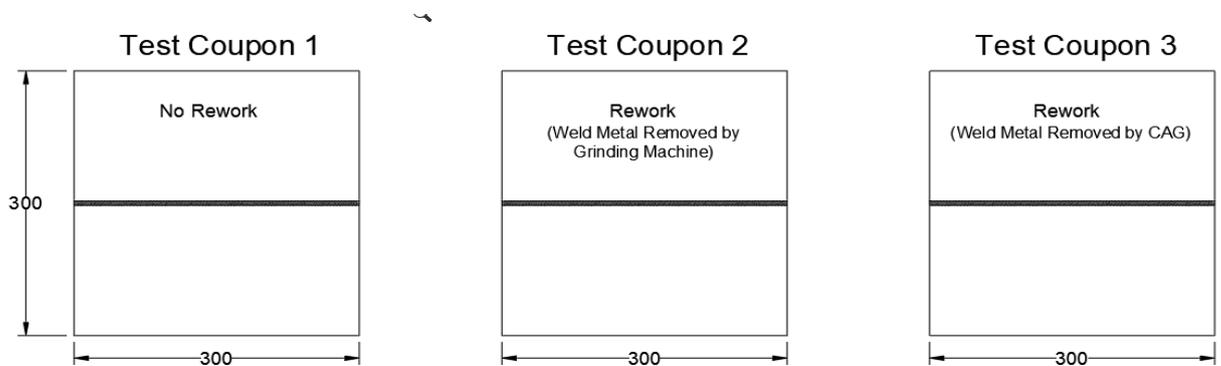
Joins	
1. <i>Joins Design</i>	<i>Butt Joint</i>
2. <i>Type</i>	<i>Single V</i>
3. <i>Backing</i>	NA
4. <i>Root Opening</i>	1 – 2 [mm]
5. <i>Root Face Dimension</i>	1 – 2 [mm]
6. <i>Groove Angle</i>	60°
7. <i>Gouging</i>	NA
8. <i>Back Weld</i>	<i>Yes</i>
Base Metal	
9. <i>Plate Thickness</i>	12 [mm]
10. <i>Type Grade</i>	A36
11. <i>Plate Thickness Range</i>	5-24 [mm]
12. <i>Preheat Temperature</i>	NA
13. <i>Interpass Temperature</i>	NA
14. <i>PWHT</i>	NA
Position	
15. <i>Position</i>	1G
Filler Metal	
16. <i>AWS Classification</i>	E 71T-1
Electrical Characteristics	
17. <i>Type of Polarity</i>	DCEN
18. <i>Ampere Range</i>	120 – 300 [A]
19. <i>Voltage Range</i>	22 – 32 [V]
20. <i>Travel Speed Range</i>	120 – 300 [mm/min]
Shielding	
21. <i>Gas</i>	
22. <i>Composition</i>	75%
23. <i>Flux</i>	NA
24. <i>Electrode-Flux (Class)</i>	NA
25. <i>Flow Rate</i>	10 – 25 [liter/min]

3.2.1. Pelaksanaan Pengelasan

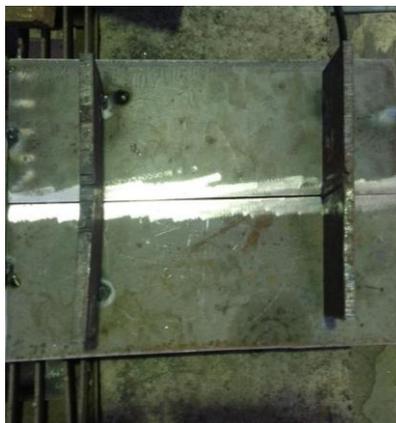
Berdasarkan parameter pengelasan yang telah ditetapkan, selanjutnya sebelum dilakukan proses pengelasan terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan. Tahapan sebelum dilakukan pengelasan tersebut adalah sebagai berikut :

3.2.1.1. Tahap Persiapan

- a. Penyiapan material (*test coupon*) dengan ukuran 300 x 150 x 12 mm sejumlah 6 buah yang telah dilakukan bevel pada alur lasnya dan dibagi setiap pengelasan ulang. Ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.
- b. Pemeriksaan kelurusan material, *root opening*, *root face dimension* sesuai dengan parameter pengelasan dan dilakukan pemasangan *stopper* yang bertujuan agar material pada saat dilakukan pengelasan tidak mengalami deformasi atau *bending*. Ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.
- c. Persiapan mesin las FCAW dan kawat las E 71T-1, dengan tipe polaritas DCEN, ampere sebesar 120-300[A] dan voltase sebesar 22-32 [V] sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.



Gambar 3. 2 Pembagian *Test Coupon* Setiap Variasi Pengelasan

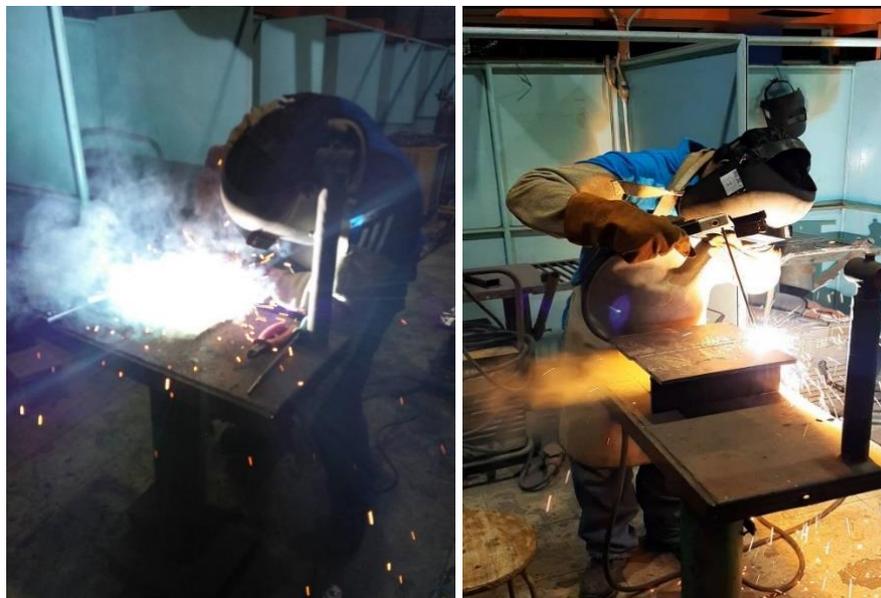


Gambar 3. 3 Pemasangan *Stopper*

3.2.1.2. Tahap Pengelasan

Setelah tahapan persiapan selesai dilakukan, maka selanjutnya dilakukan tahap pengelasan. Pada **Gambar 3.4** merupakan proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) dan proses *gouging* dengan CAG. Dalam proses pengelasan terdapat tahapan sebagai berikut:

- a. Pada *test coupon* 1 tidak dilakukan pengelasan ulang sehingga langsung dilakukan pengelasan tiga layer dan *backweld*.
- b. Pada *test coupon* 2 dilakukan pengelasan ulang sebanyak satu kali. Proses penghilangan logam las sebelum dilakukan pengelasan ulang yaitu menggunakan CAG (*Carbon Arc Gouging*) tanpa kompresor dengan posisi *flat*, sehingga proses *gouging* langsung dilakukan sekaligus pada 4 layer pengelasan. Proses *gouging* dengan CAG sekaligus pembuatan bevel ulang dengan gerinda membutuhkan waktu sekitar 20 menit.
- c. Pada *test coupon* 3 dilakukan pengelasan ulang sebanyak satu kali. Proses penghilangan logam las sebelum dilakukan pengelasan ulang yaitu menggunakan gerinda. Proses penghilangan logam las dengan gerinda sekaligus pembuatan bevel ulang membutuhkan waktu sekitar 120 menit.



Gambar 3. 4 Proses Pengelasan dan *Gouging* dengan CAG

3.3. Prosedur Penelitian

Setelah dilakukan pengelasan pada material, selanjutnya material dipotong untuk dibuat spesimen uji. Pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian *impact*. Pengujian ini disesuaikan dengan

tujuan dari penelitian untuk mengetahui sifat mekanis pada material. Dalam penelitian ini untuk spesimen pengujian dalam 1 variasi terdapat pengujian tarik sejumlah 3 spesimen, pengujian kekerasan sejumlah 1 spesimen dan pengujian *impact* sejumlah 3 spesimen.

3.3.1. Pemotongan Material

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses pemotongan material yang ditunjukkan pada **Gambar 3.5**. Proses pemotongan material dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mengukur dimensi spesimen pada material (*test coupon*) yang akan dipotong menggunakan penggaris disesuaikan dengan jenis dan jumlah pengujian yang dilakukan.
2. Material (*test coupon*) yang telah dilakukan pengukuran dimensi selanjutnya diletakkan pada mesin gergaji.
3. Material (*test coupon*) yang akan dipotong akan dijepit pada mesin gergaji.
4. Memastikan bahwa material (*test coupon*) yang telah dijepit tepat sesuai dengan ukuran sebelum dilakukan proses pemotongan.
5. Dilakukan proses pemotongan berdasarkan dimensi spesimen.
6. Setelah proses pemotongan selesai, material yang telah dipotong dilakukan pengukuran dimensi kembali untuk disesuaikan dengan dimensi yang ditentukan.
7. Apabila terdapat kelebihan dimensi setelah dilakukan proses pemotongan material, maka dapat dilakukan proses *machining* pada spesimen yang bertujuan untuk menyesuaikan ukuran dimensi material sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan.



Gambar 3. 5 Proses Pemotongan *Test Coupon*

3.3.2. Pembuatan Spesimen Uji

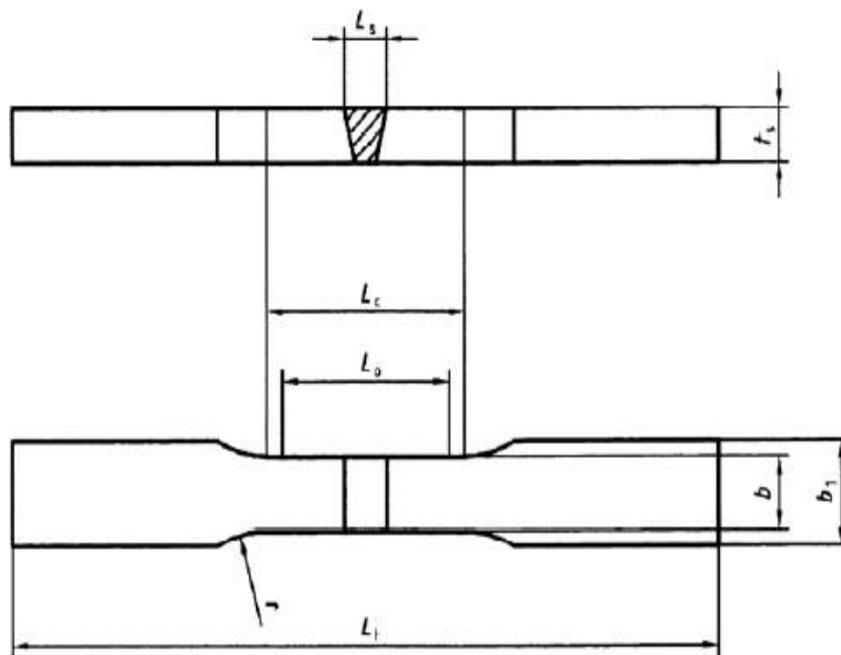
Dalam pembuatan spesimen uji, semula dilakukan pengukuran dimensi spesimen pada setiap material (*test coupon*) pengujian dan selanjutnya dilakukan proses pemotongan material. Lokasi pemotongan material dan pembuatan spesimen uji dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan 3 (tiga) jenis proses pengujian disesuaikan dengan tujuan dari tugas akhir ini. Berikut daftar dan jumlah spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini:

1. *Tensile Test* berjumlah 9 buah (3 buah/pelat).
2. *Impact Test* berjumlah 9 buah (3 buah/pelat, *notch* terletak pada HAZ (*fusion line* + 5 mm).
3. *Hardness Test* berjumlah 3 buah (1 buah/pelat, 9 titik/buah pada daerah *base metal*, *weld metal* dan HAZ).

3.3.3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik (*tensile test*) menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Dalam pengujian tarik terdapat sebanyak 9 buah spesimen, dimana pada setiap material (*test coupon*) atau setiap variasi perlakuan *rework* pada material masing-masing terdapat 3 buah spesimen uji. Tujuan terdapat 3 buah spesimen setiap variasi perlakuan *rework* adalah sebagai pembanding data yang dihasilkan dari hasil pengujian tarik sehingga dapat diambil rata-rata dari ketiga data tersebut.

Sebelum dilakukan proses pengujian, potongan spesimen uji tarik hasil dari proses pemotongan selanjutnya dibentuk spesimen dengan menggunakan mesin *scrub* sehingga menghasilkan bentuk spesimen seperti pada **Gambar 3.6** di halaman berikutnya. Proses pembentukan spesimen uji tarik dilakukan di Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan. Selanjutnya setelah terbentuk spesimen uji tarik yang sesuai dengan aturan yang digunakan, maka selanjutnya dapat dilakukan pengujian tarik. Aturan yang digunakan dalam pembentukan spesimen uji tarik ini berdasarkan pada peraturan BKI Vol. VI Sec. 11 *Rules for Welding*.



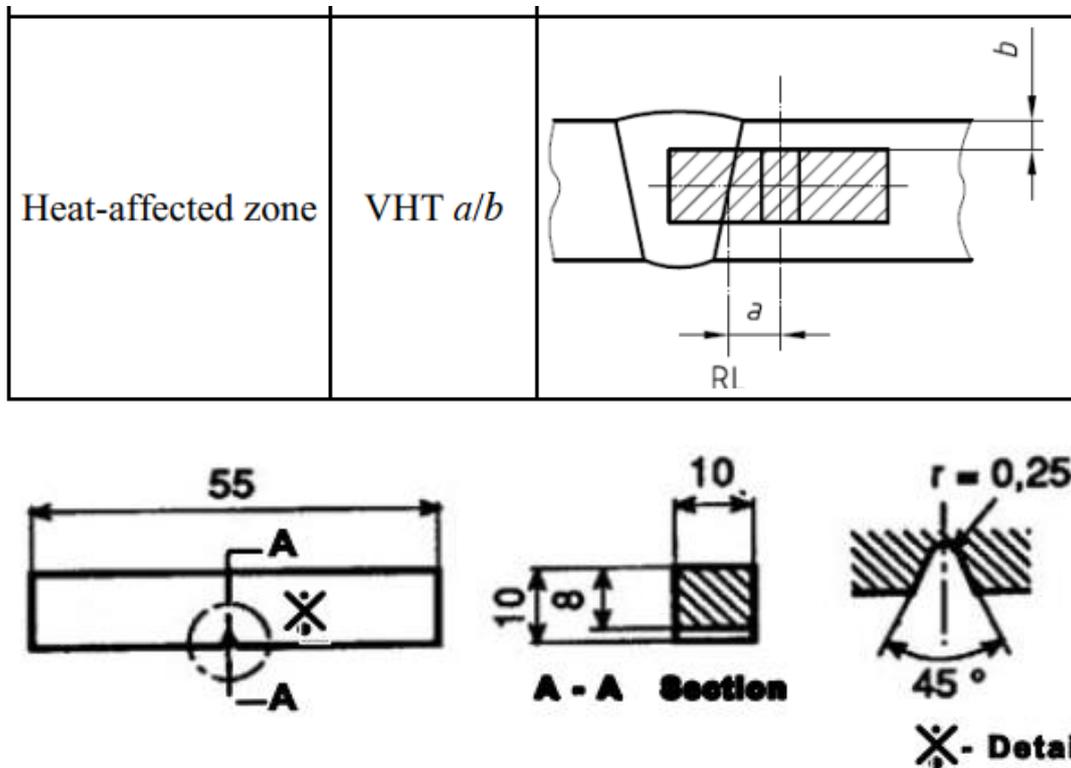
Denomination		Symbol	Dimensions (mm)
Total length of the specimen		L_t	to suit particular testing machine
Width of shoulder		b_1	$b + 12$
Width of the parallel length	Plates	b	12 for $t_s \leq 2$
			25 for $t_s > 2$
	Pipes	b	6 for $D \leq 50$
			12 for $50 < D \leq 168,3$
Parallel length		L_c	$\geq L_s + 60$
Radius at shoulder		r	≥ 25
Note:			
L_s = maximum width of the weld after machining			
t_s = thickness of the test specimen			

Gambar 3. 6 Spesimen Uji Tarik

3.3.4. Pengujian *Impact*

Dalam pengujian *impact*, penelitian ini menggunakan metode *charpy* dengan spesimen uji berbentuk dan berukuran seperti pada **Gambar 3.7** di halaman berikutnya. Pembentukan spesimen dalam pengujian *impact* yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan peraturan BKI Vol. VI Sec.11 *Rules for Welding* dan toleransi yang diijinkan untuk dimensi spesimen berdasarkan BKI Vol. V Sec. 2 *Rules for Materials*.

Spesimen uji *impact* berjumlah 9 buah, dimana terdapat 3 spesimen setiap *test coupon* atau variasi perlakuan *rework* pada setiap material dengan *notch* dibuat pada daerah HAZ (*fusion line* + 5 mm).



Gambar 3. 7 Dimensi dan Bentuk Spesimen Pengujian *Impact*

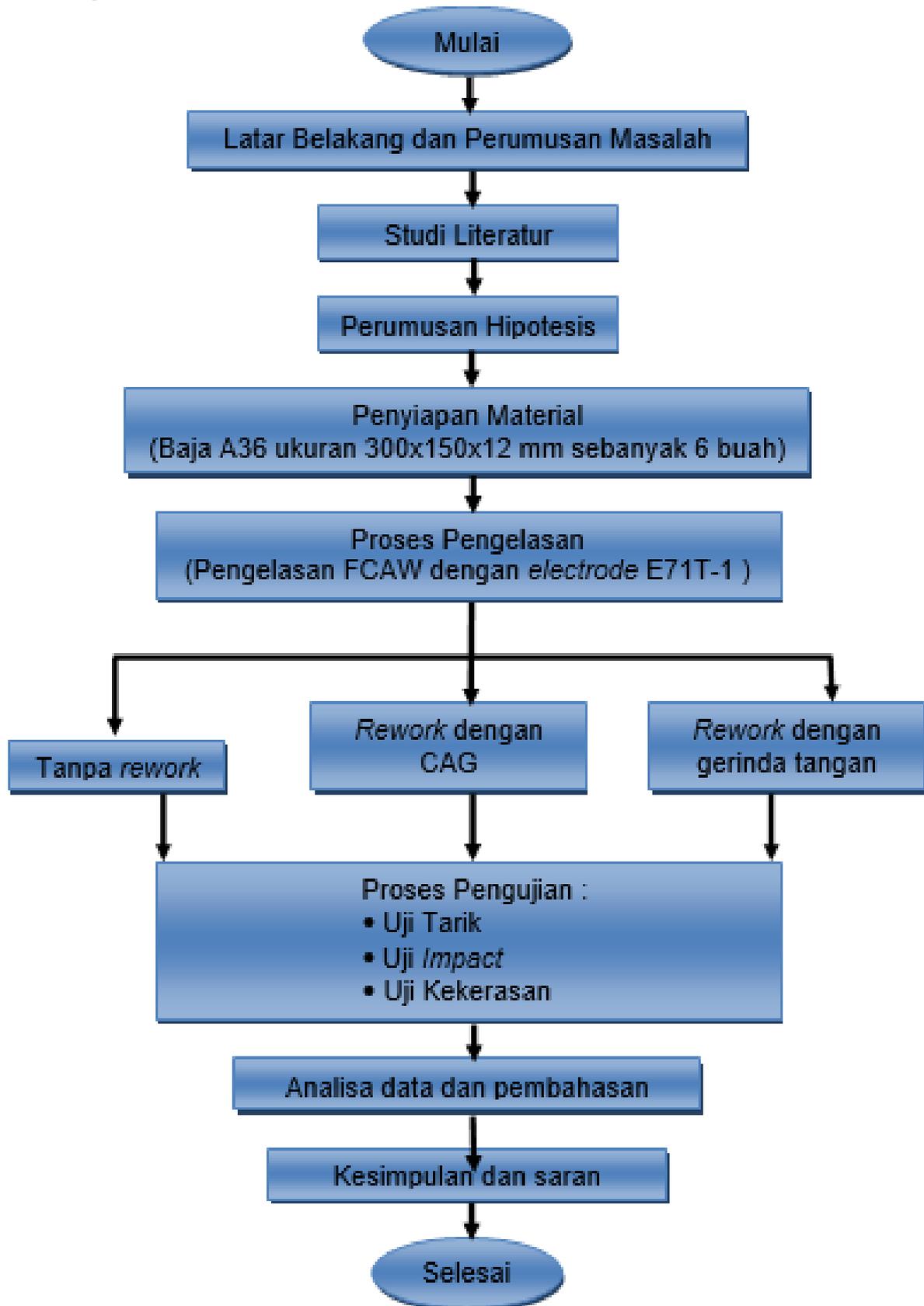
3.3.5. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *hardness vickers* pada 9 titik tiap *test coupon* yaitu 3 titik pada daerah *weld metal*, 3 titik pada daerah HAZ dan 3 titik pada daerah *base metal*. Tujuan digunakan 9 titik pada tiap *test coupon* adalah sebagai pembandingan data yang dihasilkan sehingga dapat diambil rata-rata dari kesembilan data tersebut.

3.4. Lokasi Pengelasan dan Pengujian

Pada penelitian ini untuk menyelesaikan proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan dan untuk proses pengujian dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

3.5. Bagan Alir



BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dimulai dengan tahap persiapan material baja ASTM A36 dengan ukuran yang telah ditentukan pada penelitian ini yaitu ukuran 300 x 150 x 12 mm sejumlah 6 buah. Selanjutnya material dilakukan proses pembuatan bevel *single v* yang digunakan sebagai alur pengelasan. Material yang telah di bevel, dilanjutkan dengan proses pemasangan stopper pada sisi sebaliknya dari alur las yang bertujuan untuk menghindari terjadinya *bending* atau deformasi pada material (*test coupon*).

Pengelasan dilakukan dengan ampere 120 – 300 [A] dan voltage 22 – 32 [V] dengan 3 variasi perlakuan. *Test coupon* pertama dilakukan 1 kali pengelasan tanpa pengelasan ulang. *Test coupon* kedua dilakukan pengelasan kemudian dilakukan 1 kali pengelasan ulang yang mana penghilangan logam las awalnya menggunakan gerinda. *Test coupon* ketiga dilakukan pengelasan kemudian dilakukan 1 kali pengelasan ulang yang mana penghilangan logam las awalnya menggunakan CAG. Setelah pengelasan selesai dilanjutkan dengan pemotongan material menjadi spesimen uji.

Pada penelitian ini dilakukan 3 (tiga) kali pengujian yang meliputi pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian *impact*.

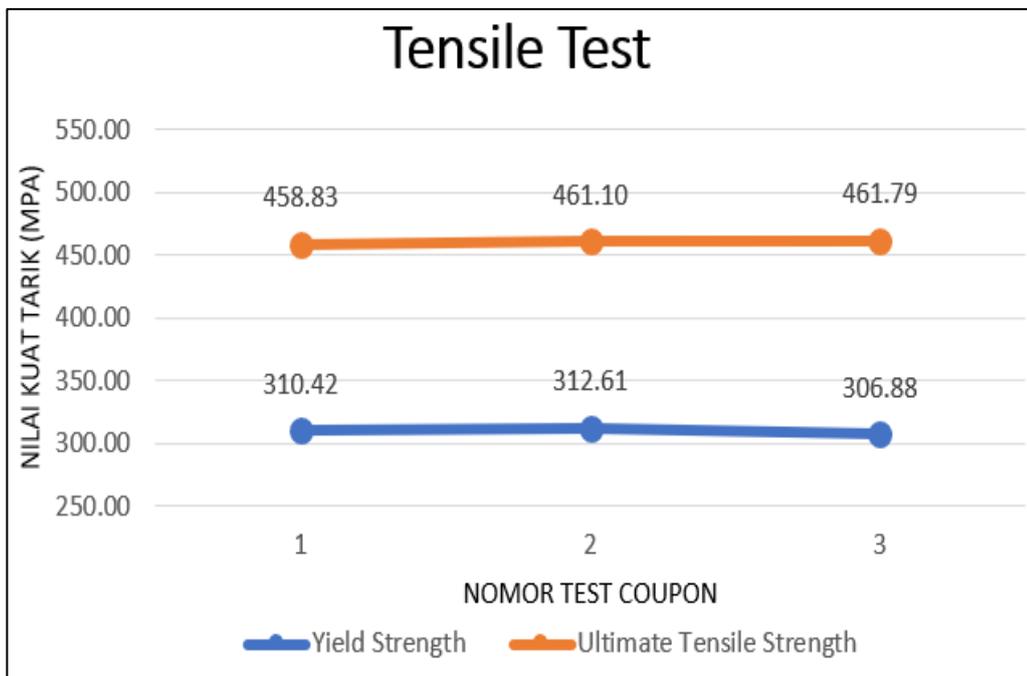
4.1. Analisis Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui bagaimana kemampuan suatu material menerima beban tarik. Dalam pengujian tarik ini mengacu pada peraturan BKI Vol. VI Sec.11 *Rules for Welding* tahun 2015 dengan menggunakan tiga spesimen yang diambil pada *test coupon* setiap pengelasan ulang. Tujuan diambil tiga spesimen pada setiap *test coupon* adalah sebagai data pembanding antara ketiga hasil pengujian sehingga dapat diambil nilai rata-rata dari data tersebut.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) dan kekuatan luluh (*yield strength*) dari material uji. Kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh yang didapatkan akan dibandingkan dengan kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh pada setiap variasi pengelasan. Data hasil pengujian tarik ditunjukkan pada **Tabel 4.1.** dan **Gambar 4.1** di halaman berikutnya.

Tabel 4. 1 Data Pengujian Tarik

Pelat	Kode	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Lokasi Patahan	Yield Strength (MPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Yield Strength rata-rata (MPa)	Ultimate Tensile Strength rata-rata (MPa)
1 (No Repair)	3.1	24.98	11.38	284.27	Base Metal	309.56	457.30	310.42	458.83
	3.2	24.85	11.31	281.05	Base Metal	309.54	462.54		
	3.3	24.74	11.33	280.30	Base Metal	312.16	456.64		
2 (Grinding Repair)	1.1	24.90	11.07	275.64	Base Metal	311.99	458.92	312.61	461.10
	1.2	25.00	11.19	279.75	Base Metal	312.77	461.12		
	1.3	24.96	11.07	276.30	Base Metal	313.05	463.25		
3 (CAG Repair)	2.1	24.75	11.30	279.67	Base Metal	305.71	457.67	306.88	461.79
	2.2	24.97	11.21	279.91	Base Metal	310.81	468.00		
	2.3	24.96	11.33	282.79	Base Metal	304.10	459.69		



Gambar 4. 1 Grafik Pengujian Tarik

Berdasarkan data hasil pengujian tarik yang dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan **Gambar 4.1** di atas, dapat dianalisa bahwa nilai *yield strength* tertinggi terdapat pada *test coupon* nomor 2 yang diberikan perlakuan 1 kali pengelasan ulang dengan penghilangan logam las

menggunakan gerinda yaitu sebesar 312.61 MPa dan nilai *ultimate tensile strength* tertinggi terdapat pada *test coupon* nomor 3 yang diberikan perlakuan 1 kali pengelasan ulang dengan penghilangan logam las menggunakan CAG yaitu sebesar 461.79 MPa. Sedangkan nilai *yield strength* terendah terdapat pada *test coupon* nomor 3 yang diberikan perlakuan 1 kali pengelasan ulang dengan penghilangan logam las menggunakan CAG yaitu sebesar 306.88 MPa dan nilai *ultimate tensile strength* terendah terdapat pada *test coupon* nomor 1 yang tidak diberikan perlakuan pengelasan ulang yaitu sebesar 458.83 MPa.

Hasil *yield strength* dapat dianalisa bahwa *test coupon* 1 yaitu tanpa pengelasan ulang dan *test coupon* 2 yang penghilangan logam lasnya secara dingin menggunakan gerinda menghasilkan *yield strength* yang lebih baik dibandingkan *test coupon* 3 yang penghilangan logam lasnya secara panas menggunakan CAG. *Test coupon* 1 memiliki *yield strength* 1.15% lebih tinggi dibandingkan *test coupon* 3 dan *test coupon* 2 memiliki *yield strength* 1.86% lebih tinggi dibandingkan *test coupon* 3. Namun *test coupon* 3 justru menghasilkan nilai *ultimate tensile strength* yang lebih tinggi dibandingkan *test coupon* 1 dan *test coupon* 2. *Test coupon* 3 memiliki *ultimate tensile strength* 0.64% lebih tinggi dibandingkan *test coupon* 1 dan 0.14% lebih tinggi dibandingkan *test coupon* 2, artinya perbedaan nilai kuat tariknya sangat kecil di bawah 2%.

Analisa selanjutnya yaitu dapat dilihat bahwa nilai *yield strength* dan nilai *ultimate tensile strength* pada masing-masing *test coupon* tidak menunjukkan *trend* yang sama. Sehingga dapat dijelaskan bahwa sebenarnya tidak ada perubahan nilai kuat tarik yang signifikan antara perlakuan penghilangan logam las secara panas dan dingin.

Apabila ditinjau dari segi lokasi patahnya material saat pengujian tarik, semua spesimen uji tarik pada setiap *test coupon* mengalami patah pada lokasi *base metal*. Hal tersebut karena penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh perlakuan penghilangan logam las secara panas dan dingin yang terjadi pada *base metal*.

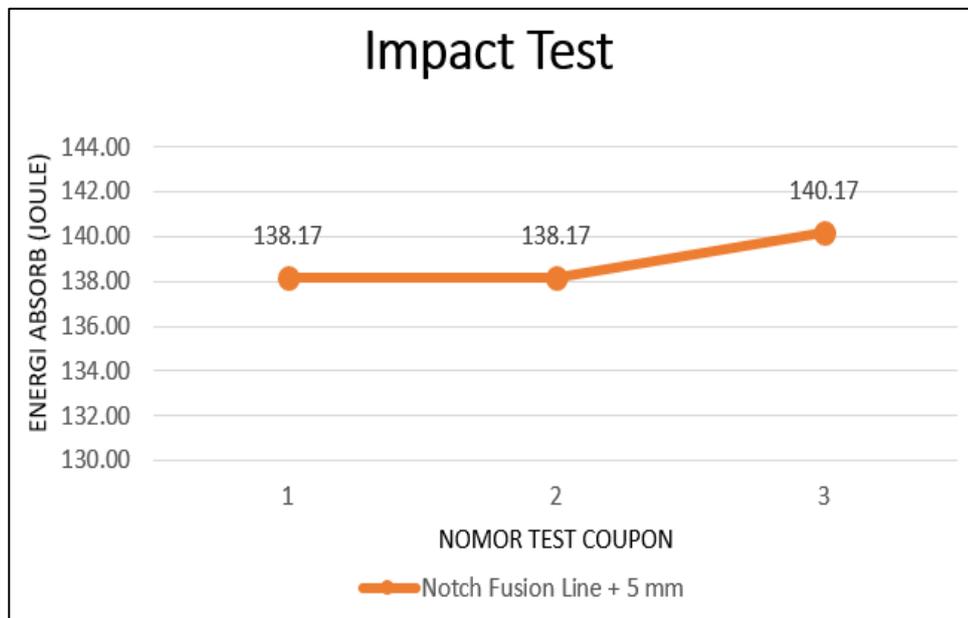
4.2. Analisis Hasil Pengujian Impact

Pengujian *impact* bertujuan untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan uji yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statik. Pengujian *impact* dilakukan dengan bahan uji berjumlah 3 buah setiap *test coupon*, dimana bahan uji dilakukan pengujian pada daerah HAZ (*fusion line* + 5 mm). Dari 3 buah spesimen uji akan diperoleh 3 nilai yang selanjutnya akan diambil nilai rata-rata.

Pengujian *impact* mengacu pada peraturan BKI Vol. VI Sec.11 *Rules for Welding* tahun 2015. Data hasil pengujian *impact* dapat ditunjukkan pada **Tabel 4.2** dan **Gambar 4.2** yang disajikan dalam diagram kurva. Selanjutnya dilakukan analisa pada hasil pengujian *impact*.

Tabel 4. 2 Data Pengujian *Impact*

Pelat	Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Energi Absorb (J)	Energi Absorb rata-rata (J)
1 (No Repair)	3H1	54.87	9.89	8.15	138.50	138.17
	3H2	54.95	10.01	8.02	138.00	
	3H3	54.88	9.96	8.09	138.00	
2 (Grinding Repair)	1H1	54.87	10.01	8.17	136.00	138.17
	1H2	54.98	9.90	8.05	138.50	
	1H3	54.85	9.99	8.05	140.00	
3 (CAG Repair)	2H1	54.88	9.98	8.08	140.50	140.17
	2H2	54.85	10.02	8.01	140.00	
	2H3	54.85	9.92	8.00	140.00	



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian *Impact*

Berdasarkan data yang pengujian *impact* yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2** dapat dianalisa bahwa energi *absorb* tertinggi dimiliki oleh *test coupon* 3 yang diberikan perlakuan panas yaitu 1 kali pengelasan ulang dengan penghilangan logam las menggunakan CAG

sebesar 140.17 Joule. Sedangkan untuk *test coupon* 1 dan *test coupon* 2 yang tidak diberikan perlakuan panas memiliki energi *absorb* yang sama sebesar 138.17 Joule. Pada **Gambar 4.2** menunjukkan bahwa energi *absorb* mengalami kenaikan. Kenaikan energi *absorb* tersebut akibat adanya pengaruh dilakukannya perlakuan panas yaitu penghilangan logam las sebelum pengelasan ulang menggunakan CAG. Namun perbedaan energi *absorb* antara *test coupon* yang tidak diberikan perlakuan panas (*test coupon* 1 dan 2) dengan *test coupon* yang diberikan perlakuan panas (*test coupon* 3) sangat kecil yaitu sebesar 1.44%. Sehingga dapat dijelaskan bahwa sebenarnya tidak ada perubahan nilai energi *absorb* yang signifikan antara perlakuan penghilangan logam las secara panas dan dingin.

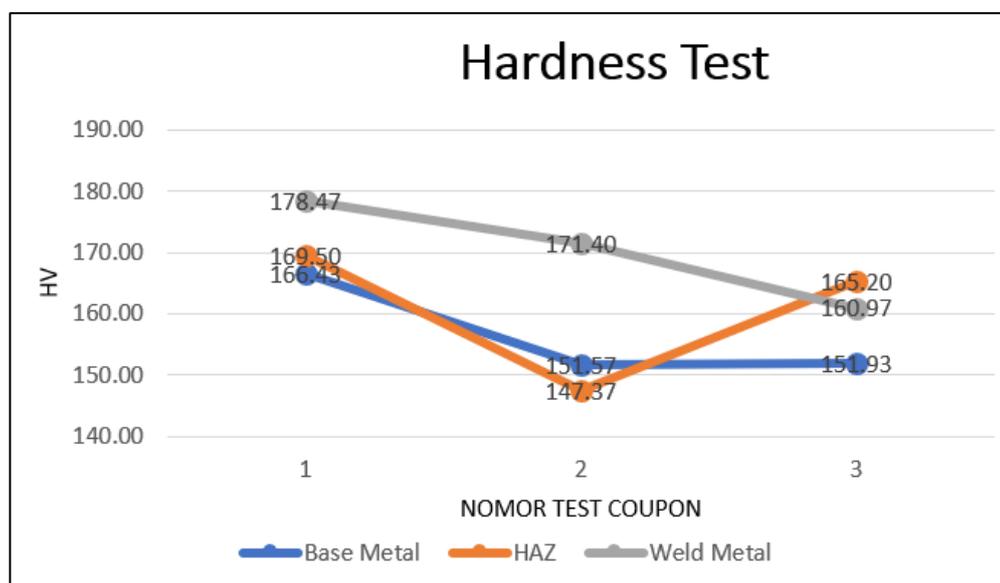
4.3. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap *identor* yang ditekan pada permukaan material uji (*speciment*) tersebut. Pengujian kekerasan mengacu pada peraturan BKI Vol. VI Sec.11 *Rules for Welding* tahun 2015. Dalam pengujian kekerasan ini dilakukan dengan bahan uji berjumlah 1 buah setiap *test coupon*, dimana terdapat tiga lokasi pengujian yaitu: *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan didapatkan data yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3** dan **Gambar 4.3**.

Tabel 4. 3 Data Pengujian Kekerasan

Pelat	Lokasi Titik Identifikasi		Angka Kekerasan (HV)	Angka Kekerasan rata-rata (HV)
1 (No Repair)	Base Metal	Top	137.30	166.43
		Center	187.80	
		Bottom	174.20	
	HAZ	Top	147.40	169.50
		Center	189.00	
		Bottom	172.10	
	Weld Metal	Top	159	178.47
		Center	181.80	
		Bottom	194.60	
2 (Grinding Repair)	Base Metal	Top	150.00	151.57
		Center	148.40	
		Bottom	156.30	
	HAZ	Top	145.10	147.37
		Center	147.50	
		Bottom	149.50	

3 (CAG Repair)	Weld Metal	Top	168.60	171.40
		Center	176.30	
		Bottom	169.30	
	Base Metal	Top	145.40	151.93
		Center	146.10	
		Bottom	164.30	
	HAZ	Top	154.50	165.20
		Center	155.80	
		Bottom	185.30	
	Weld Metal	Top	164.70	160.97
		Center	163.70	
		Bottom	154.50	



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pelat baja A36 yang disajikan pada **Tabel 4.3** di halaman sebelumnya, dapat dianalisa bahwa nilai kekerasan terbesar dimiliki pada *test coupon 1 (No Repair)* sebesar 166.43 HV pada daerah *base metal*, 169.5 HV pada daerah HAZ dan 178.47 pada daerah weld metal. Sedangkan untuk nilai kekerasan terendah berbeda-beda pada setiap daerah identifikasi. Pada daerah *base metal* dan HAZ, nilai kekerasan terendah dimiliki pada *test coupon 2 (Grinding Repair)* yaitu sebesar 151.57 HV dan 147.37 HV. Pada daerah *weld metal*, nilai kekerasan terendah dimiliki pada *test coupon 3 (CAG Repair)* yaitu sebesar 160.97 HV.

Dilihat dari **Gambar 4.3** menunjukkan bahwa perlakuan panas yang diberikan pada *test coupon 3* menghasilkan efek pengurangan kekerasan pada daerah *weld metal*, namun pengurangan kekerasan ini tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 6.48% terhadap *test coupon 2*

dan 10.87% terhadap *test coupon* 1. Sehingga pengaruh penghilangan logam las secara panas dan dingin terhadap kekerasan pada daerah *weld metal* sebesar 6.48%. Pada daerah *base metal* dan HAZ justru nilai kekerasan *test coupon* 3 lebih tinggi dibandingkan *test coupon* 2 yaitu sebesar 0.24% dan 12.10%, ini menunjukkan *trend* yang berbeda dengan kekerasan pada daerah *weld metal*. Sehingga dapat dijelaskan bahwa sebenarnya tidak ada pengaruh nilai kekerasan yang signifikan antara penghilangan logam las secara panas dan secara dingin.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan menganalisa hasil pengujian, maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai *yield strength* tertinggi pada *test coupon 2 (Grinding Repair)* sebesar 312.61 MPa dan nilai *ultimate tensile strength* tertinggi pada *test coupon 3 (CAG Repair)* sebesar 461.79 MPa. Nilai *yield strength* terendah pada *test coupon 3 (CAG Repair)* sebesar 306.88 MPa dan nilai *ultimate tensile strength* terendah pada *test coupon 1 (No Repair)* sebesar 458.83 MPa. Hasil pengujian tarik ini tidak menunjukkan *trend* yang sama antara nilai *yield strength* dengan nilai *ultimate tensile strength* dan perbedaan kuat tarik untuk setiap *test coupon* di bawah 2%, sehingga dapat dijelaskan bahwa sebenarnya tidak ada pengaruh yang signifikan antara penghilangan logam las secara panas dan secara dingin terhadap sifat kuat tarik material hasil pengelasan ulang.
2. Nilai energi *absorb* pada *test coupon 1 (No Repair)* dan *test coupon 2 (Grinding Repair)* sebesar 138.17 Joule, pada *test coupon 3 (CAG Repair)* sebesar 140.17 Joule. Terjadi kenaikan energi *absorb* akibat penghilangan logam las secara panas yang dilakukan pada *test coupon 3*. Namun kenaikan ini sangat kecil yaitu sebesar 1.44%, sehingga dapat dijelaskan bahwa sebenarnya tidak ada pengaruh yang signifikan antara penghilangan logam las secara panas dan dingin terhadap nilai energi *absorb* material hasil pengelasan ulang.
3. Nilai kekerasan tertinggi pada *test coupon 1 (No Repair)* pada daerah *base metal* sebesar 166.43 HV, HAZ sebesar 169.50 HV, dan *weld metal* sebesar 178.47 HV. Sedangkan untuk nilai kekerasan terendah berbeda-beda pada setiap daerah identifikasi. Pada daerah *base metal* dan HAZ, nilai kekerasan terendah dimiliki pada *test coupon 2 (Grinding Repair)* yaitu sebesar 151.57 HV dan 147.37 HV. Pada daerah *weld metal*, nilai kekerasan terendah dimiliki pada *test coupon 3 (CAG Repair)* yaitu sebesar 160.97 HV. Perbedaan nilai kekerasan antara *test coupon 2 (Grinding Repair)* dengan *test coupon 3 (CAG Repair)* pada daerah *weld metal* sangat kecil yaitu sebesar 6.48%, kemudian nilai kekerasan pada daerah *base metal* dan HAZ tidak menunjukkan *trend* yang sama dengan

nilai kekerasan pada daerah *weld metal* sehingga dapat dijelaskan bahwa sebenarnya tidak ada pengaruh yang signifikan antara penghilangan logam las secara panas dan dingin terhadap nilai kekerasan material hasil pengelasan ulang.

4. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penghilangan logam las dengan CAG sekaligus pembuatan bevel ulang dengan gerinda tangan pada *test coupon* dengan tebal 12 mm dan panjang lajur las 300 mm ini adalah sekitar 20 menit, sedangkan penghilangan logam las dan pembuatan bevel ulang hanya dengan gerinda tangan dibutuhkan waktu sekitar 120 menit. Jadi penghilangan logam las dengan CAG kurang lebih 6 kali lebih cepat dibandingkan dengan gerinda tangan.

5.2. Saran

Saran yang dapat dilakukan pada percobaan selanjutnya agar dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Melakukan perbandingan antara penghilangan logam las menggunakan gerinda tangan dan CAG namun aplikasi CAG dilakukan pada posisi vertikal atau horizontal.

DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society. (2001). *Welding Handbook Ninth Edition Volume 1 Welding Science and Technology*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- American Welding Society. (2008). *Welding Inspection Technology Fifth Edition*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- American Welding Society. (2015). *Structural Welding Code AWS D1.1*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- ASM International. (1993). *ASM Metal Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering*. Ohio: ASM International Handbook Committee.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. (2017). *Section II Materials Part.A Ferrous Material Specification*. New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. (2017). *Section III Rules for Construction Of Nuclear Facility Components, Division 1*. New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee.
- Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI. (2015). *Rules for Welding*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Japan Welding Engineering Society. (2006). *Advanced Welding and Joining Technologies*. Tokyo: Japan Welding Society.
- Pangaribowo, B. (2018). *Studi Pengaruh Pemanasan Awal pada Pengelasan Ulang Baja ASTM A36 Akibat Reparasi Terhadap Sifat Mekanis Menggunakan Proses Las FCAW*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapal, ITS.
- Wirjosumarto, H. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERALATAN DAN BAHAN

LAMPIRAN B WPS DAN MILL TEST CERTIFICATE

LAMPIRAN C DATA HASIL PENGUJIAN

LAMPIRAN A PERALATAN DAN BAHAN

Berikut adalah lampiran mengenai peralatan dan bahan yang digunakan selama proses penelitian, dimulai dari peralatan dan pembuatan spesimen, peralatan pengelasan, pembuatan spesimen uji dan peralatan pada saat proses pengujian.

Peralatan Penelitian

No	Nama Alat	Gambar
1	<i>Grooving Machine</i>	 A yellow grooving machine is shown in a workshop setting. It has several hoses connected to it and is positioned over a metal plate that has been grooved. The machine is mounted on a stand and has a control panel on top.
2	Batu Gerinda	 Three grinding wheels are shown on a concrete floor. One is a large yellow wheel with 'NIPPON RESIN CORPORATION' and '180 6x2223' printed on it. Another is a smaller yellow wheel with '100 6x16' printed on it. The third is a black wheel with '0000' printed on it.

3	Kertas Gosok	
4	Bahan Etsa Material	

Peralatan Pengelasan

No	Nama Alat	Gambar
1	Mesin Las FCAW	

2	Kawat Las E 71-T1	
3	<i>Oxy Acetylene Gas</i>	
4	<i>Welding Helmet</i>	
5	<i>Welding Glove</i>	

6	Palu dan Sikat	
---	----------------	--

Peralatan Persiapan Material Uji

No	Nama Alat	Gambar
1	Mesin Gergaji	
2	Mesin Gerinda	

<p>3</p>	<p>Ragum</p>	
<p>4</p>	<p>Mesin Poles</p>	
<p>5</p>	<p>Kikir</p>	
<p>6</p>	<p>Jangka Sorong</p>	

7	<i>Hair Dryer</i>	
---	-------------------	--

Peralatan Pengujian

No	Nama Alat	Gambar
1	<i>Universal Testing Machine</i>	
2	Alat Uji Kekerasan Vickers	
3	<i>Alat Uji Impact</i>	

LAMPIRAN B

WPS DAN MILL TEST CERTIFICATE

Pada lampiran B terlampir WPS pengelasan yang dilakukan di laboratorium teknologi dan manajemen produksi kapal serta *mill test certificate* baja ASTM A36.

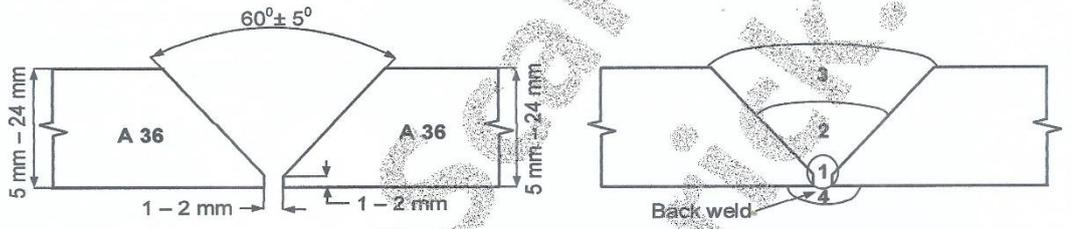
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Manufacturer	ANWAR RUSDI LUBIS	Rev.	0	Date	December 10, 2019
WPS No.	-	Rev.	0	Date	-
Supporting PQR No.	-				
Reference	AWS D1.1				
Welding Process (es)	FCAW	Type	Semi Automatic		

JOINTS

Type	BW (Butt Weld)	Root Opening	1 - 2 mm
Single / Double Weld	Single	Root Face Dimension	1 - 2 mm
Backing	N/A	Groove Angle	$60^{\circ} \pm 5^{\circ}$
Backing Material	Weld Metal	Back Gouging	N/A
		Method	N/A

WELD PREPARATION DETAILS / WELDING SEQUENCE



BASE METALS

Material specification	A 36 to A 36
Type or Grade	-
Thickness Range :	
Base Metal	Groove 5 mm to 24 mm
Pipe Dia. Range	N/A
Fillet	N/A

FILLER METALS

	FCAW
Specification No. (SFA)	A 5.36
AWS No. (Classification)	E71T-1
Size of Filler Metals	ϕ 1.0 - 1.2 mm
Weld Metal Thickness (mm)	
Groove	24 mm max.
Fillet	All
Trade Name	ESAB or equivalent
Consumable Insert	N/A

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

WPS No. _____ - _____

Rev. 0

POSITION	POST WELD HEAT TREATMENT
Position(s) of Welding	Temperature Range
Welding Progression	Time Range
Position(s) of Fillet	Rate of heating
	Rate of heating/cooling

PREHEAT	GAS												
Preheat Temperature Max.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Gas(es)</th> <th style="width: 33%;">Mixture Composition (%)</th> <th style="width: 33%;">Flow Rate (Liter/Minute)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO₂</td> <td>N/A</td> <td>10 - 25</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> </tbody> </table>	Gas(es)	Mixture Composition (%)	Flow Rate (Liter/Minute)	CO ₂	N/A	10 - 25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Gas(es)		Mixture Composition (%)	Flow Rate (Liter/Minute)										
CO ₂		N/A	10 - 25										
N/A		N/A	N/A										
N/A	N/A	N/A											
Interpass Temperature Max.													
Preheat Maintenance													
	Shielding												
	Trailing												
	Backing												

ELECTRICAL CHARACTERISTICS			
Current AC or DC	DC	Polarity	EN
Ampere (Range)	120 - 300	Volts (Range)	22 - 32
Tungsten Electrode Size and Type	N/A		
Mode of Metal Transfer for GMAW	N/A		
Electrode Wire Feed Speed Range	N/A		

TECHNIQUE	
String or Weave Bead	Both
Orifice or Gas Cup Size	12 - 16 mm
Initial and Interpass cleaning	Brushing & Grinding
Method of Back Gouging	N/A
Oscillation	N/A
Contact Tube to Work Distance	6 - 11 mm
Multiple or Single Pass (per side)	Multiple
Multiple or Single Electrodes	Single
Travel Speed (Range)	See Table
Peening	N/A
Other	N/A

WELDING PARAMETER

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed Range (mm/minute)	Heat Input Range (J/mm)
		Class	Diameter Range (mm)	Type of Polarity	Ampere Range			
Root	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	120 - 180	22 - 30	170 - 210	932 - 1543
Fill	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	190 - 300	22 - 32	160 - 290	1568 - 1986
Cap	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	150 - 300	22 - 32	160 - 260	1238 - 2215
Back Weld	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	190 - 250	22 - 32	190 - 250	1320 - 1920

Prepared by, ANWAR RUSDI LUBIS	Reviewed by,	Approved by,

PT JAYA PARI STEEL Tbk.

Surabaya - Indonesia
MILL CERTIFICATE

Page: 01/01



ISO 9001 : :
Certified Cor

PURCHASER :
CV LASER TUNGKAL
JL SIDORAME NO 28
SURABAYA.

HEAD OFFICE :

Jl. Mangrove No. 4 Tandes - Surabaya
Phone : 7497288 (HUNTING), 6 LINES
Fax : (031) 7497378, 7497174

Cert. No. : 5



DESCRIPTION OF GOODS :

HOT ROLLED STEEL PLATES
ASTM A58
TOLERANCES TO ASTM A58

Certificate NO. : 848 (K-19)
D.O. No. : 88.95.2008
Date :
Despatch Advice No. : NA.

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions			Weight (MT)	Test No	LADLE ANALYSIS%					Tensile Test			Bend Test 180° /3T	Impact Value (Joule °C)				REMARKS
			T	W	L			C	SI	Mn	P	S	Y.S N/mm²	T.S N/mm²	EL% 200 MM		I	II	III	AV	
U 516270	L1	1	12	500	8000	848	F3	0.16	0.01	0.43	0.016	0.041	285	413	29						
U 716282	Z2	1	"	"	"	848	F5	0.16	0.02	0.39	0.019	0.033	298	439	26						
		2				1,696															

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HERE IN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE SPECIFICATION AND ALSO WITH THE REQUIREMENT CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER

Ir. SUMINTO
Quality Control Manager

CERTIFIED MATERIAL REPORT

CMR No. : 1905113300002

Date of Issue : 2019-05-11

Customer	PT Panca Karya Utama Indonesia		
Trade Name	SF-71	Size	1.2mm*15kg
Lot No.	MF9747E1	Purchaser's Order No.	-
Specification	AWS A5.36 E71T1-C1A0-CS1 * According to EN 10204-2004 : 3.1		

Welding Current	DCEP	Shielding Gas	CO ₂	Post Weld Heat Treatment (°C × hr.)	AS WELDED				
Mechanical Properties		Tensile Test			Impact Test (CVN - Joule)				
		YS(MPa)	TS(MPa)	EL(%)	Temp.(°C)	X1	X2	X3	Avg.
		536	610	27.0	-20	34	35	37	35
AWS Spec.		≥ 400	490-660	≥ 22	≥ 27				

Chemical Composition (%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
(Weld Metal)	0.03	0.56	1.26	0.015	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
AWS Spec.	≤ 0.12	≤ 0.90	≤ 1.75	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.50	≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.08	≤ 0.35

Others

ORIGINAL

We hereby certify that the material covered by this report has been inspected in accordance with and been found to meet the applicable requirements of specification and customer's requirements.

Approved by

K.W. Park

QA Manager Park K. W.



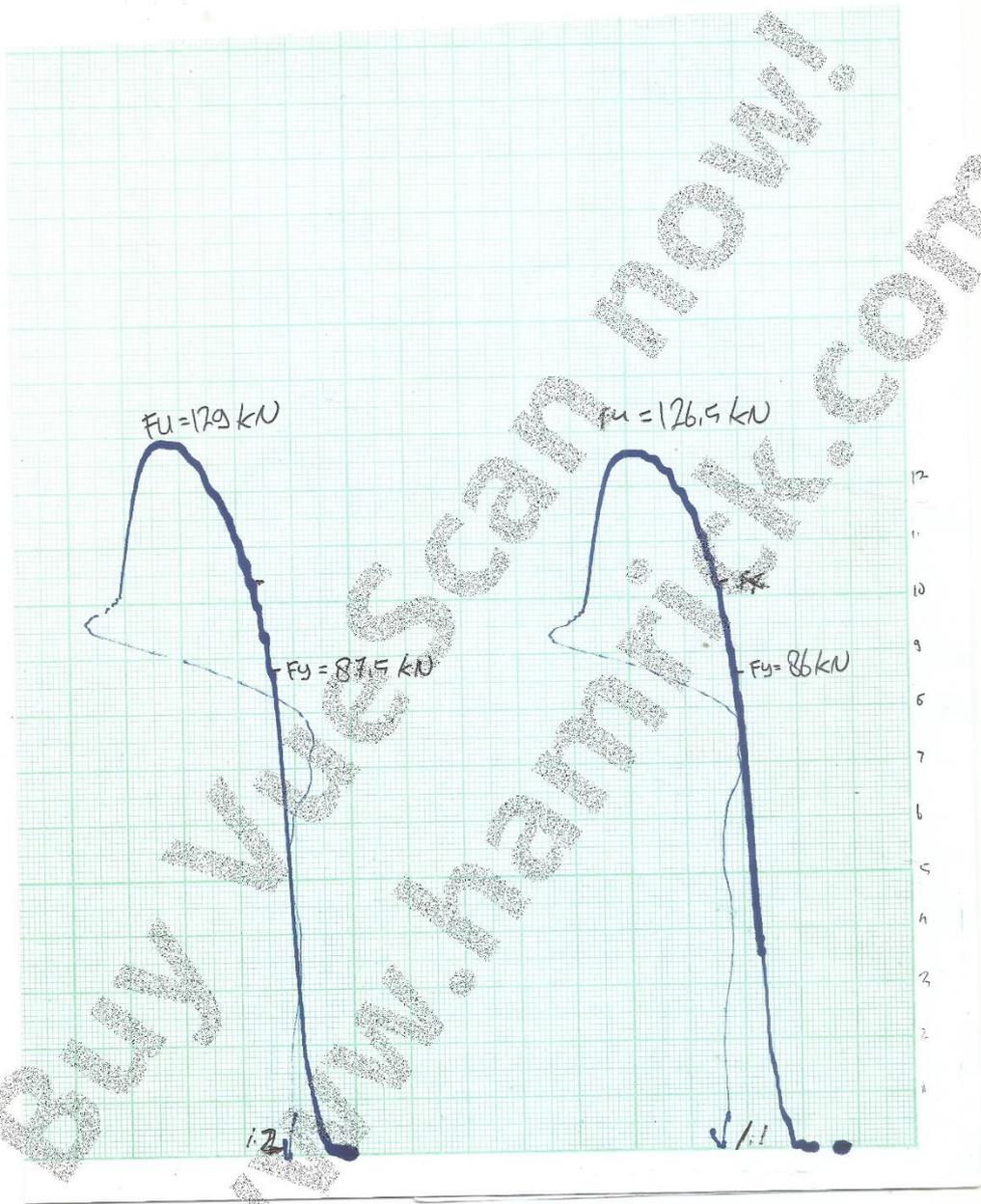
HYUNDAI WELDING CO., LTD.

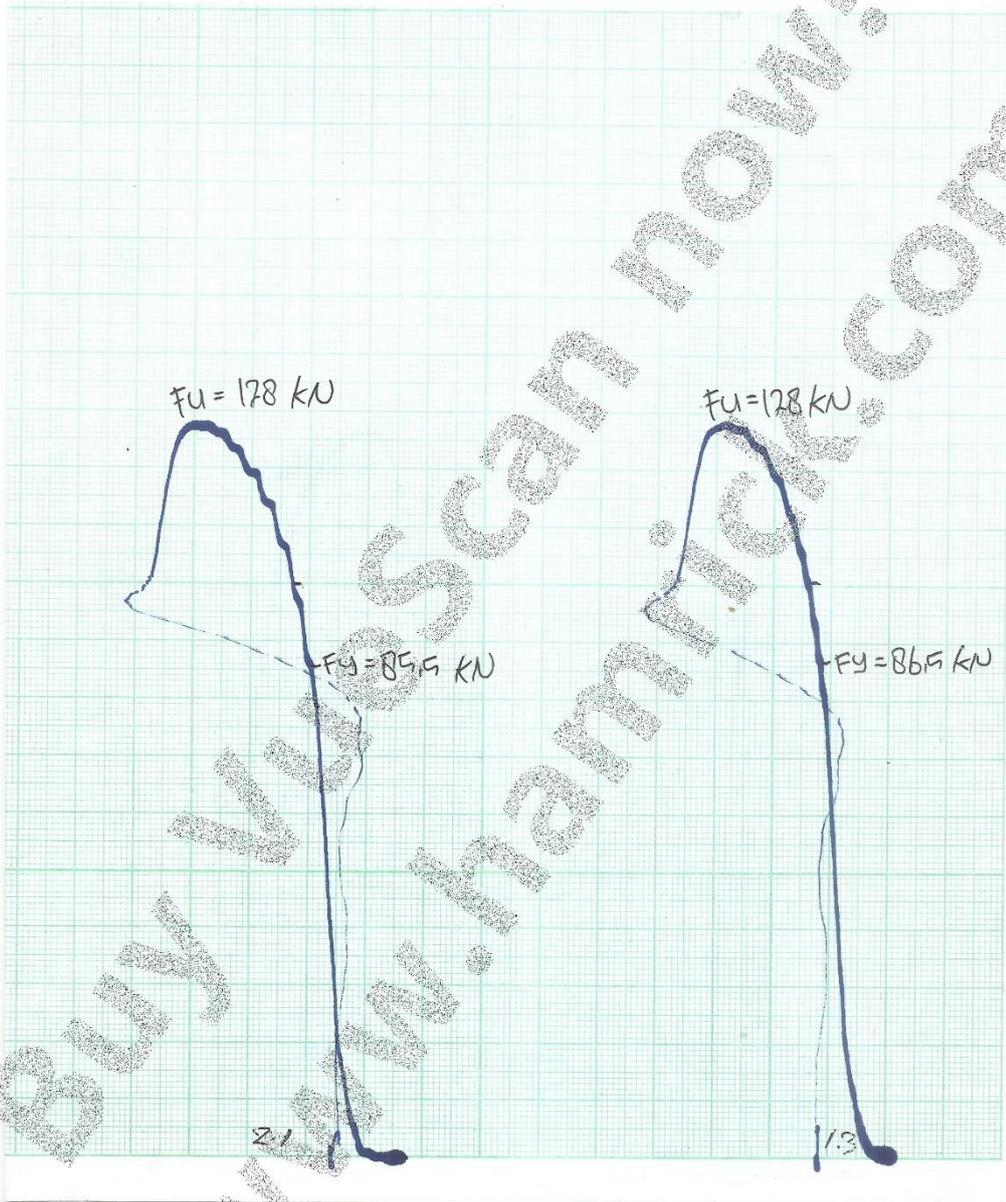
Head Office #507, Teheran-ro, Gangnam-gu, Seoul, Republic of Korea
 Pohang Plant #100, Daesong-ro, Nam-gu, Pohang, Republic of Korea

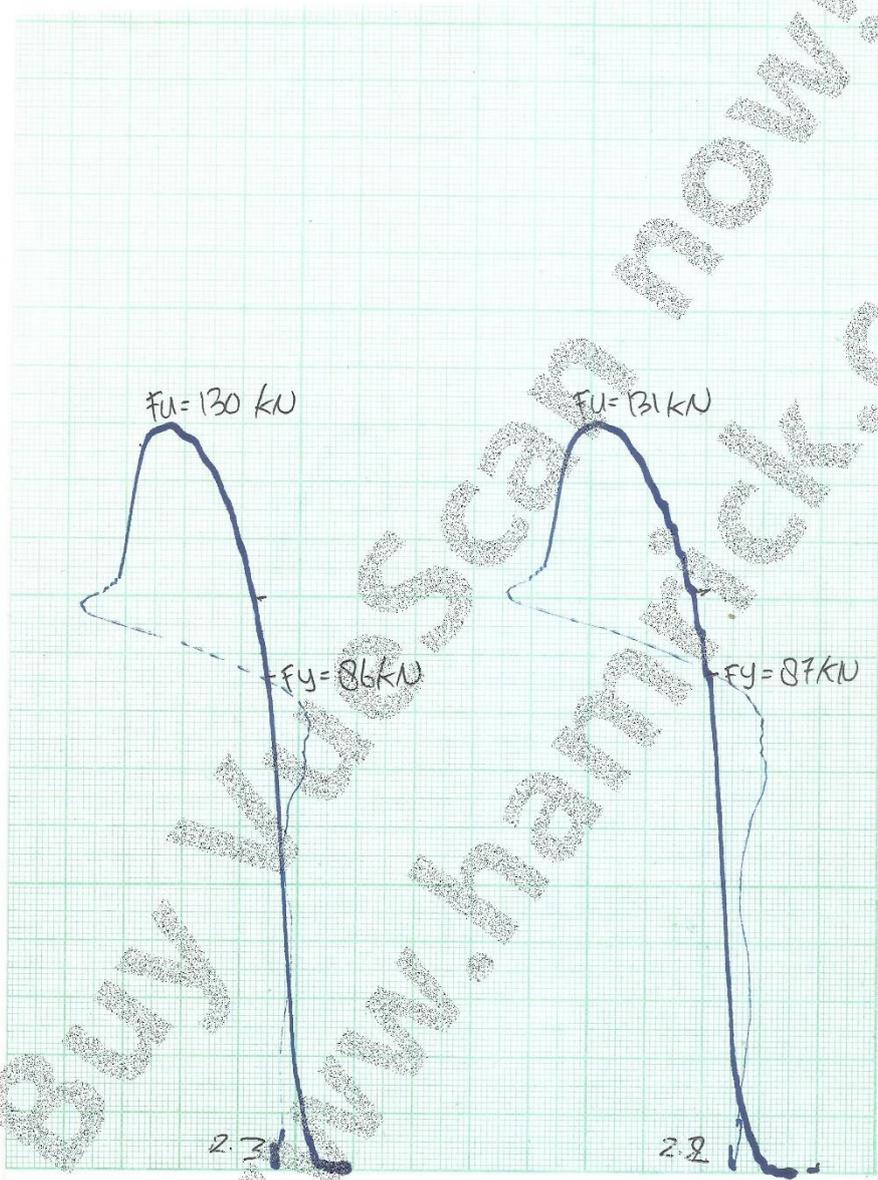
LAMPIRAN C

DATA HASIL PENGUJIAN

Pada lampiran C melampirkan data-data hasil dari pengujian tarik, pengujian *impact* dan pengujian kekerasan yang mendukung dalam pengerjaan tugas akhir.







$F_u = 130 \text{ kN}$

$F_u = 131 \text{ kN}$

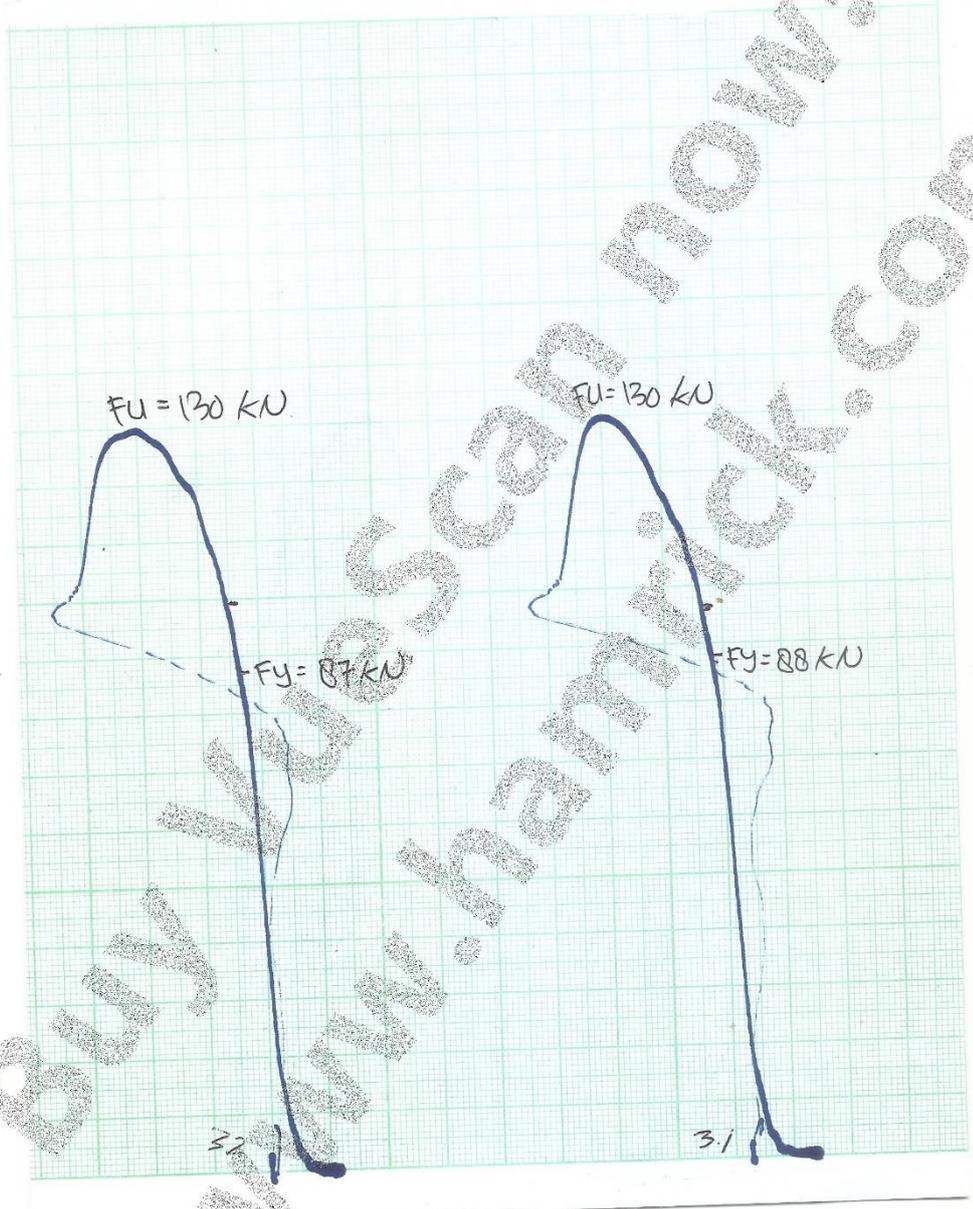
$F_y = 86 \text{ kN}$

$F_y = 87 \text{ kN}$

2.3

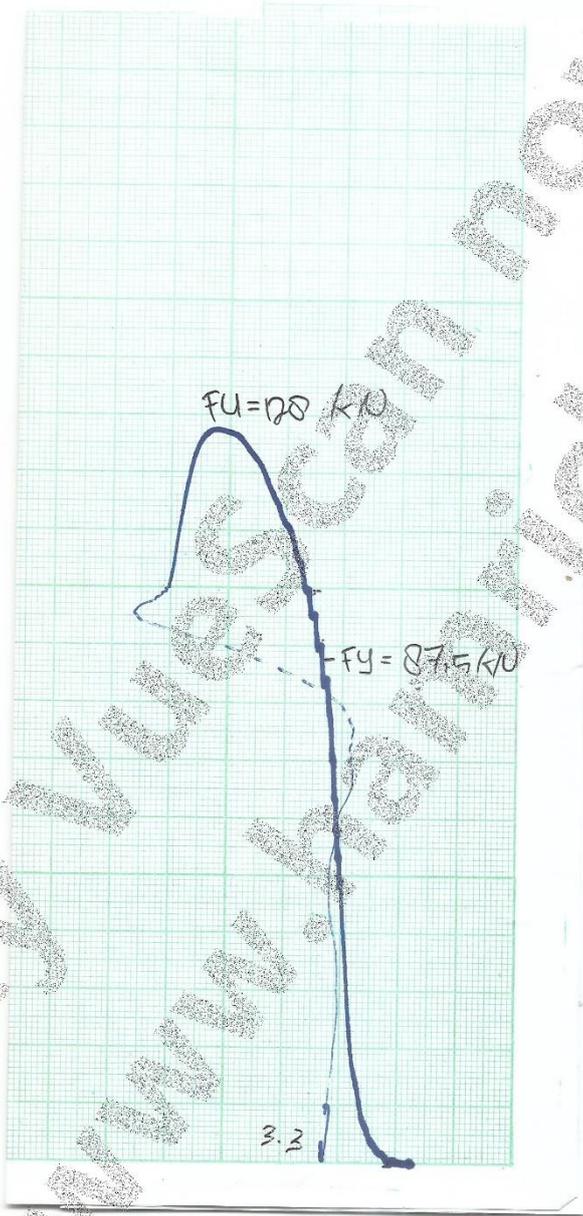
2.8

Buy Now Scan now!
www.hamrick.com



Buy Vuoscan now!
www.hamrick.com

BUY Lurascan now!
www.lurascan.com



No Repair (Test coupon 1)



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjip@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE :
ORDER FROM : Arwar Rusdi Labris
TEST STANDARD : ASME SEC.IX / AWS-D1.1 / BK1 / LRT-DNV-GL
WPQT NO. :
PQR NO. :
JOINT DESIGN : Butt Joint
MATERIAL SPEC. : Plate / Pipe
THICKNESS / DIA. : 12 mm to 12 mm
WELDING PROCESS : FCAW
TEST POSITION : 1G
WELDER NAME : Pak pardi
ELECTRODE : E71T-1

I. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRENGTH	ULTIMATE STRENGTH	BREAKING
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa	
1	3.1	24,98	11,38	-	280,27	309,56	457,30	Base Metal
2	3.2	24,85	11,31	-	281,05	309,54	467,54	Base metal
3	3.3	24,74	11,33	-	280,30	312,16	456,64	Base metal

NO	F. YIELD		F. ULTIMATE	
	KN	N	KN	N
1	88,00	88000	130	130000
2	87,00	87000	130	130000
3	87,50	87500	128	128000

II. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 0° DIAMETER of FORMER : - mm

NO	SAMPLE MARK	IDENTIFICATION	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS	
					OPEN DEFECT (mm)	CRACK (mm)

Witnessed by :				The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS			
1.				Tester			
2.							
3.							
4.							
5.							

Grinding Repair (Test coupon 2)



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031-599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. : IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE :
ORDER FROM : Arwir Rusdi Lubis
TEST STANDARD : ASME SEC.IX / AWS.D1.1 / BKI / LRT DNV-GL
WPQT NO. :
PQR NO. :
JOINT DESIGN : Butt Joint
MATERIAL SPEC. : Plate / Pipe
THICKNESS / DIA. : 12 mm to 12 mm
WELDING PROCESS : FCAW
TEST POSITION : 1G
WELDER NAME : Pak Pardi
ELECTRODE : E71T-1

I. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK (mm)	DIA. (mm)	CSA (mm)	YIELD STRENGTH MPa	ULTIMATE STRENGTH MPa	BREAKING
1	1.1	24,90	11,07	-	275,64	311,99	450,92	Base metal
2	1.2	25,00	11,19	-	279,75	317,77	461,12	Base metal
3	1.3	24,96	11,07	-	276,30	313,05	463,25	Base metal

NO	F. YIELD		F. ULTIMATE	
	KN	N	KN	N
1	86	86000	126,5	126500
2	87,5	87500	129	129000
3	86,5	86500	128	128000

II. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 0° DIAMETER of FORMER : - mm

NO	SAMPLE MARK	IDENTIFICATION	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS	
					OPEN DEFECT (mm)	CRACK (mm)

Witnessed by :	The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS
1.	Tester
2.	
3.	
4.	
5.	

Gauging Repair (Test coupon 3)



LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
 FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
 Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM:05.02/20

DATE :
 ORDER FROM : Anwar Rusdi Lubis
 TEST STANDARD : ASME SEC.IX / AWS-DT.1 / BK1 / LR7 DW-8C
 WPQT NO. :
 PQR NO. :
 JOINT DESIGN : Butt Joint
 MATERIAL SPEC. : Plate / Pipe
 THICKNESS / DIA. : 12 mm to 12 mm
 WELDING PROCESS : FCAW
 TEST POSITION : 1G
 WELDER NAME : Pak Pardi
 ELECTRODE : E71T-1

1. TENSION TEST								
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK (mm)	DIA. (mm)	CSA (mm ²)	YIELD STRENGTH MPa	ULTIMATE STRENGTH MPa	BREAKING
1	2.1	24,75	11,30	-	279,67	305,71	457,67	Base metal
2	2.2	24,97	11,21	-	279,91	310,81	468,00	Base metal
3	2.3	24,96	11,33	-	282,79	304,10	459,69	Base metal

NO	F. YIELD		F. ULTIMATE	
	KN	N	KN	N
1	89,5	85500	128	128000
2	87	87000	131	131000
3	86	86000	130	130000

II. BENDING TEST,		ANGLE OF BEND :	DIAMETER of FORMER :	
NO	SAMPLE MARK	IDENTIFICATION	WIDTH (mm)	THICK. (mm)

Witnessed by :		The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS
1.		Tester
2.		
3.		
4.		
5.		

~~⊗~~ : No Repair (Test Coupon 1)



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

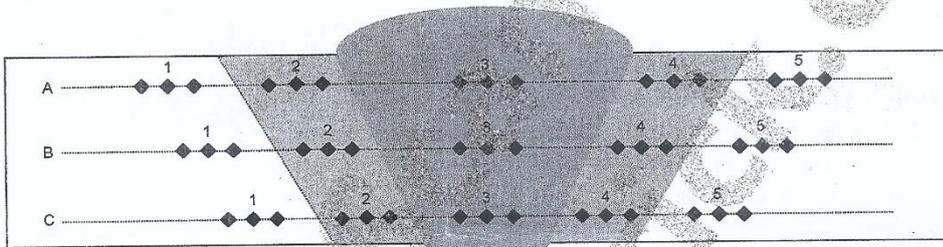
LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : _____
 ORDER FROM : Anwar Rusdi Labis
 TEST STANDARD : _____
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36
 THICKNESS : 12 mm to 12 mm
 WELDING PROCESS : FCAW
 TEST POSITION : 1G
 WELDER : Pak Pardi

HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)				
	Base Metal	H A Z	Weld Metal	H A Z	Base Metal
	1	2	3	4	5
A	137,3	147,4	159,0		
Average					
B	167,8	189,0	181,8		
Average					
C	174,2	172,1	194,6		
Average					

Equipment: Micro Vickers Hardness Tester, Model: TH 712, Time Group INC, China

Witnessed by : _____

The Laboratory of Ship Strength and Construction
FT. Kelautan - ITS
Tester



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

⊗ : Grinding (Test coupon 2)
Repair

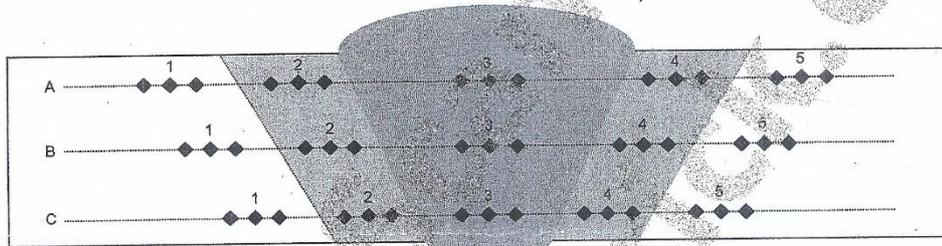
LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : _____
ORDER FROM : Ancor Rusdi Lohis
TEST STANDARD : _____
MATERIAL SPEC. : ASTM A36
THICKNESS : 12 mm to 12 mm
WELDING PROCESS : FCAW
TEST POSITION : 1G
WELDER : Pak pardi

HARDNESS TEST



Vickers Hardness Number (HV. 1)

Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)				
	Base Metal	HAZ	Weld Metal	HAZ	Base Metal
	1	2	3	4	5
A	150,0	145,1	168,6		
Average					
B	148,4	147,5	176,3		
Average					
C	156,3	149,5	169,3		
Average					

Equipment: Micro Vickers Hardness Tester, Model: TH 712, Time Group INC, China

Witnessed by : _____
The Laboratory of Ship Strength and Construction
FT. Kelautan - ITS
Tester

ⓧ: Gouging Repair (Test coupon 3)



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

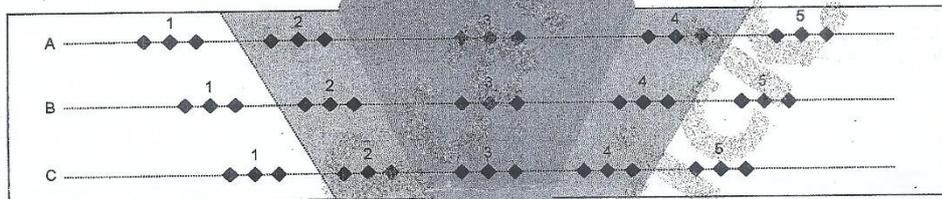
LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE :
ORDER FROM : Anwar Rusdi Labis
TEST STANDARD :
MATERIAL SPEC. : ASTM A36
THICKNESS : 12 mm to 12 mm
WELDING PROCESS : FCAW
TEST POSITION : 1G
WELDER : Paik Pardi

HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)				
	Base Metal 1	H A Z 2	Weld Metal 3	H A Z 4	Base Metal 5
A	145,4	149,5	164,7		
Average					
B	146,1	155,8	163,7		
Average					
C	164,3	189,3	152,5		
Average					

Equipment: Micro Vickers Hardness Tester, Model: TH 712, Time Group INC, China

Witnessed by	The Laboratory of Ship Strength and Construction FT. Kelautan - ITS
	Tester

BIODATA PENULIS



Anwar Rusdi Lubis, Dilahirkan di Batam, 19 November 1998. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dengan orang tua Bapak Nurin Lubis dan Ibu Aisyah. Riwayat pendidikan formal Penulis dimulai dari SD Negeri 004 Batu Aji, Batam (2004-2010), SMP Negeri 9 Batam (2010-2013), SMA Negeri 1 Batam (2013-2016) dan pada tahun 2016 setelah lulus dari SMA, Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Divisi Sepak Bola di UKM Sepak Bola ITS 2017/2018 dan *staff* Kerohanian KPMKR Surabaya 2017/2018. Selain itu, Penulis juga pernah mengikuti pelatihan LKMM Pra-TD dan LKMM TD FTK ITS serta mengikuti kepanitiaan sebagai *staff* ahli Sie Keamanan dan Perizinan pada ITS Futsal Championship tahun 2018.

Untuk memenuhi persyaratan menjadi seorang Sarjana Teknik, Penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Proses Penghilangan Logam Las Secara Panas dan Dingin pada Pengelasan Ulang Baja ASTM A36 terhadap Sifat Mekanis”.

Email: aanlubis119@gmail.com 082268481708