



TUGAS AKHIR - MN 181581

**ANALISA PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK TEMPER
BEAD WELDING PADA MATERIAL ASTM A36**

**DANY SANJAYA SITOMPUL
NRP 0411144000019**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 181581

**ANALISA PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK TEMPER
BEAD WELDING PADA MATERIAL ASTM A36**

**Dany Sanjaya Sitompul
NRP 0411144000019**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - MN 181581

**ANALYSIS OF *HEAT INPUT* TEMPER BEAD WELDING
ON MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL
PROPERTIES OF ASTM A36**

**Dany Sanjaya Sitompul
NRP 04111440000019**

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

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING
ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN TEMPER BEAD WELDING PADA MATERIAL ASTM A36

TUGAS AKHIR

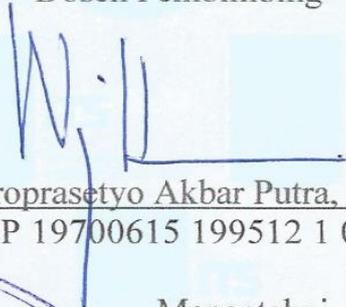
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DANY SANJAYA SITOMPUL
NRP 0411144000019

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing


Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
NIP 19700615 199512 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



H. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 11 JULI 2019

LEMBAR REVISI

ANALISA PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK TEMPER BEAD WELDING PADA MATERIAL ASTM A36

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 03 Juli 2019

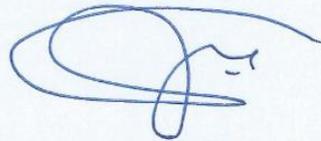
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

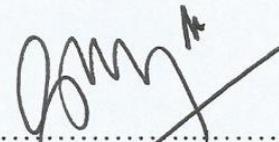
DANY SANJAYA SITOMPUL
NRP 04111440000019

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.



2. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

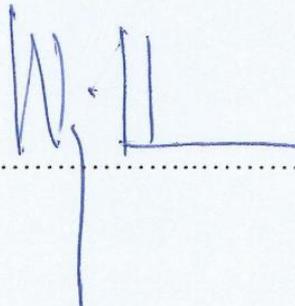


3. Totok Yulianto, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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



SURABAYA, 11 JULI 2019

Dipersembahkan kepada kedua orang tua, Timbul dan Tetap,
serta keluarga saya 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 **“ANALISA PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK TEMPER BEAD WELDING PADA MATERIAL ASTM A36”** 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 Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
3. Bapak Totok Yulianto, Bapak Zubaydi, Bapak Aries Sulisetyono. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. 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 ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
6. Bapak Dr. Ir. I Ketut Suastika. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
7. Pak Timbul Renhard Sitompul, Ibu Tetap Br.Surbakti, VioLetta dan Adek Vina selaku keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, motivasi dan kasih sayang;

8. Pak Pardi, Pak Deny, Pak Didik, Pak Fairil, Mas Agil, Mas Joko, Mas Ergie atas segala saran dan waktu yang diberikan untuk membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir;
9. Keluarga P-54 (DEADRISE) 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, 11 Juli 2019

Dany Sanjaya Sitompul

ANALISA PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK TEMPER BEAD WELDING PADA MATERIAL ASTM A36

Nama Mahasiswa : Dany Sanjaya Sitompul
NRP : 0411144000019
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Dalam proses pembuatan kapal dengan bahan utama baja tidak akan lepas dari proses pengelasan. Akan tetapi, dalam proses pengelasan sering muncul permasalahan cacat las dan deformasi. *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) merupakan salah satu metode perlakuan panas yang dilakukan dalam pengelasan. Tujuan utama dilakukannya PWHT adalah untuk mengurangi *residual stress* dan meningkatkan ketangguhan hasil pengelasan. Untuk mengoptimasikan sifat pengelasan dalam baja modern di mana PWHT tidak dilakukan atau dipraktekkan maka metode khusus pengelasan digunakan, yaitu *Temper Bead Welding* (TBW). Untuk mengganti efek dari PWHT, teknik *temper bead welding* dapat dilakukan sebagai metode alternatif untuk memberikan perlakuan terhadap *bead* atau lapisan las dengan *heat input* pengelasan pada lapisan atau *layer* setelahnya.

Dalam eksperimen ini, dilakukan perbandingan pengelasan antara *Temper Bead Welding* dan *Post Weld Heat Treatment*. Proses pengelasan *temper bead* dilakukan dengan memvariasikan rasio *heat input* antar *layer* sebesar 1.2, 1.3, 1.4, dan pengelasan *nontemper bead + Post Weld Heat Treatment*. Material yang digunakan dengan tebal 40 mm. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Selanjutnya dilakukan pengujian yang mencakup uji impak, uji kekerasan, dan struktur mikro.

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada rasio *heat input* 1.4 sebesar 218.06 HV dan nilai kekerasan terendah terdapat pada pengelasan *nontemper bead + PWHT* sebesar 138.8 HV. Nilai energi *absorb* daerah *weld metal* pada pengelasan *nontemper bead+PWHT* sebesar 133.83 Joule, pada pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.2 sebesar 134.83 Joule, pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.3 sebesar 141.17 Joule, dan pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.4 sebesar 140.17 Joule yang menunjukkan bahwa semakin besar rasio *heat input* semakin rendah kekuatan impaknya. Secara keseluruhan pengelasan *temper bead* dengan rasio *heat input* yang rendah yaitu 1.2 dapat menghasilkan sifat mekanik yang baik mendekati hasil pengelasan yang sesudahnya dilakukan PWHT.

Kata kunci: ASTM A36, *Temper Bead Welding*, PWHT, kekerasan, impak, metalografi.

ANALYSIS OF HEAT INPUT TEMPER BEAD WELDING ON MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASTM A36

Author : Dany Sanjaya Sitompul
Student Number : 0411144000019
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

In the process of ship building with the main material of steel will not be separated from the welding process. However, in the welding process often comes the problem of welding defects and deformation. Post Weld Heat Treatment (PWHT) is one of the heat treatment methods performed in welding. The main purpose of PWHT is to reduce residual stress and increase the toughness of welding results. To optimize the welding properties in modern steel where PWHT is not performed or practiced the special method of welding is used, Temper Bead Welding (TBW). In order to change the effect of PWHT, the temper bead welding technique can be performed as an alternative method to treat the bead or welding layer by heat welding input at the next layer.

In this experiment, a welding comparison is carried out between Temper Bead Welding and Post Weld Heat Treatment. The temper bead welding process is done by varying the ratio of heat input between layers by 1.2, 1.3, 1.4, and nontemper bead + Post Weld Heat Treatment against the material 40 mm thickness. The welding process that is used is Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Further testing is carried out which includes impact test, hardness test, and microstructure.

Based on the test results, it can be seen that the highest hardness value is found in the ratio of heat input 1.4 of 218.06 HV and the lowest hardness value is found in nontemper bead+ PWHT welding 138.8 HV. The absorb energi value of the weld metal area in the welding of nontemper bead + PWHT was 133.83 Joules, in temper bead welding heat input ratio 1.2 is 134.83 Joule, temper bead welding heat input ratio 1.3 is 141.17 Joules, and temper bead welding heat input ratio 1.4 is 140.17 Joule which shows that the greater heat input ratio the lower the impact strength. Overall temper bead welding with lowest heat input ratio is 1.2 can produce good mechanical properties close to the welding results after PWHT.

Keywords: ASTM A36, *Temper Bead Welding*, PWHT, *hardness*, *impact*, *metallographic*.

DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI.....	IV
HALAMAN PERUNTUKAN.....	V
KATA PENGANTAR.....	VI
ABSTRAK	VIII
ABSTRACT	IX
DAFTAR ISI	X
DAFTAR GAMBAR.....	XII
DAFTAR TABEL	XIV
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.1.1. Perumusan Masalah.....	2
I.2. Tujuan	2
I.3. Batasan Masalah	2
I.4. Manfaat	3
I.5. Hipotesis.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1. Dasar Teori.....	5
II.1.1. Teori Dasar Pengelasan	5
II.1.2. Baja Karbon A36.....	5
II.1.3. <i>Postweld Heat Treatment</i> (PWHT)	6
II.1.4. <i>Temper Bead Welding</i>	7
II.1.5. Masukan Panas (<i>Heat Input</i>)	12
II.1.6. Sifat Mekanik	14
II.1.7. Pengelasan SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>).....	15
II.1.8. Pengujian Kekerasan	16
II.1.9. Pengujian Metalografi	17
II.1.10. Pengujian <i>Impact</i>	19
II.1.11. Korelasi <i>Yield Strength</i> dan <i>Tensile Strength</i> dengan Kekerasan.....	21
II.2. Tinjauan Pustaka	22
BAB III METODOLOGI	25
III.1. Bahan dan Peralatan	25
III.1.1. Bahan Penelitian	25
III.1.2. Kawat Las	25
III.1.3. Alur Las	26
III.1.4. Peralatan Penelitian	27
III.1.5. Peralatan untuk persiapan material.....	27
III.1.6. Peralatan untuk proses pengelasan	27
III.1.7. Peralatan untuk pembentukan spesimen uji.....	28
III.2. Tahap Persiapan	28
III.3. Proses Pengelasan	29
III.3.1. Pengelasan dengan Pengaruh <i>Post Weld Heat Treatment</i> (PWHT).....	29
III.3.2. Pengelasan <i>Temper Bead</i> Rasio <i>Heat input</i> 1.2.....	32
III.3.3. Pengelasan <i>Temper Bead</i> Rasio <i>Heat input</i> 1.3.....	35

III.3.4. Pengelasan <i>Temper Bead</i> Rasio <i>Heat input</i> 1.4.....	36
III.4. Lokasi Spesimen Uji	38
III.4.1. Pemotongan Material.....	38
III.5. Pembuatan Spesimen Uji	39
III.6. Aplikasi PWHT pada Material.....	40
III.7. Pengujian <i>Impact</i>	41
III.8. Pengujian Metalografi dan <i>Hardness</i>	42
III.9. Lokasi Pengelasan dan Pengujian	43
III.10. Diagram Alir	44
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	47
IV.1. Analisis Hasil Pengujian Metalografi	47
IV.2. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan	52
IV.3. Analisis Hasil Pengujian <i>Impact</i>	55
IV.4. Perhitungan Pendekatan Pengujian Tarik	58
IV.5. Hubungan Keseluruhan Pengujian.....	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
V.1. Kesimpulan	63
V.2. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A PERALATAN DAN BAHAN	
LAMPIRAN B WPS, PQR DAN MILL TEST CERTIFICATE	
LAMPIRAN C DATA HASIL PENGUJIAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Penempatan <i>Weld Bead</i> Pengelasan <i>Temper Bead</i> pada Sambungan Las V	8
Gambar II.2 Nomenklatur <i>Temper Bead Welding</i>	8
Gambar II.3 Hubungan antara Setiap Daerah HAZ dengan Diagram Fasa Besi Karbon	11
Gambar II.4 Pengaruh <i>Heat input</i> terhadap <i>Cooling Rate</i>	13
Gambar II.5 Proses SMAW.....	16
Gambar II.6 <i>Typical Pendulums and Anvils for Charpy Machines</i>	20
Gambar II.7 Plot variasi baja <i>Yield Strength</i> dalam fungsi Kekerasan	21
Gambar II.8 Plot variasi baja <i>Tensile Strength</i> dalam fungsi Kekerasan	22
Gambar III.1 Material Baja ASTM A36	25
Gambar III.2 Elektroda Kobe Steel E7018 LB-52-18.....	26
Gambar III.3 <i>Groove Weld Specification</i>	26
Gambar III.4 Pembuatan Alur Las dengan <i>Grooving Machine</i>	27
Gambar III.5 Permukaan Tidak Rata Daerah Alur Las	28
Gambar III.6 Penambalan Pada Daerah Las yang Tidak Rata	28
Gambar III.7 Hasil Akhir Perbaikan Alur Las	29
Gambar III.8 Pemasangan <i>Stopper</i> dan Proses Pengelasan.....	30
Gambar III.9 <i>Welding Sequence</i> dan Hasil Pengelasan Biasa +PWHT	30
Gambar III.10 <i>Preheat</i> di atas 60°C	31
Gambar III.11 Grafik PWHT	32
Gambar III.12 <i>Welding Sequence</i> dan Hasil Pengelasan <i>Temper Bead</i> Rasio <i>Heat input</i> 1.2	33
Gambar III.13 <i>Preheat</i> di atas 150 °C	34
Gambar III.14 Demo <i>Heat input Temper Bead Welding</i>	34
Gambar III.15 Pengukuran Amper dan Voltase Pengelasan	35
Gambar III.16 <i>Welding Sequence</i> dan Hasil Pengelasan <i>Temper Bead</i> Rasio <i>Heat input</i> 1.3	35
Gambar III.17 <i>Welding Sequence</i> dan Hasil Pengelasan TBW Rasio <i>Heat input</i> 1.4..	36
Gambar III.18 Contoh Pengambilan Spesimen pada <i>Test Coupon</i>	38
Gambar III.19 Proses Pemotongan <i>Test Coupon</i>	39
Gambar III.20 Oven PWHT	41
Gambar III.21 Dimensi dan Bentuk Pengujian <i>Impact</i>	41
Gambar III.22 Contoh Spesimen Pengujian <i>Impact</i>	42
Gambar III.23 Pengambilan Titik pada Pengujian <i>Hardness</i>	42
Gambar III.24 Contoh Spesimen Pengujian <i>Hardness</i> dan Metallografi.....	43
Gambar III.25 Contoh Hasil Foto Mikro Pembesaran 400x	43
Gambar IV.1 Foto Mikro Pengelasan <i>nonTemperBead</i> + PWHT Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x	48
Gambar IV.2 Foto Mikro Pengelasan <i>TemperBead Heat input</i> 1.2 Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x	48
Gambar IV.3 Foto Mikro Pengelasan <i>TemperBead Heat input</i> 1.3 Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x	48

Gambar IV.4 Foto Mikro Pengelasan <i>TemperBead Heat input 1.4</i> Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x	49
Gambar IV.5 Foto Mikro Pengelasan <i>NonTemper Bead + PWHT</i> Daerah <i>Weld Metal</i> Pembesaran 100x dan 400x	50
Gambar IV.6 Foto Mikro Pengelasan <i>TemperBead Heat Input 1.2</i> Daerah <i>Weld Metal</i> Pembesaran 100x dan 400x	50
Gambar IV.7 Foto Mikro Pengelasan <i>TemperBead Heat Input 1.3</i> Daerah <i>Weld Metal</i> Pembesaran 100x dan 400x	50
Gambar IV.8 Foto Mikro Pengelasan <i>TemperBead Heat Input 1.4</i> Daerah <i>Weld Metal</i> Pembesaran 100x dan 400x	51
Gambar IV.9 Contoh Hasil Pengujian <i>Vickers Hardness</i> pada <i>Temper Bead Rasio</i> <i>Heat input 1.3</i>	52
Gambar IV.10 Grafik Pengujian Kekerasan.....	54
Gambar IV.11 Grafik Pengujian <i>Impact</i>	57
Gambar IV.12 Grafik Nilai Kekuatan	59

DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Komposisi Kimia ASTM A36.....	6
Tabel II-2 Kondisi dari PWHT	7
Tabel II-3 Pengaruh Peningkatan <i>Heat input</i> terhadap Sifat Material Pengelasan SMAW.....	13
Tabel III-1 Parameter Pengelasan Aktual Biasa + PWHT	31
Tabel III-2 Parameter Pengelasan <i>Temper Bead</i> Rasio <i>Heat input</i> 1.2.....	33
Tabel III-3 Parameter Pengelasan <i>Temper Bead</i> Rasio <i>Heat input</i> 1.3.....	36
Tabel III-4 Parameter Pengelasan <i>Temper Bead</i> Rasio <i>Heat input</i> 1.4.....	37
Tabel IV-1 Data Pengujian Kekerasan	53
Tabel IV-2 Data Pengujian Impact.....	56
Tabel IV-3 Nilai Pendekatan Kekuatan dari Kekerasan Daerah HAZ.....	59
Tabel IV-4 Data Keseluruhan Pengujian Daerah HAZ.....	60
Tabel IV-5 Data Keseluruhan Pengujian Daerah <i>Weld Metal</i>	60
Tabel IV-6 Data Perbandingan Hasil Pengujian Daerah HAZ.....	61
Tabel IV-7 Data Perbandingan Hasil Pengujian Daerah <i>Weld Metal</i>	61

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Dalam dunia industri perkapalan, proses pengelasan ulang dapat terjadi pada material yang mengalami pekerjaan *replating* akibat kesalahan dalam pekerjaan di lapangan. Teknologi pengelasan merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan dalam proses penyambungan material dan konstruksi baja. Proses pengelasan biasanya akan terjadi deformasi, retak, ataupun cacat-cacat lain yang mengakibatkan adanya perbaikan ataupun pengelasan ulang. Deformasi yang terjadi setelah proses pengelasan, retak las, dan cacat yang lain mengakibatkan berubahnya susunan metalurgi material dan hal tersebut mengakibatkan berkurangnya kekuatan material.

Temper Bead Welding (TBW) telah banyak dikembangkan, biasanya dilakukan terhadap pengelasan perbaikan/*repair welding* untuk menghindari proses perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT).

Pengelasan dengan cara *temper bead* dapat menghasilkan sifat mekanik dan mendekati dengan hasil pengelasan yang setelahnya dilakukan perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT) sehingga teknik ini dipakai untuk menggantikan peran PWHT namun hanya untuk skala kecil yaitu dalam hal pengelasan perbaikan saja. Hal ini dikarenakan dalam proses pelaksanaannya agak rumit, variabel- variabel pengelasan *temper bead* berbeda dari umumnya sehingga butuh pengawasan ketat dari seorang *welding inspector*.

Baja memiliki beberapa macam paduan yang dapat di-*heat treatable* dan *nonheat treatable*. Baja ASTM A36 merupakan salah satu yang tergolong ke dalam *heat treatable*. Baja ASTM A36 termasuk kedalam baja karbon rendah dengan kandungan karbon $\%C < 3\%$ dan unsur penyusun utamanya terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) serta unsur lain seperti Mn, Si, Ni, Cr, V dan lain sebagainya dalam persentase kecil. Baja karbon rendah mempunyai sifat mekanis yang baik, kekuatan tarik relatif tinggi yaitu antara 415 – 550 MPa (60.000 – 80.000 psi), ketangguhan baik dan relatif ulet.

Panas yang terjadi pada proses pengelasan sangat mempengaruhi distribusi suhu, tegangan sisa (*residual stress*), dan distorsi. Selain itu panas juga mempengaruhi transformasi fasa yang selanjutnya berpengaruh pada struktur mikro dan sifat –sifat mekanik las.

Selama proses pengelasan berlangsung logam las dan HAZ akan mengalami serangkaian siklus termal yang berupa pemanasan sampai mencapai suhu maksimum dan diikuti dengan pendinginan. Proses terbentuknya struktur mikro dari proses pengelasan yang dilakukan berkaitan erat dengan fenomena laju pendinginan. Melalui *Temper Bead Welding* secara tidak langsung telah dilakukan usaha penurunan penggetasan. Dalam hal ini lapisan las yang ada di bawah dipanaskan oleh lapisan di atasnya sehingga dicapai temperatur di atas titik tranformasi yang menyebabkan terbentuknya butiran-butiran kristal yang halus.

Walaupun *temper bead welding* telah dilakukan karena menghasilkan sifat mekanik yang hampir sama dengan pengelasan yang diikuti proses PWHT setelahnya, diperlukan analisa untuk membandingkan hasil keduanya.

I.1.1. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh *heat input* pengelasan *temper bead* pada material baja ASTM A36 terhadap struktur mikro di daerah logam las dan HAZ?
2. Bagaimana pengaruh *heat input* pengelasan *temper bead* pada material baja ASTM A36 terhadap sifat mekanik yang meliputi kekerasan dan ketangguhan impak?

I.2. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh *heat input* pengelasan *temper bead* pada material baja ASTM A36 terhadap struktur mikro dan sifat mekanik di daerah logam las dan HAZ.
2. Menentukan besarnya pengaruh *heat input* yang tepat, agar didapat kan hasil pengelasan *temper bead* yang memiliki struktur mikro dan sifat mekanik yang baik.

I.3. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini permasalahan difokuskan pada:

1. Material yang digunakan adalah baja ASTM A36 dengan bentuk sambungan *butt joint* (*single v*).
2. Ukuran *test coupon* 300x150x40 mm 8 buah.

3. Kawat Las yang digunakan adalah E7016 U diameter 3.2 mm dan E7018 diameter 4 mm.
4. Laju pendinginan dianggap normal.
5. Besar *bead overlap* dianggap normal.
6. Komposisi kimia elektroda yang satu dengan yang lain dianggap seragam.
7. Pengelasan dilakukan dengan 4 variasi.
8. *Post Weld Heat Treatment* sebesar 595° C.
9. Pengujian yang dilakukan antara lain :
 - a. Pengujian Metalografi
 - b. Pengujian Kekerasan
 - c. Pengujian *Impact*

I.4. Manfaat

1. Secara akademik, hasil evaluasi pengaruh *heat input* pada pengelasan *temper bead* terhadap sifat mekanik ini dapat dijadikan acuan untuk proses *replating/ rework* pada galangan kapal.
2. Secara praktis, dapat dijadikan referensi dalam membandingkan *temper bead welding* dan *post weld heat treatment* pengaruh *heat input* pada baja ASTM A36.

I.5. Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah:

1. *Heat input* akan berpengaruh pada struktur mikro material. Semakin besar rasio *heat input* pengelasan *temper bead* maka struktur butir HAZ semakin besar, persentase fasa *perlit* di daerah *weld metal* dan HAZ semakin besar, nilai kekerasan semakin tinggi dan ketangguhan menurun terutama di daerah HAZ.
2. Pengelasan *temper bead* dengan *heat input* tertentu akan akan mendekati hasil pengelasan *nontemper bead* + PWHT.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

II.1.1. Teori Dasar Pengelasan

Deutsche Industrie Normen (DIN) 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]

II.1.2. Baja Karbon A36

Baja karbon A36 atau disebut juga ASTM A36 *steel* adalah jenis baja *hot-rolled* yang paling umum digunakan dan tersedia di industri. Baja ini tersedia dalam bentuk *round rod*, *square bar*, *rectangle bar*, dan juga dalam bentuk jadi seperti *I-beams*, *H-beams*, *angles*, dan *channels*. Proses *hot-roll* menjadikan permukaan pada baja tersebut lebih kasar. [Steel, 2014]

ASTM A36 merupakan material yang sangat banyak digunakan memiliki *weldability* yang sangat baik dan cocok untuk berbagai macam 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 dibentuk. Harga material ASTM A36 juga lebih murah daripada baja 1018. [Steel, 2014]

Baja ASTM A36 ketebalan 20-40 mm harus sesuai dengan analisis produk dengan persyaratan yang ditentukan dalam Tabel II-1, tunduk pada toleransi analisis produk dalam Spesifikasi A 6 / A 6M.

Tabel II-1 Komposisi Kimia ASTM A36 [ASTM A36, 2005]

<i>Element</i>	<i>Content</i>
Carbon, C, max, %	0.25%
Copper, Cu, min, %	0.20%
Manganese, Mn, %	0.85-1.2 0%
Phosphorus, P, max, %	0.04%
Silicon, Si, max %	0.40 %
Sulfur, S, max, %	0.05%

II.1.3. *Postweld Heat Treatment (PWHT)*

Pengurangan tegangan sisa penting dalam mencegah distorsi setelah pengelasan dan mencegah retak, korosi, dan tegangan dalam kondisi tertentu. PWHT dapat memiliki efek yang diinginkan untuk membuang gas hidrogen dalam baja tertentu. Perlakuan panas ini dapat memberi efek pemanasan kembali pada retak dan mengurangi ketangguhan takik. Seperti disebutkan di atas, kekerasan terkadang digunakan sebagai indeks kerentanan terhadap stres korosi di lingkungan tertentu dan diwajibkan jika lasan yang tidak memuaskan maka PWHT bisa mengurangi kekerasan di bawah tingkat kritis. [ASME ST.LLC.STP-PT-033, 2011]

Postweld Heat Treatment adalah perlakuan panas setelah pengelasan, biasanya bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat pengelasan itu sendiri. Secara konsep, PWHT bisa mencakup banyak potensi perlakuan yang berbeda. Bagaimanapun dalam fabrikasi baja, ada 2 prosedur yang paling sering yaitu *post heating* dan *stress relieving*. [Funderburk, 1998]

Dalam daftar *P-Number Appendix D ASME BPVC.IX 2015*, SA 36 termasuk dalam baja P-No.1 dimana SA 36 juga memiliki spesifikasi yang mirip dengan ASTM A36. Material ini jika di-PWHT harus memiliki ketebalan di atas 1½ in. atau setara dengan 38 mm. [ASME SEC VIII Div. 1 2017 Edition Table UCS-56.1]

Kondisi spesifik PWHT pada material ASTM A36 ditunjukkan dalam Tabel II.2.

Tabel II-2 Kondisi dari PWHT [ASME SEC. VIII Div. 1, 2017 Table UCS-56.1]

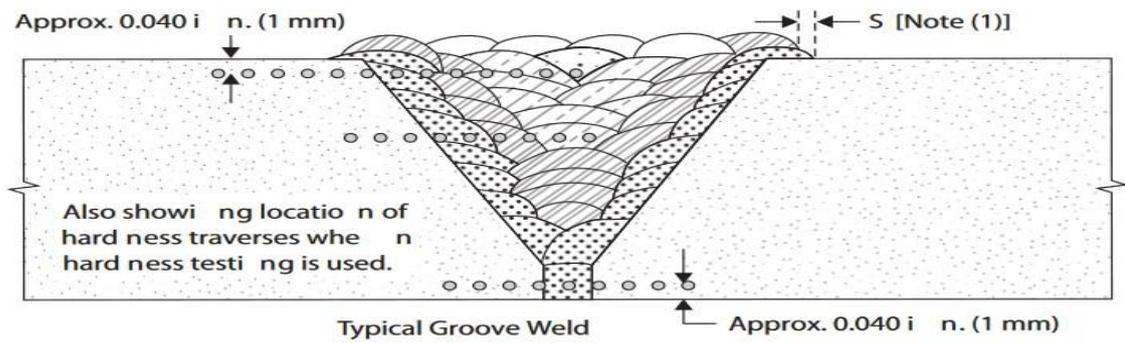
Table UCS-56-1				
Postweld Heat Treatment Requirements for Carbon and Low Alloy Steels — P-No. 1				
Material	Normal Holding Temperature, °F (°C), Minimum	Minimum Holding Time at Normal Temperature for Nominal Thickness [See UW 40(f)]		
		Up to 2 in. (50 mm)	Over 2 in. to 5 in. (50 mm to 125 mm)	Over 5 in. (125 mm)
P No. 1 Gr. Nos. 1, 2, 3	1,100 (595)	1 hr/in. (25 mm), 15 min minimum	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)
Gr. No. 4	NA	None	None	None

Ada dua alasan utama mengapa menggunakan PWHT. Pertama untuk mengurangi tegangan sisa dan kedua yaitu mengurangi kekerasan (biasa akibat efek *tempering*) dari struktur mikro yang tersebar akibat pengelasan. [ASME ST.LLC.STP-PT-033, 2011]

II.1.4. Temper Bead Welding

Untuk mengganti efek dari PWHT, teknik *temper bead welding* dapat dilakukan sebagai metode alternatif untuk memberikan perlakuan terhadap *bead* atau lapisan las dengan *heat input* pengelasan pada lapisan atau *layer* selanjutnya. *Heat affected zone* (HAZ) pada *layer* pertama di-*tempering* dengan cara mengontrol rasio *heat input* pada *layer* kedua terhadap *layer* pertama. [Alorairer et al, 2010]

Temper bead welding merupakan pengelasan dengan penempatan setiap *bead* atau *layer* pada tempat yang spesifik dengan tujuan memberikan efek metalurgi yaitu efek *tempering* pada *bead* atau *layer* sebelumnya. Penempatan *weld bead* dapat dilihat pada gambar II.1. [ASME IX QG-109, 2015]

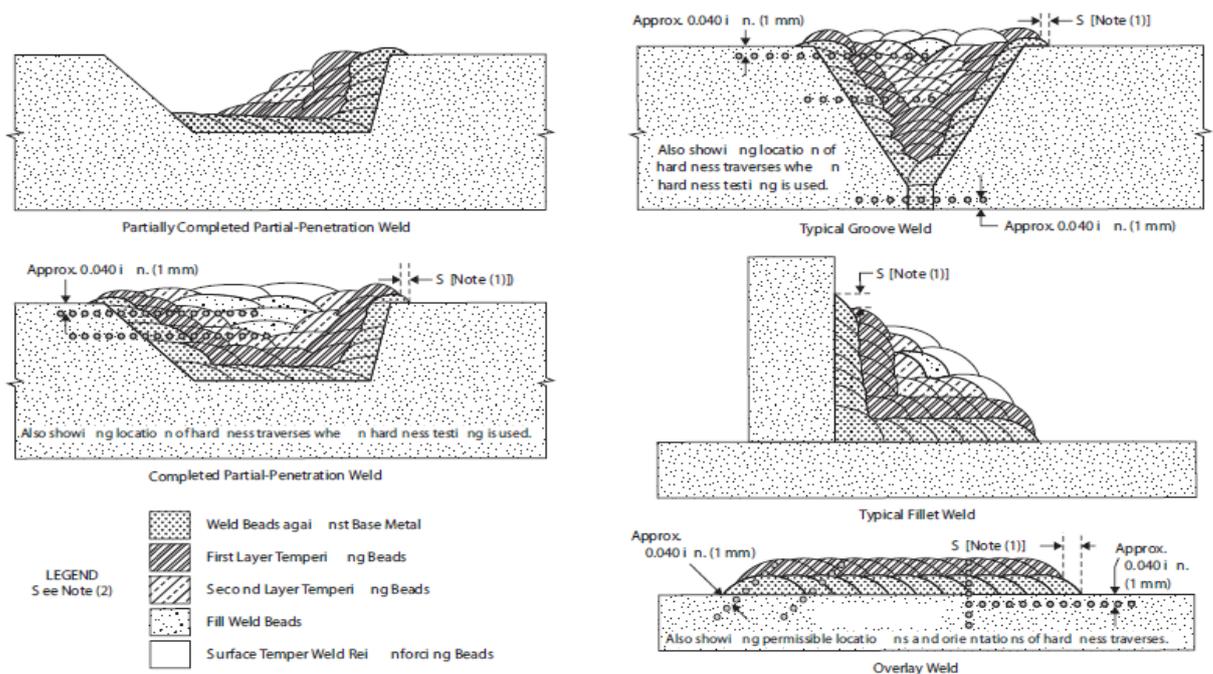


Gambar II.1 Penempatan *Weld Bead* Pengelasan *Temper Bead* pada Sambungan Las V

Sumber: ASME IX, 2015 QW 462.12

Temper bead welding dapat mensimulasikan efek *tempering* yang terjadi pada *post-weld heat treatment* (PWHT) sehingga dapat diaplikasikan untuk mengganti fungsi PWHT dalam hal pengelasan repair untuk mengurangi *residual stress* dan meningkatkan ketangguhan hasil pengelasan. Dengan mengontrol elektroda, ukuran *bead* dan variasi *heat input* dengan rasio yang spesifik dapat memberikan struktur metalurgi yang sama dengan yang diharapkan pada hasil proses PWHT. [Aloraier et al, 2010]

Berikut adalah variasi kampuh pengelasan *temper bead* atau biasa disebut nomenklatur *temper bead welding* yang dapat dilihat pada gambar II.2



Gambar II.2 Nomenklatur *Temper Bead Welding*

Sumber: ASME IX 2015 QW 462.12

Dalam *temper bead welding heat input, preheat*, dan urutan *weld bead* harus dikontrol dengan ketat. Hal ini bertujuan untuk:

- a) Batasi input panas dan pra-panas untuk menghindari pengerasan butir yang berlebihan dari HAZ "butiran kasar" dari lapisan las pertama.
- b) Tingkatkan input panas dengan jumlah yang ditentukan untuk lapisan las kedua untuk memperbaiki HAZ berbutir kasar lapisan las pertama yang mendasarinya.
- c) Tumpang tindih penempatan manik-manik las yang berurutan untuk menghasilkan penyempurnaan butir manik yang berdekatan. [WTIA.TGN-PE02, 2006]

Ada beberapa teknik pengelasan *temper bead* yang dikembangkan sampai saat ini di antaranya :

a) *Half bead technique*

Teknik ini awalnya digunakan dan dikembangkan dalam industri nuklir, tetapi saat ini penggunaannya sudah luas yaitu pada pekerjaan repair di perpipaan, *header, turnibe casing* pada boiler. Teknik ini banyak digunakan pada proses las SMAW dilakukan dengan cara meningkatkan diameter elektroda mulai dari 2.5 mm, 3.2 mm, dan 4.0 mm. Peningkatan diameter elektroda menghasilkan kenaikan masukan panas yang cukup mulai dari *layer* pertama hingga *layer* ke-3. Area yang akan di-*repair* biasanya di-*preheat* kemudian dilas dengan menggunakan teknik *buttering* pada *layer* pertama menggunakan diameter elektroda 2.5 mm, ini akan menghasilkan HAZ yang sempit. Tahap kedua menggerinda setengah dari ketebalan las dari *layer* pertama, selanjutnya dilas *layer* kedua menggunakan diameter elektroda 3.2 mm. Tahap ketiga menggerinda setengah ketebalan *layer* kedua kemudian dilas *layer* ketiga dengan diameter elektroda 4.0 mm. Kekurangan dari teknik ini adalah sangat dibutuhkan keakuratan dalam menggerinda setengah dari ketebalan tiap *layer*, banyak memakan waktu. [WTIA.TGN-PE02, 2006]

Teknik ini awalnya dikembangkan untuk digunakan dalam industri nuklir. Elektroda SMAW dengan peningkatan diameter (2.5 mm, 3.2 mm, dan 4.0 mm) digunakan berturut-turut untuk lapisan, dengan setengah dari lapisan pertama (dengan elektroda berdiameter 2.5 mm) dihilangkan dengan penggerindaan, sebelum pengendapan atau deposit lapisan kedua dengan elektroda diameter 3.2mm. Setengah dari lapisan kedua kemudian dihilangkan dan lapisan ketiga diendapkan menggunakan elektroda berdiameter 4.0 mm. Selanjutnya logam las ditambahkan untuk melengkapi pengisian dengan elektroda berdiameter 4.0 mm. [ASME ST.LLC.STP-PT-058, 2013]

b) *Consistent layer technique*

Teknik ini menggunakan GTAW, dikembangkan untuk C-Mn dan C-Mo baja (SA 508 kelas 2), digunakan dalam komponen bejana tekan reaktor nuklir. Input panas adalah meningkat secara progresif untuk tiga lapisan pertama, dan kemudian tiga lapisan selanjutnya ditambahkan. [ASME ST.LLC.STP-PT-058, 2013]

Teknik ini bisa diaplikasikan pada proses las SMAW dan GTAW. Teknik ini dilakukan dengan mendepositkan lapisan las yang memungkinkan lapisan las sebelumnya distempering oleh lapisan las kedua. Temperatur tidak boleh melebihi A1 sehingga tidak terjadi transformasi fasa. Teknik ini dapat menghasilkan struktur mikro HAZ yang terdiri dari temper martensit dengan sedikit bainit sehingga menghasilkan ketangguhan yang baik. [WTIA.TGN-PE02, 2006]

c) *Alternate temper bead technique*

GTAW digunakan untuk teknik tiga lapis ini dengan yang lebih rendah suhu panaskan sebelumnya (65°C), untuk membantu dalam transformasi HAZ menjadi martensit. [ASME ST.LLC.STP-PT-058, 2013]

Teknik ini dikembangkan khusus untuk material karbon –mangan dan karbon–molibdenum yang digunakan pada komponen *pressure vessel reactor nuklir*, menggunakan proses las GTAW otomatis sebagai alternatif *half bead technique* yang digunakan pada area paparan radiasi tinggi. Teknik ini dilakukan dengan mempersiapkan lasan yang akan di-*repair* kemudian dilas dengan sedikitnya enam lapisan *buttering*. [WTIA.TGN-PE02, 2006]

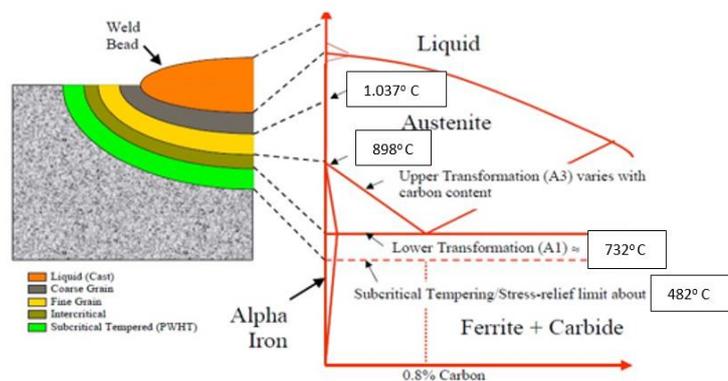
d) *Controlled deposition technique*

Teknik ini awalnya menggunakan SMAW, dengan tujuan mencapai HAZ berbutir halus dalam teknik 2-lapisan, masukan panas untuk lapisan kedua adalah 1.3 hingga 1.8 kali dari lapisan pertama. Rasio masukan panas antar lapisan itu penting. Peningkatan masukan panas untuk setiap lapisan tambahan harus antara 30% dan 70%. Tekniknya juga sudah dipraktikkan menggunakan pengelasan MAG. [ASME ST.LLC.STP-PT-058, 2013]

Teknik ini dihasilkan dari permasalahan khusus dimana *reheat cracking* dan *creep embrittlement* berpotensi terjadi saat pengelasan repair untuk material – material spesifik yang digunakan pada fossil –fered stations. Teknik ini diaplikasikan menggunakan proses las SMAW dengan mengontrol rasio *heat input* antar *layer* pertama dan selanjutnya dengan teratur. *Heat input* untuk *layer* kedua sebesar 1.3 sampai 1.8 kali lebih tinggi dari pada *layer*

pertama, ini dimaksudkan untuk menghasilkan butir yang lebih baik dan melakukan tempering terhadap *heat affected zone* awal. *Heat input* yang digunakan berkisar 30% -70% kenaikannya dari *heat input* pada *bead* atau *layer* sebelumnya. Rasio *heat input* perlu dilakukan verifikasi eksperimen untuk setiap material yang akan dilas. Daerah *weld metal* dan HAZ pada *bead* pertama dicairkan kembali oleh *bead* kedua, banyaknya bagian yang dicairkan kembali tergantung pada seberapa besar *bead* overlapnya tetapi umumnya 50%. [WTIA.TGN-PE02, 2006]

Pengelasan *temper bead* merupakan proses penyambungan sekaligus melakukan perlakuan panas khususnya *tempering*. Untuk lebih jelas memahami efek *tempering* yang diberikan oleh setiap *bead* atau *layer* dalam pengelasan *temper bead* dapat dilihat pada Gambar II.3



Gambar II.3 Hubungan antara Setiap Daerah HAZ dengan Diagram Fasa Besi Karbon

Sumber : ASME ST.LLC.STP-PT-058, 2013

Setelah proses pengelasan akan terdapat daerah yang terkena efek panas (HAZ). Pada daerah ini mengalami perubahan struktur mikro dan sifat mekanik. Secara garis besar daerah ini dapat dibagi menjadi empat bagian berdasarkan transisi perubahan struktur mikro akibat pengaruh temperatur maksimum yang pernah dicapai saat pengelasan berlangsung. *Coarse grain* adalah daerah yang memiliki struktur butir yang kasar, temperatur puncak yang pernah dicapai berkisar di atas 1000°C namun masih di bawah temperatur cair. *Fine grain* adalah daerah yang memiliki struktur butir yang halus, temperatur puncak yang pernah dicapai saat pengelasan berlangsung berkisar antara 898°C-1037°C. *Intercritical* adalah daerah yang terekspose panas pengelasan antara 732°C-898°C.

II.1.5. Masukan Panas (*Heat Input*)

Pada pengelasan busur listrik, sumber energi ditransfer dari elektroda las menuju *base metal* oleh busur listrik. Ketika *welder* mehidupkan busur, baik *base metal* maupun logam pengisi akan dilelehkan untuk membentuk lasan. Pelelehan ini terjadi dikarenakan jumlah energi yang cukup (Energi ditransfer per satuan waktu) dan massa jenis energi berasal dari elektroda. [Funderburk. 1999]

Masukan Panas atau *Heat Input* adalah ukuran relatif energi yang ditransfer per satuan panjang dari pengelasan. Masukan panas disebut karakteristik yang penting seperti *preheat* dan *interpass temperature* karena memberikan efek pada laju pendinginan yang juga mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro daerah las dan HAZ. Masukan panas secara detail dikalkulasikan sebagai rasio *power* (tegangan x arus) dan kecepatan sumber panas (busur). Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan las. Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* dapat dituliskan sebagai berikut. [Funderburk. 1999]

$$H = \frac{60 EI}{1000 S} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

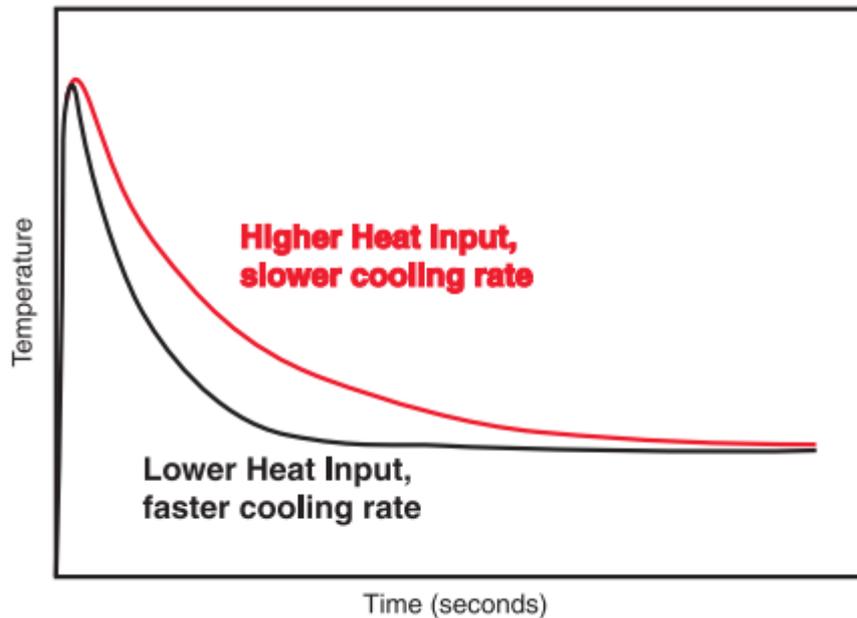
H : Masukan Panas (kJ/in atau kJ/mm)

S : Travel Speed (mm/s)

E : Potensial listrik (Volt)

I : Arus listrik (Amper)

Pengaruh masukan panas mempengaruhi laju pendinginan atau *cooling rate* dimana semakin besar masukan panas akan memperlambat laju pendinginannya. Pengaruh ini dapat dilihat pada Gambar II.4.



Gambar II.4 Pengaruh *Heat input* terhadap *Cooling Rate*
 Sumber: Funderburk, 1999

Tabel II-3 Pengaruh Peningkatan *Heat input* terhadap Sifat Material Pengelasan SMAW [Funderburk, 1999]

Property*	Change
Yield Strength	↓ 30%
Tensile Strength	↓ 10%
Percent Elongation	↑ 10%
Notch Toughness (CVN)	↑ 10%, for 15 < H < 50 kJ/in ↓ 50%, for 50 < H < 110 kJ/in
Hardness	↓ 10%

* SMAW with a heat input range of 15 to 110 kJ/in.

Masukan panas adalah hasil energi yang ditransfer dalam panjang pengelasan. Ini penting seperti layaknya *preheat* dan *interpass temperature* yang mempengaruhi laju *cooling rate* dimana juga mempengaruhi sifat mekanik dan metalurgi dari daerah las dan daerah HAZ. Pengaruh *heat input* pada *cooling rate* sama layaknya dengan temperatur *preheat*. Semakin tinggi *heat input* maka akan menghambat laju pendinginan. [Funderburk, 1999]

Variasi *heat input* adalah cara bagaimana mempengaruhi sifat mekanik dari material dalam pengelasan. Tabel II.3 menjelaskan sifat-sifat apa saja yang dipengaruhi oleh *heat input* apabila dilakukan peningkatan *heat input*. Tanda panah ke atas menunjukkan *heat input* naik maka karakteristiknya pun ikut naik. Tapi ini tidak berlaku pada ketangguhan. Peningkatan

heat input untuk melihat karakteristik ketangguhan dibagi menjadi 2 sisi *range* masukan panas. Beberapa penelitian sudah dilakukan dengan elektroda SMAW dan menghasilkan bahwa variasi *heat input* dari 15kJ/in (0.6 kJ/mm) sampai 110 kJ/in (4.3kJ/mm) adalah batasan variasi *heat input* terbesar. [Funderburk, 1999]

II.1.6. Sifat Mekanik

Sifat mekanik 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 Welding Inspection Technology Fifth Edition 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 impak 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.
- Kekenyalan (*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.

II.1.7. Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

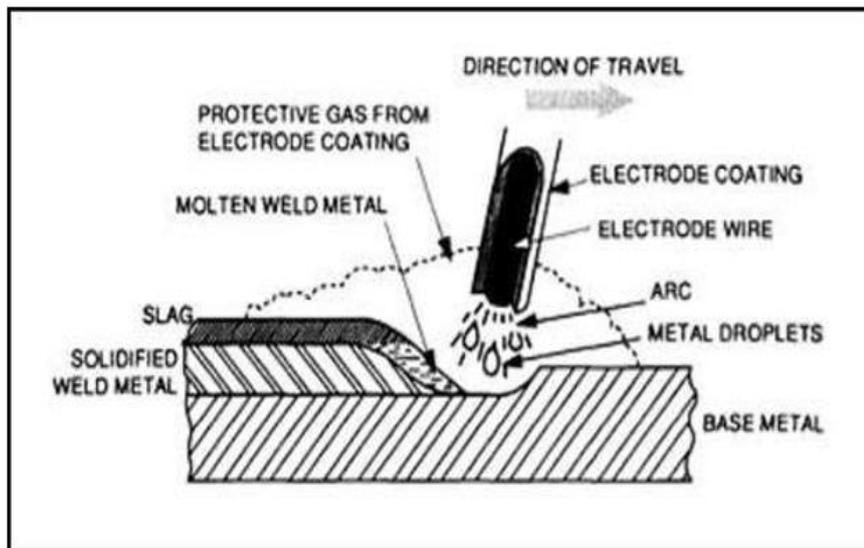
SMAW pada umumnya disebut las stik, adalah proses las manual dimana busur dibentuk antara fluks yang membungkus elektroda dan benda kerja. Proses ini menggunakan dekomposisi dari fluks untuk membentuk gas pelindung (*shielded gas*) dan untuk melindungi cairan las. [ASM International Metal Handbook Vol.6, 1991]

Proses pengelasan SMAW diawali dengan menyetakkan atau menggesekkan elektroda ke benda kerja (*base metal*). Proses penyetakan menghasilkan busur awal yang akan melelehkan *base metal* dan ujung elektroda secara bersamaan. Lelehan elektroda serta fluks berpindah melewati busur menuju *base metal*, dimana lelehan elektroda tersebut menjadi deposit las yang terlindungi oleh *slag* dari pembungkus elektroda. [ASM International Metal Handbook Vol 6, 1991]

Proses SMAW sesuai pada gambar II.5 adalah proses pengelasan yang paling banyak digunakan. Prosesnya sangat sederhana baik persyaratan maupun peralatan. Tetapi yang paling sulit adalah dalam hal pelatihan *welder* dan persyaratan tingkat keterampilannya. Meskipun tingkat keterampilan *welder* menjadi perhatian, sebagian besar *welder* yang memasuki lapangan mulai sebagai *stick welders* dan mengembangkan keterampilan yang diperlukan melalui pelatihan dan pengalaman. Investasi peralatan relatif kecil, dan elektroda las (kecuali logam yang sangat reaktif, seperti titanium, magnesium, dan lainnya) tersedia untuk hampir semua manufaktur, konstruksi, atau aplikasi pemeliharaan. Las busur logam terlindung memiliki fleksibilitas terbesar dari semua proses pengelasan, karena dapat digunakan di semua posisi (datar, vertikal, horizontal, dan overhead), dengan hampir semua ketebalan logam dasar (1.6 mm, atau 1/16 in., dan lebih besar), dan area akses yang dibatasi, yang merupakan kemampuan yang sangat penting. [ASM Metal Handbook International Vol 6, 1991]

Karena proses SMAW pada dasarnya adalah proses manual, tingkat keterampilan *welder* sangat penting dalam mendapatkan lasan yang bisa diterima. *Duty cycle* tukang las umumnya rendah, karena istirahat kerja bawaan, yang terjadi setelah setiap elektroda dikonsumsi dan memerlukan penggantian. Selain mengganti elektroda saat busur dihentikan (rusak), *welder* mungkin memotong atau menghapus terak (*slag*) dan membersihkannya dari area awal dan pengelasan dengan sikat kawat untuk memungkinkan pengendapan yang tepat dari lasan berikutnya. Operasi penggantian dan pembersihan elektroda ini terjadi berkali-kali selama hari kerja (setiap dua menit, atau waktu yang biasanya diperlukan untuk mengkonsumsi elektroda). Pemberhentian, *chipping*, penyikatan kawat, dan penggantian elektroda mencegah

welder untuk mencapai *operator factor* atau *duty cycle* yang lebih besar dari 25%. [ASM International Metal Handbook Vol 6, 1991]



Gambar II.5 Proses SMAW

Sumber: ASTM International, Vol 6, 1991

Elektroda yang digunakan dalam proses SMAW memiliki banyak komposisi yang berbeda dari kawat inti dan berbagai *flux covering* jenis dan berat. Diameter elektroda standart berkisar antara 1.6 hingga 8 mm (1/ 6 hingga 5/16 in.). Panjang elektroda biasanya berkisar antara 230 hingga 455 mm (9 hingga 18 in.), panjang yang lebih pendek dikaitkan dengan meteran kecil elektroda. Ujung elektroda yang telanjang dan tidak dilapisi (ujung pegangan) disediakan untuk melakukan kontak listrik di dalam pemegang elektroda. [ASM Metal Handbook International Vol 6, 1991]

II.1.8. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan (*Hardness*) dilakukan untuk menentukan ketahanan suatu material akibat penetrasi. Meskipun demikian, hasil pengujian kekerasan sering digunakan sebagai metode cepat yang mendekati akhir kekuatan tarik di area lokal diuji. Pengukuran kekerasan juga dapat memberikan informasi tentang perubahan metalurgi yang disebabkan oleh pengelasan. Dalam baja paduan, kekerasan yang tinggi bisa mengindikasikan keberadaan martensit di zona yang terkena dampak panas las (*heat affected zone*), sementara kekerasan rendah dapat menunjukkan kondisi *overtempered*. Pengelasan bisa menyebabkan kekerasan yang secara signifikan lebih rendah di daerah yang terkena panas zona logam oleh pengerjaan dingin (*cold worked*) karena pemulihan dan rekristalisasi. Pada logam yang sudah mengeras,

pengelasan bisa menghasilkan kekerasan pada zona terkena dampak panas yang lebih rendah karena *overaging*. [AWS Welding Handbook 9th edition Vol. 1, 2001]

Jenis material, geometri, dan ukuran penetrasi bergantung pada metode pengujian dan jarak kekerasan serta termasuk spherikal baja dan *diamond pyramids*. Pengujian kekerasan meliputi beberapa metode yaitu *Brinell*, *Knoop*, *Rockwell*, dan pengujian *Vickers*. [AWS Welding Handbook 9th edition Vol. 1, 2001]

Pengujian kekerasan *Rockwell* menggunakan kedalaman lekukan (*indentation*) bawah beban untuk mendapatkan pengukuran kekerasan. Diameter atau kedalaman lekukan kemudian diukur dan dikonversi ke angka kekerasan menggunakan prosedur standart yang setiap metode didefinisikan dalam *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. [AWS Welding Handbook 9th edition Vol. 1, 2001]

Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* dan *Knoop* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam indentasi dalam skala kecil yang dalam daerah *heat affected zone* dan dengan akurat dapat melihat jarak melintangnya. Pengujian ini menggunakan alat metalografi yang bisa menghitung kekerasan dari butiran dan inklusi material. [AWS Welding Handbook 9th edition Vol. 1, 2001]

Metode pengujian *Brinell* adalah metode yang menentukan kekerasan dengan penekanan bola baja pada permukaan yang akan diuji dengan beban yang spesifik dalam waktu yang ditentukan. Dengan cara ini, diameter dari penekanan secara akurat dihitung dan dikonversikan ke angka kekerasan. [AWS Welding Handbook 9th edition Vol. 1, 2001]

II.1.9. Pengujian Metalografi

Metalografi adalah ilmu disiplin untuk memeriksa dan menentukan konstruksi dan struktur dasar (atau antar hubungan spasial) dari logam, paduan dan bahan (terkadang disebut materialografi). Pemeriksaan struktur dapat dilakukan pada rentang panjang yang luas skala atau tingkat pembesaran, mulai dari pemeriksaan visual atau pembesaran rendah (~20×) hingga perbesaran lebih dari 1.000.000× dengan mikroskop elektron. [ASM International Metal Handbook Vol.9, 2004]

Pengujian pengamatan metalografi merupakan suatu disiplin ilmu yang mempelajari metoda observasi atau pemeriksaan atau pengamatan atau pengujian dengan tujuan untuk menentukan atau mempelajari hubungan antara struktur dengan sifat atau karakter dan perlakuan yang pernah dialami oleh logam, paduan dan bahan-bahan lainnya. [Ardra.biz, 2018]

Beberapa proses lain, yang dibahas selanjutnya, termasuk *mounting* atau pembedaan (tidak selalu dilakukan), *grinding/polishing*, etsa (tidak selalu dilakukan), dan pemeriksaan spesimen. Pembagian metalurgi atau *metallographic sectioning* juga dapat digunakan untuk menyiapkan spesimen untuk tes lainnya diluar pengujian makrostruktur atau mikro. Dalam hal ini, istilah ekstraksi specimen mungkin lebih sesuai. Banyak teknik yang dijelaskan dalam artikel ini berlaku untuk mengekstraksi *test coupon* metalurgi untuk kekerasan atau pengujian mekanik lainnya, atau untuk pemindaian mikroskop elektron atau spektroskopi dispersi energi atau prosedur analisis *mikrochemical* lainnya yang mungkin mendahului program sifat metalografi material lengkap atau protokol analisis kegagalan. [ASM Metal Handbook International Vol.9, 2004]

Beberapa tahapan yang biasa dilakukan sebelum pengamatan mikroskop dapat dilaksanakan adalah :

- Pemotongan. Pemotongan atau *sectioning* yaitu pengambilan sebagian sampel representatif yang akan dianalisis dengan berbagai cara seperti pemotongan dengan cakram abrasif, gergaji atau dengan plasma bertekanan tinggi.
- *Labelling* (Identifikasi). *Labelling* yaitu pemberian identitas sampel supaya dapat dibedakan dengan yang lainnya. *Labelling* dapat dilakukan dengan cara penggoresan, pengetokan atau dengan cara lainnya. Pastikan bahwa identitas tidak akan hilang selama preparasi.
- *Mounting*. Pelapisan sampel logam dengan zat organik seperti bakelit, epoxin resin dengan maksud mempermudah penanganan selama persiapan metalografi. Teknik *mounting* dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti *clamp mounting*, *compression mounting*, *cold mounting*, dan *conductive mounting*. Perbedaan yang pokok dari keempat cara tersebut bergantung bahan dan teknik pelapisan yang digunakan.
- *Grinding* merupakan pengetaman untuk meratakan permukaan sampel dengan menggunakan kertas/berbahan abrasif. Ukuran abrasif yang digunakan mulai dari 40 sampai 1200 mesh. Bahan abrasif umumnya terbuat dari alumina silikon karbida, emery atau intan.
- *Polishing* merupakan tahap akhir dari perataan permukaan sampel. Syarat permukaan sampel yang dapat digunakan untuk analisis metalografi adalah harus bebas goresan dan tampak seperti cermin. Pemolesan dapat dilakukan secara bertahap dengan cara mekanis, kimia, dan elektrolitik.

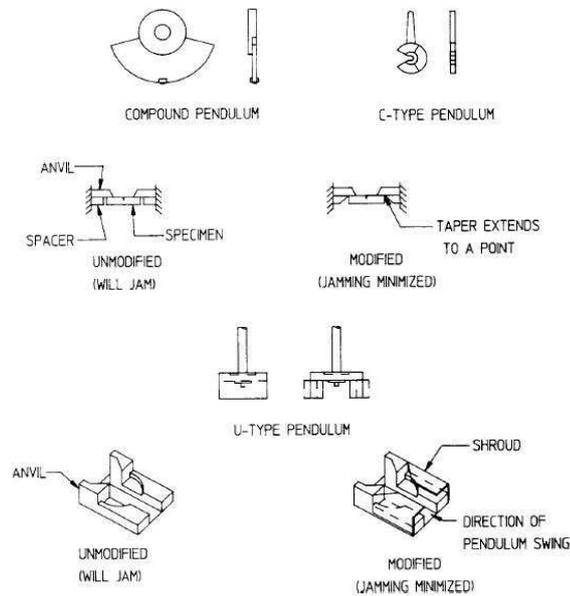
- *Etching* merupakan pemberian reagen kimia yang disebut *etchant* pada permukaan hasil *polishing* untuk menimbulkan penampakan khusus seperti fasa, batas butir, dislokasi, dan struktur mikro tertentu di bawah mikroskop.
- *Cleaning* atau pembersihan adalah pembersihan permukaan logam yang belum dan sesudah dietsa dari kotoran ataupun *reagent* kimia. Bahkan sangat dianjurkan setiap tahapan selalu dilakukan pencucian permukaan sampel sebelum masuk tahap berikutnya. Pencucian dapat dilakukan dengan menggunakan air mengalir sampai pada tahap *polishing*, dan menggunakan alhohol untuk etsa.
- *Drying* atau pengeringan adalah pengeringan sampel sebelum pengamatan mikroskop. Permukaan sampel harus benar-benar kering. Air yang tersisa pada permukaan akan teruapkan saat pengamatan. Hal ini akan merusak lensa mikroskop. Selaint itu, air yang tersisa dapat memberikan interpretasi menjadi salah. [Ardra.biz, 2018]

II.1.10. Pengujian *Impact*

Pengujian impak (*impact testing*) berhubungan khusus pada perilaku logam ketika dikenai beban benda tunggal dari gaya yang menghasilkan tekanan multi-aksial yang terkait dengan takik (*notch*), ditambah dengan tingkat pembebanan yang tinggi dan dalam beberapa kasus dengan suhu tinggi atau rendah. Untuk beberapa bahan dan suhu hasil tes impak pada spesimen yang di-*notch*, ketika dikaitkan dengan pengalaman yang sudah ada, ditemukan prediksi bahwa untuk mengetahui *fracture brittle* secara akurat. [ASTM E 23, 2007]

Keistimewaan dari tes impak adalah spesimen yang sesuai (spesimen dari beberapa jenis berbeda bisa dikenali), satu set landasan, dan untuk pengujian tersebut, spesimen ditempatkan untuk menerima pukulan dari beban yang bergerak, beban benda yang bergerak memiliki energi

yang cukup untuk memecahkan spesimen yang ditempatkan di jalurnya, dan perangkat untuk mengukur energi yang diserap oleh spesimen yang pecahkan. [ASTM E 23, 2007]



Gambar II.6 Typical Pendulums and Anvils for Charpy Machines

Sumber: ASTM E 23, 2007

Pengujian *impact* menggunakan metode *charpy*, macam-macam pendulum dari metode *charpy*. *Charpy Impact Test*, juga dikenal sebagai pengujian *Charpy V-notch* (CVN) adalah standar pengujian yang secara ekstensif sering digunakan dalam pengujian mekanik produk baja, dalam penelitian, dan spesifikasi pembelian yang sering muncul dalam lebih tiga dekade terakhir. [ASTM E 23, 2007]

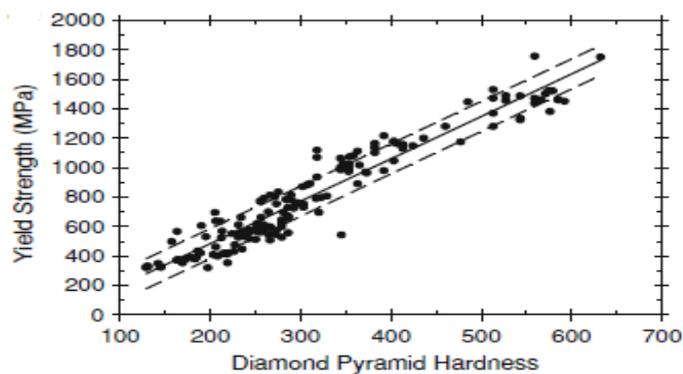
Banyak spesimen pengujian impak dari desain yang berbeda telah digunakan oleh peneliti dari fraktur logam rapuh. Dua kelas spesimen telah distandarisasi untuk pengujian impak. Spesimen *charpy bar* sering digunakan di Amerika Serikat, sedangkan spesimen Izod sering digunakan di Inggris. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan takik bahan tertentu dan bertindak sebagai kondisi untuk mengamati energi yang diserap pada suhu transisi. Hal ini banyak digunakan pada industri, karena mudah untuk dilakukan dan hasilnya dapat diperoleh dengan cepat dan murah. Pada metode ini bahan uji diletakkan mendatar dan kedua ujung bahan uji ditumpu pada suatu landasan. Letak takikan (*notch*) tepat di tengah dengan

arah pemukulan dari belakang takikan. Ukuran *charpy* yang standard dalam pengujian dilihat pada Gambar II.6. [Dieter, George E.,1988]

II.1.11. Korelasi *Yield Strength* dan *Tensile Strength* dengan Kekerasan

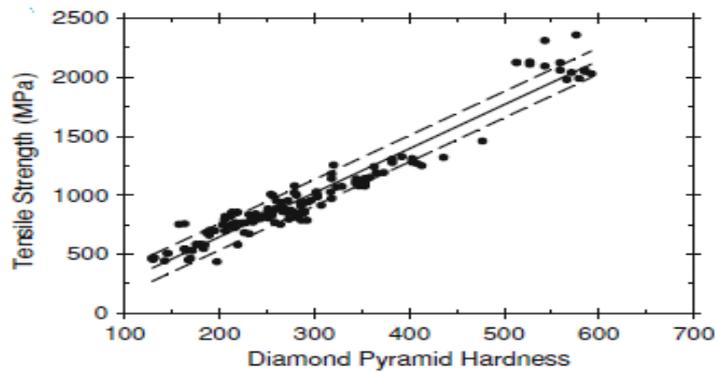
Kekerasan adalah sifat baja yang menentukan kedalaman dan distribusi kekerasan harus dibedakan dari kekerasan, yang merupakan sifat dari material yang mewakili ketahanan terhadap indentasi atau deformasi. Kekerasan dikaitkan dengan kekuatan, sedangkan pengerasan terhubung dengan karakteristik transformasi baja. Kekerasan dapat ditingkatkan dengan mengubah kinetika transformasi oleh penambahan unsur paduan, sedangkan kekerasan dari baja dengan diberikan kinetika transformasi dikendalikan terutama oleh kandungan karbon. [Dieter, George E.,1988]

Karena kekuatan dan kekerasan baja menutupi kisaran yang luas, semua nilai kekerasan dikonversi menjadi kekerasan piramida berlian, juga dikenal sebagai kekerasan Vickers, sesuai dengan ASTM E140-05 (Ref 29). Mayoritas nilai kekerasan sekarang dikonversi dari skala Rockwell B atau Rockwell C. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan korelasi dengan memperkirakan kekuatan luluh dan kekuatan tarik berbasis baja pada pengukuran kekerasan. [Pavlina E.J et al., 2008]



Gambar II.7 Plot variasi baja *Yield Strength* dalam fungsi Kekerasan

Sumber: Pavlina E.J et al., 2008



Gambar II.8 Plot variasi baja *Tensile Strength* dalam fungsi Kekerasan

Sumber: Pavlina E.J et al., 2008

Gambar II.7 dan II.8 merupakan plot *Yield Strength* dan *Tensile Strength* berbagai baja dalam fungsi kekerasan. *Solid line* merupakan representasi hasil regresi garis. Gambar di atas menunjukkan semua data kekuatan-kekerasan yang dikompilasi. Kekuatan luluh menunjukkan hubungan linier yang jelas dengan kekerasan piramida berlian untuk seluruh rentang kekuatan. Regresi linear kuadrat-terkecil memberikan korelasi untuk kekuatan luluh melalui persamaan [Pavlina E.J et al., 2008]

$$YS = -90.7 + 2.876Hv \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : YS : *Yield Strength* (MPa)
 Hv : Kekerasan Vickers (HV)

$$TS = -99.8 + 3.734HV \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : TS : *Tensile Strength* (MPa)
 Hv : Kekerasan Vickers (HV)

II.2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka diperlukan sebagai acuan dari pengalaman yang telah dikerjakan oleh peneliti sebelumnya guna mempermudah dalam menyelesaikan penelitian yang sedang dikerjakan oleh peneliti sekarang. Selain itu, studi literatur ini bertujuan untuk mendapatkan informasi atau data yang berlaku sesuai dengan bidang pada penelitian. Literatur yang berkaitan dan menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Menurut [Wiharjo, Danu. 2014] yang melakukan penelitian dengan judul “*Pengaruh Besar Arus Temper Bead Welding Terhadap Ketangguhan Hasil Las Baja SS41*”, bahwa dengan Hasil proses *temper bead welding* pada baja SS41 menghasilkan nilai ketangguhan terbesar pada yaitu sebesar 9,6982 Joule dengan besar arus 100/100

Amper. Nilai ketangguhan terendah yaitu 8,3196 Joule dengan besar arus 100/110 Amper. Kekuatan *impact* terbesar yaitu 0,1212 Joule/mm² dengan besar arus 100/100 Amper. Kekuatan *impact* terendah yaitu 0,104 Joule/mm² dengan besar arus 100/110 Amper. Namun, secara teori kekerasan akan berbanding terbalik dengan kekuatan *impact*.

2. Menurut [Irvansyah, Savero. 2014] yang melakukan penelitian dengan judul “*Analisa Pengaruh Aplikasi Preheat dan Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Pengelasan Baja Karbon A36 menggunakan Backing Material dengan Metode FCAW terhadap Sifat Mekanik dan Metalurgi*”, dengan variasi kombinasi *preheat* 300°C dan PWHT 600°C pada baja karbon A36 dengan tebal 13.7 mm menggunakan pengelasan FCAW memakai *backing ceramic* bahwa berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan semakin tinggi nilai *yield strength* dan *tensile strength*, semakin tinggi pula nilai kekerasan pada material. Namun, energi *absorb* dan *fracture toughness* pada material semakin berkurang.
3. Menurut [Amin, Ahmadil. 2016] yang melakukan penelitian dengan judul *Pengaruh Variasi Temperatur Interpass Terhadap Struktur Mikro dan Fraktografi HAZ Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper Bead Welding pada Baja Karbon Sedang*”, dalam penelitian ini, kekuatan dan ketangguhan sambungan las berkaitan erat dengan struktur mikro yang terbentuk setelah proses pengelasan, yaitu ketika proses pendinginan berlangsung. Temperatur *interpass* sering kali tidak diperhatikan dalam proses pengelasan di lapangan. Temperatur Interpass pada *Temper Bead Welding* dapat mempengaruhi laju pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk pada daerah las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur interpass terhadap struktur mikro dan fraktografi HAZ hasil pengelasan GMAW metode *Temper Bead Welding* pada baja karbon sedang, dengan variasi temperatur interpass 75°C, 100 °C, 125°C, dan 150°C. Elektroda yang digunakan E70S-6 diameter 0,8 mm. Sebagai gas pelindung selama pengelasan digunakan 100% gas CO₂. Analisis data dilakukan melalui analisis struktur mikro (metalografi) dan analisis fraktografi. Peningkatan temperatur interpass sampai dengan 150 °C memperlihatkan terjadinya peningkatan struktur *bainit*. Peningkatan temperatur interpass juga memberikan bentuk *cleavage* yang semakin lebar.
4. Menurut [Wienpy, Pradesta. 2017] yang melakukan penelitian dengan judul “*Analisa Pengaruh Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada*

Pengelasan Ulang Baja Karbon A36 pada Pondasi Mesin Kapal”, dalam penelitian ini dilakukan pengelasan ulang sebanyak 3 kali dengan perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan suhu sebesar 595°C. Proses pengelasan menggunakan SMAW dengan ketebalan material 16 mm. Bahwa berdasarkan hasil pengujian tarik yang dilakukan nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* setiap dilakukan pengelasan ulang mengalami penurunan, dimana proses PWHT berpengaruh terhadap penurunan nilai cenderung lebih stabil. Nilai kekerasan juga mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan akibat pengaruh PWHT. Nilai energi *absorb* mengalami kenaikan dikarenakan pengaruh PWHT membuat material menjadi ulet. Butiran *pearlite* dan *ferrite* terbentuk semakin kecil dan rapat akibat pengaruh pengelasan ulang dan PWHT, dimana semakin kecil butir akan semakin besar angka dari kekerasan sebuah material.

BAB III METODOLOGI

Untuk menjawab rumusan permasalahan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka di dalam penelitian ini dilakukan pengelasan *temper bead* dengan variasi rasio *heat input* pengelasan yang berbeda. Parameter pengelasan yang divariasikan adalah rasio *heat input* antar *layer* yaitu 1.2 , 1.3 , 1.4, dan pengelasan yang diikuti oleh *post weld heat treatment* (PWHT) sebagai pembanding.

III.1. Bahan dan Peralatan

III.1.1. Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah baja karbon rendah A36 dengan ukuran 300 x 150 x 40 mm sejumlah 8 buah dilihat pada Gambar III.1



Gambar III.1 Material Baja ASTM A36

III.1.2. Kawat Las

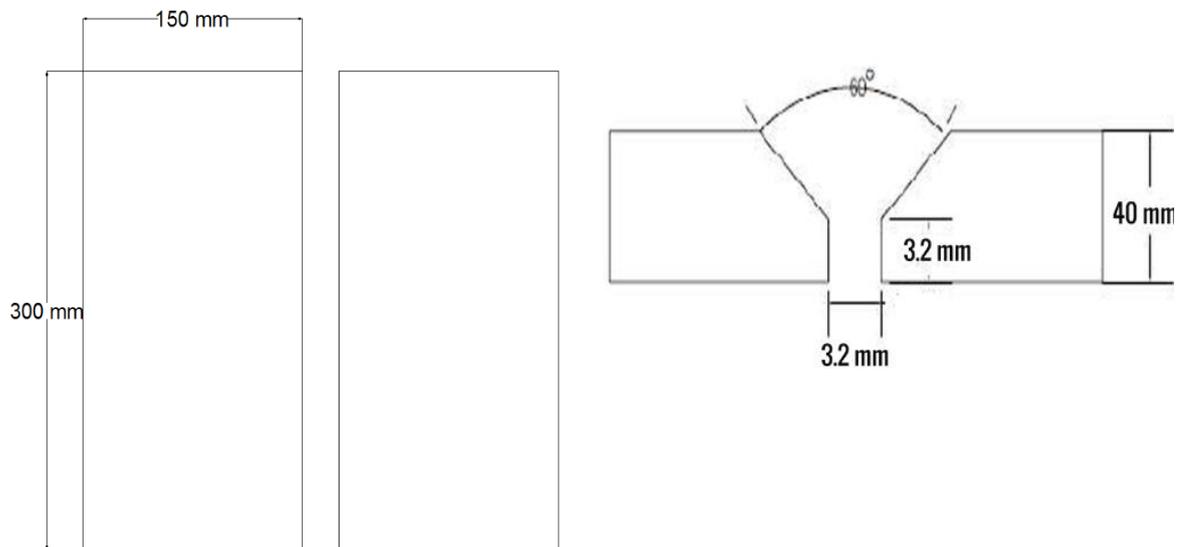
Pada material uji diberikan pengelasan di permukaan menggunakan proses pengelasan SMAW dan kawat las yang digunakan adalah Electrode Kobe Steel E7016 LB-52-18 diameter 3.2 mm untuk *root* dan E7018 LB-52-18 diameter 4.0 mm untuk logam pengisi dan dapat dilihat pada Gambar III.2.



Gambar III.2 Elektroda Kobe Steel E7018 LB-52-18

III.1.3. Alur Las

Bentuk alur las pada pengerjaan material eksperimen ini dapat dilihat pada Gambar III.3.



Gambar III.3 Groove Weld Specification

Pada pengerjaan penelitian ini, alur yang digunakan adalah alur las tipe *single V*, dengan ukuran sesuai dengan gambar. Setelah alur las selesai dibuat, bagian alur las perlu dibersihkan menggunakan mesin gerinda terlebih dahulu karena menyisakan kotoran dan permukaan yang tidak rata. Proses pembuatan alur las dengan menggunakan *grooving machine* ditunjukkan pada Gambar III.4



**Gambar III.4 Pembuatan Alur Las dengan
*Grooving Machine***

III.1.4. Peralatan Penelitian

Penelitian ini membutuhkan peralatan-peralatan yang memiliki fungsi tersendiri dimulai dari persiapan material, proses pengelasan, pembentukan, dan pemeriksaan spesimen uji yang sesuai.

III.1.5. Peralatan untuk persiapan material

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

III.1.6. Peralatan untuk proses pengelasan

1. *Shield Metal Arc Welding Machine*
2. *Electrode Kobe Steel E7018 LB-52-18*
3. *Welding Helmet*
4. *Welding Groove*
5. Sikat
6. Palu
7. Oven material

III.1.7. Peralatan untuk pembentukan spesimen uji

1. Mesin gergaji
2. *Scrubbing machine*
3. Jangka sorong
4. Kikir
5. Ragum

III.2. Tahap Persiapan

Sebelum masuk ke proses pengelasan, dilakukan perbaikan material efek dari hasil *grooving machine*. Ditemukan adanya permukaan yang tidak rata pada daerah alur las dan dapat dilihat seperti gambar III.5



Gambar III.5 Permukaan Tidak Rata Daerah Alur Las

Selanjutnya dilakukan perataan daerah alur las dengan cara penambalan pada daerah yang tidak rata dengan cara dilas dan selanjutnya digerinda untuk meratakannya kembali dapat dilihat pada gambar III.6 dan untuk hasil akhirnya dapat dilihat pada gambar III.7.



Gambar III.6 Penambalan Pada Daerah Las yang Tidak Rata



Gambar III.7 Hasil Akhir Perbaikan Alur Las

III.3. Proses Pengelasan

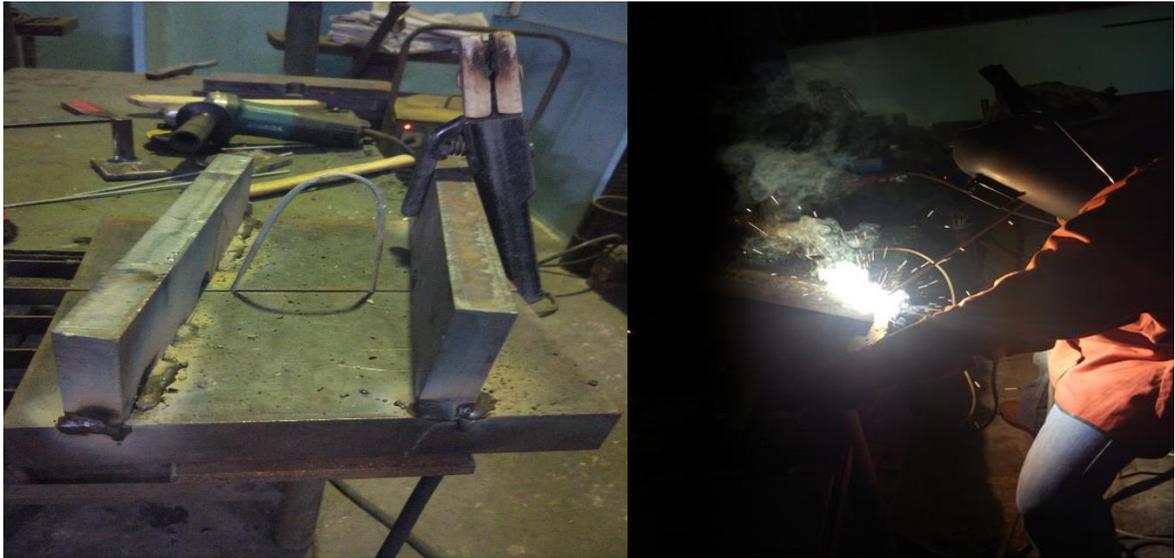
Proses pengelasan akan dilakukan di Laboratorium Teknologi dan Manajemen Produksi Kapal. Pengelasan ini dibagi menjadi 2 yaitu pengelasan biasa dengan menggunakan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) dan TBW (*Temper Bead Welding*).

III.3.1. Pengelasan dengan Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)

Pada pengelasan biasa dengan pengaruh PWHT dilakukan dengan proses SMAW. Dengan menggunakan elektroda E7016 sebagai *root* dan E7018 diameter 4 mm sebagai *filler*.

- a. Sebelum pengelasan harus disiapkan perlengkapan untuk mengelas sesuai dengan persiapan yang telah ada.
- b. Material dilakukan *tack weld* agar tidak terdeformasi dalam melakukan SMAW
- c. Kemudian dilakukan *preheat* pada suhu 80°C dengan *flame heating*, kemudian bisa dilanjutkan pengelasannya dengan menggunakan las SMAW.
- d. Pada bagian *root* menggunakan elektroda E7016 diameter 3.2 mm. Setelah itu pada pengisian *filler* menggunakan elektroda 4.0 mm sampai *capping*.
- e. Setelah dilakukan pengelasan, material tersebut di-PWHT pada suhu 595°C dengan *holding time* selama 1 jam 40 menit dan menggunakan pendinginan udara bebas. [ASME SEC.VIII 2017 Div.1 UCS-56.1]

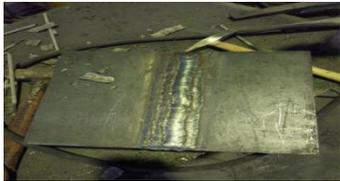
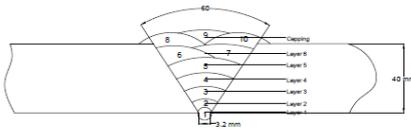
Pemangan *stopper* dan proses pengelasan dapat dilihat pada gambar III.8.



Gambar III.8 Pemasangan *Stopper* dan Proses Pengelasan

Hasil *welding sequence* bisa dilihat pada Gambar III.9 dan parameter pengelasannya bisa dilihat pada Tabel III.1.

Metode : Pengelasan Biasa + PWHT
 Material : ASTM A36 Dimensi 300 x 150 x 40
 Proses : SMAW
 Elektroda : Electrode Kobe Steel E7018 LB-52-18 diameter 4 mm & 3.2 mm

Gambar III.9 *Welding Sequence* dan Hasil Pengelasan Biasa +PWHT

Tabel III-1 Parameter Pengelasan Aktual Biasa + PWHT

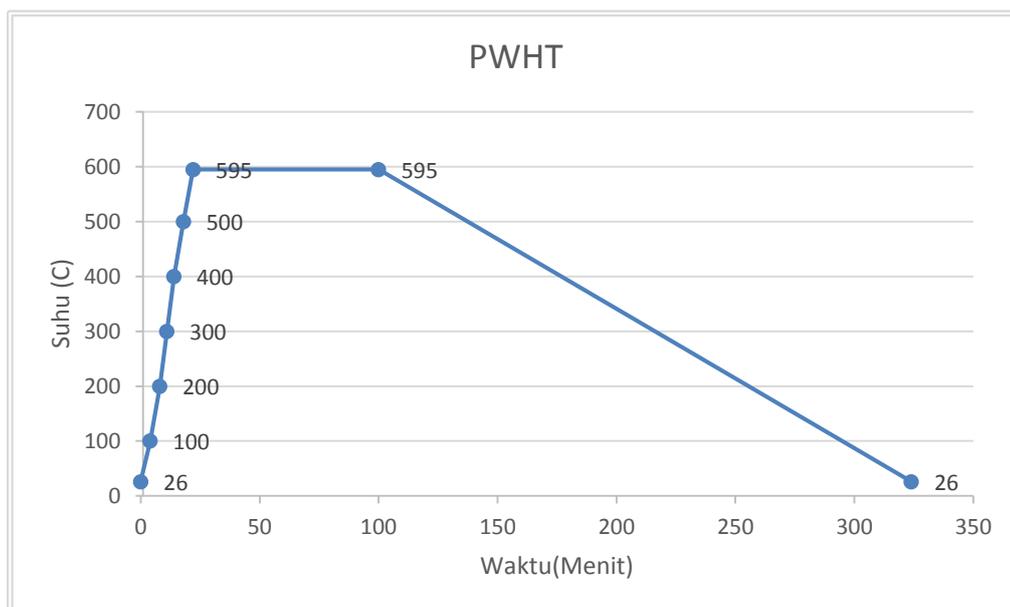
NO	Layer	Diameter (mm)	Ampere(I)	Volt (V)	Waktu(min)	Travel Speed	Heat input
						(mm/min)	(kJ/mm)
1	Root	3.20	70.00	18.00	5.80	49.97	1.51
2	Layer 1	4.00	150.00	27.00	2.10	138.02	1.76
3	Layer 2	4.00	170.00	27.00	2.30	126.02	2.19
4	Layer 3	4.00	157.00	24.00	2.01	144.20	1.57
5	Layer 4	4.00	178.00	29.00	4.10	70.70	4.38
6	Layer 5	4.00	185.00	27.00	2.89	100.29	2.99
7		4.00	185.00	27.00	3.10	93.50	3.21
8	Capping	4.00	158.00	26.00	2.00	144.93	1.70
9		4.00	158.00	26.00	2.02	143.49	1.72
10		4.00	159.00	26.00	2.01	144.20	1.72

Preheating 83°C diukur dengan menggunakan *Thermogun* dan dapat dilihat pada gambar III.10.



Gambar III.10 Preheat di atas 60°C

Setelah dilakukan pengelasan dengan parameter di atas, kemudian dilanjutkan lagi dengan proses PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) dengan suhu yang digunakan untuk pemanasan yaitu 595°C dengan *holding time* selama 1 jam 40 menit. Hasil grafik PWHT bisa dilihat pada gambar III.11. [ASME Sec. VIII 2017 Table UCS-56.1]



Gambar III.11 Grafik PWHT

III.3.2. Pengelasan *Temper Bead* Rasio *Heat input* 1.2

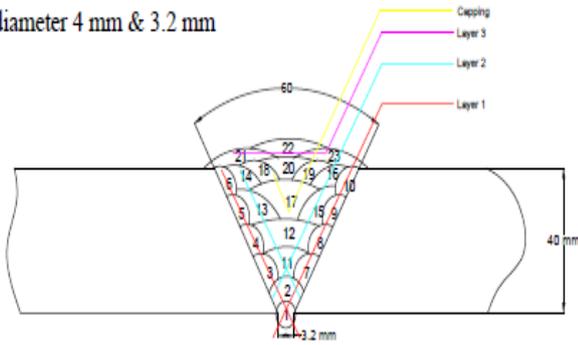
Pada *Temper Bead Heat input* 1.2 dilakukan dengan proses SMAW. Dengan menggunakan elektroda E7016 sebagai *root* dan E7018 diameter 4 mm sebagai *filler*. Dan juga dengan *preheat* di atas suhu 150°C. Material dilakukan *tack weld* agar tidak terdeformasi dalam melakukan pengelasan SMAW.

- Selanjutnya dilakukan *preheat* pada suhu 150°C dan dilanjutkan pengelasannya dengan menggunakan Las SMAW .
- Pada bagian *root* dilas dengan elektroda 3.2 mm.
- Pada *layer* 1 dilakukan pengelasan dengan elektroda diameter 4.0 mm.
- Sebelum dilanjutkan pengelasan *layer* 2, dilakukan penggerindaan setengah dari deposit *layer* 1 (*half bead*).
- Kemudian dilakukan pengelasan *layer* 2 dengan diameter elektroda 4 mm pada manik-manik nomor urut 2-18.
- Pada pengelasan *layer* 3 dilakukan dengan diameter elektroda 4.0 mm dengan menjaga konsisten *layer* pada setiap *layernya* (rasio *heat input* yang sudah ditentukan).
- Pada *capping* dilakukan pengelasan dengan elektroda 4.0 mm.

Hasil *welding sequence* bisa dilihat pada Gambar III.12 dan parameter pengelasannya bisa dilihat pada Tabel III.2.



Metode : Temper Bead Welding
 Material : ASTM A36 Dimensi 300 x 150 x 40
 Proses : SMAW
 Elektroda : Electrode Kobe Steel E7018 LB-52-18
 diameter 4 mm & 3.2 mm



Gambar III.12 Welding Sequence dan Hasil Pengelasan Temper Bead Rasio Heat input 1.2

Tabel III-2 Parameter Pengelasan Temper Bead Rasio Heat input 1.2

NO	Layer	Diameter (mm)	Ampere(I)	Volt (V)	Waktu(min)	Travel Speed	Heat Input	Rata-Rata Heat Input (kJ/mm)
						(mm/min)	(kJ/mm)	
1	Root	3.20	70.00	18.00	5.11	56.72	1.33	1.19
2	Layer 1	4.00	121.00	23.31	1.80	161.03	1.05	
3		4.00	121.00	23.00	2.10	138.02	1.21	
4		4.00	121.00	23.00	1.90	152.55	1.09	
5		4.00	121.00	23.00	2.09	138.69	1.20	
6		4.00	121.00	23.00	2.06	140.70	1.19	
7		4.00	121.00	23.00	2.11	137.37	1.22	
8		4.00	121.00	23.00	2.02	143.49	1.16	
9		4.00	121.00	23.00	2.06	140.70	1.19	
10		4.00	121.00	23.00	2.10	138.02	1.21	
11	Layer 2	4.00	154.00	25.00	1.51	191.95	1.20	1.29
12		4.00	154.00	25.00	1.54	188.22	1.23	
13		4.00	154.00	25.00	1.50	193.23	1.20	
14		4.00	154.00	25.00	1.58	183.45	1.26	
15		4.00	154.00	25.00	1.54	188.22	1.23	
16		4.00	154.00	25.00	2.03	142.78	1.62	
17	Layer 3	4.00	165.00	26.00	1.48	195.85	1.31	1.65
18		4.00	165.00	26.00	1.46	198.53	1.30	
19		4.00	165.00	26.00	2.27	127.69	2.02	
20		4.00	165.00	26.00	2.20	131.75	1.95	
21	Capping	4.00	166.00	26.00	2.07	140.03	1.85	2.34
22		4.00	155.00	26.00	3.20	90.58	2.67	
23		4.00	141.00	26.00	3.31	87.57	2.51	

Preheating 178.5°C diukur dengan menggunakan *Thermogun* dan dapat dilihat pada gambar III.13.



Gambar III.13 *Preheat* di atas 150 °C

Sebelum melakukan pengelasan *temperbead* dilakukan demo masukan panas sesuai parameter pengelasan yang dapat dilihat pada gambar III.14 dan untuk pengukuran parameter pengelasannya dapat dilihat pada gambar III.15.



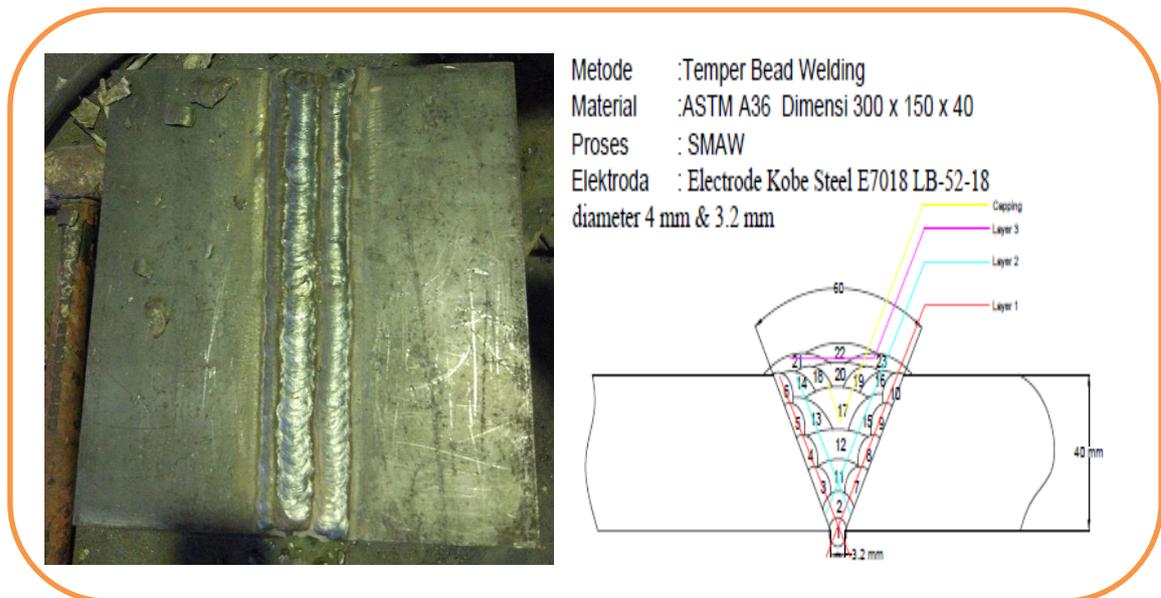
Gambar III.14 *Demo Heat input Temper Bead Welding*



Gambar III.15 Pengukuran Amper dan Voltase Pengelasan

III.3.3. Pengelasan *Temper Bead* Rasio *Heat input* 1.3

Pada *Temper Bead* Rasio *Heat input* 1.3 dilakukan dengan proses SMAW. Dengan menggunakan elektroda E7016 sebagai *root* dan E7018 diameter 4 mm sebagai *filler*. Dan juga dengan *preheat* di atas suhu 150°C. Hasil *welding sequence* bisa dilihat pada Gambar III.16 dan parameter pengelasannya bisa dilihat pada Tabel III.3.



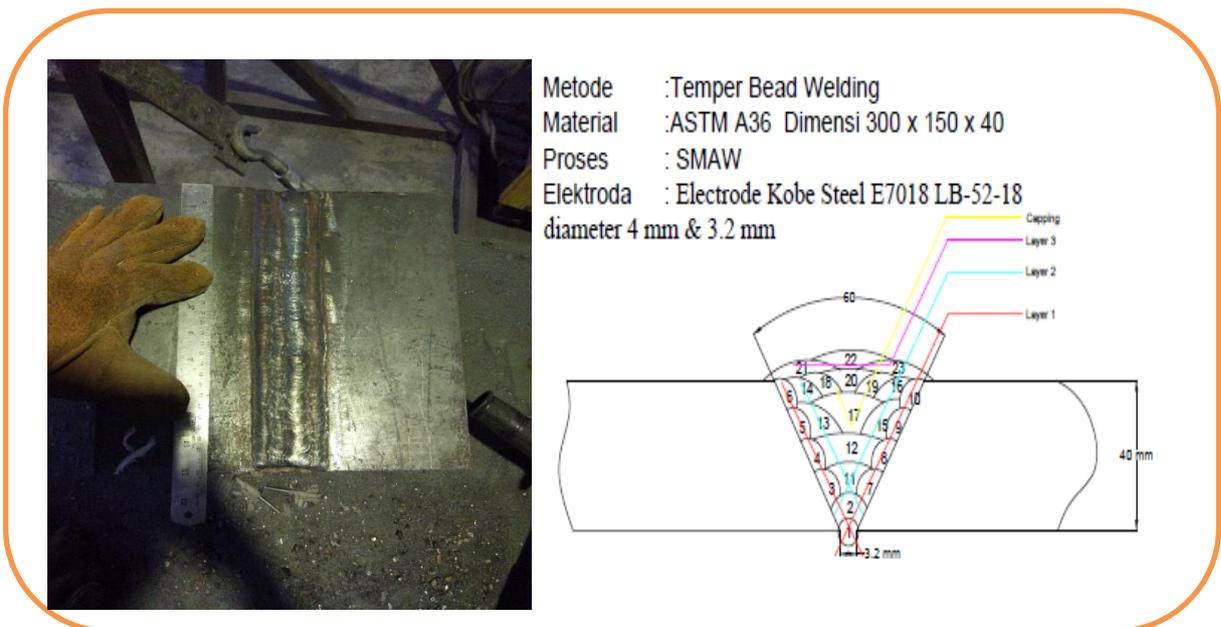
Gambar III.16 *Welding Sequence* dan Hasil Pengelasan *Temper Bead* Rasio *Heat input* 1.3

Tabel III-3 Parameter Pengelasan *Temper Bead* Rasio *Heat input* 1.3

NO	Layer	Diameter (mm)	Ampere(I)	Volt (V)	Waktu(min)	Travel Speed	Heat Input	Rata-Rata <i>Heat Input</i>
						(mm/min)	(kJ/mm)	
1	Root	3.20	71.00	18.00	5.26	55.10	1.39	1.26
2	Layer 1	4.00	121.00	23.00	2.03	142.78	1.17	
3		4.00	121.00	23.00	2.01	144.20	1.16	
4		4.00	121.00	23.00	2.03	142.78	1.17	
5		4.00	121.00	23.00	2.05	141.39	1.18	
6		4.00	121.00	23.00	2.30	126.02	1.33	
7		4.00	121.00	23.00	2.29	126.57	1.32	
8		4.00	121.00	23.00	2.21	131.15	1.27	
9		4.00	121.00	23.00	2.25	128.82	1.30	
10		4.00	121.00	23.00	2.23	129.98	1.28	
11	Layer 2	4.00	133.00	24.00	3.20	90.58	2.11	1.71
12		4.00	133.00	25.50	2.10	138.02	1.47	
13		4.00	133.00	25.50	2.02	143.49	1.42	
14		4.00	133.00	25.50	2.01	144.20	1.41	
15		4.00	133.00	25.50	2.03	142.78	1.43	
16		4.00	133.00	25.50	3.40	85.25	2.39	
17	Layer 3	4.00	147.00	26.00	1.48	195.85	1.17	1.31
18		4.00	165.00	26.00	1.46	198.53	1.30	
19		4.00	165.00	26.00	1.51	191.95	1.34	
20		4.00	165.00	26.00	1.60	181.16	1.42	
21	Capping	4.00	168.00	26.00	2.80	103.52	2.53	2.47
22		4.00	159.00	26.00	3.10	93.50	2.65	
23		4.00	158.00	26.00	2.60	111.48	2.21	

III.3.4. Pengelasan *Temper Bead* Rasio *Heat input* 1.4

Pada *Temper Bead Heat input* 1.4 dilakukan dengan proses SMAW. Dengan menggunakan elektroda E7016 sebagai *root* dan E7018 diameter 4 mm sebagai *filler*. Dan juga dengan *preheat* di atas suhu 150°C. Hasil *welding sequence* bisa dilihat pada Gambar III.17 dan parameter pengelasannya bisa dilihat pada Tabel III.4.



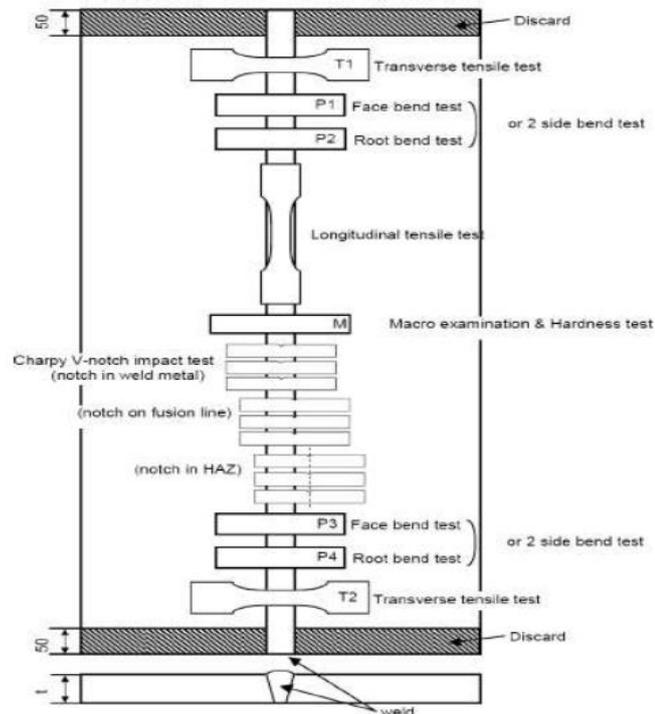
Gambar III.17 *Welding Sequence* dan Hasil Pengelasan TBW Rasio *Heat input* 1.4

Tabel III-4 Parameter Pengelasan *Temper Bead* Rasio Heat input 1.4

NO	Layer	Diameter (mm)	Ampere(I)	Volt (V)	Waktu(min)	Travel Speed	Heat Input	Rata-Rata Heat Input
						(mm/min)	(kJ/mm)	
1	Root	3.20	71.00	18.00	5.26	55.10	1.39	1.33
2	Layer 1	4.00	141.00	24.00	2.01	144.20	1.41	
3		4.00	132.00	23.00	2.01	144.20	1.26	
4		4.00	133.00	23.00	2.03	142.78	1.29	
5		4.00	121.00	23.00	2.04	142.08	1.18	
6		4.00	133.00	23.00	1.99	145.65	1.26	
7		4.00	121.00	23.00	1.90	152.55	1.09	
8		4.00	141.00	25.00	2.00	144.93	1.46	
9		4.00	141.00	25.00	2.02	143.49	1.47	
10		4.00	141.00	25.00	2.01	144.20	1.47	
11	Layer 2	4.00	150.00	24.00	3.03	95.66	2.26	1.87
12		4.00	150.00	27.00	2.50	115.94	2.10	
13		4.00	150.00	27.00	2.30	126.02	1.93	
14		4.00	150.00	27.00	2.10	138.02	1.76	
15		4.00	150.00	27.00	1.90	152.55	1.59	
16		4.00	150.00	27.00	1.90	152.55	1.59	
17	Layer 3	4.00	153.00	27.00	3.40	85.25	2.91	2.61
18		4.00	153.00	27.00	3.20	90.58	2.74	
19		4.00	153.00	27.00	3.10	93.50	2.65	
20		4.00	153.00	27.00	2.50	115.94	2.14	
21	Capping	4.00	158.00	26.00	2.31	125.48	1.96	2.15
22		4.00	159.00	26.00	3.17	91.44	2.71	
23		4.00	158.00	26.00	2.10	138.02	1.79	

III.4. Lokasi Spesimen Uji

Setelah proses pengelasan selesai, material dipotong untuk dibuat spesimen uji. Pengambilan *test piece* untuk pengujian didasarkan pada rules BKI volume VI tahun 2015.



Gambar III.18 Contoh Pengambilan Spesimen pada *Test Coupon*

Sumber : BKI Volume VI Sec.12, 2015

Detail pengambilan *test piece* dapat dilihat pada Gambar III.18. Pengujian yang dilakukan pada eksperimen ini meliputi pengujian *impact*, pengujian struktur mikro, dan pengujian kekerasan. Proses pemotongan material untuk pengambilan *test piece* dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Departemen Teknik Perkapalan ITS.

III.4.1. Pemotongan Material

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses pemotongan material. 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

Proses pemotongan *test coupon* menggunakan mesin gergaji yang ada di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal dan dapat dilihat pada gambar III.19.



Gambar III.19 Proses Pemotongan *Test Coupon*

III.5. Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan bahan uji dilakukan di Departemen Teknik Perkapalan. Pada awal pembuatan dilakukan pengukuran dimensi setiap pengujian, kemudian dilakukan pemotongan. Pemotongan dilakukan di Laboratorium Kontruksi dan Kekuatan Kapal Departemen. Berikut jumlah dan daftar bahan uji yang dipakai dalam penelitian ini:

1. *Hardness test* berjumlah 4 buah (1 buah/pelat), 9 titik/buah, bagian HAZ, *weld metal*, *base metal*).

2. *Impact test* berjumlah 24 buah (6 buah/pelat, 3 buah *notch* di HAZ dan 3 buah *notch* di *weld metal*).
3. *Metalografi test* berjumlah 4 buah (1 buah/pelat, bagian HAZ, *weld metal*, *basemetal*).

III.6. Aplikasi PWHT pada Material

Setelah spesimen uji dibuat, langkah selanjutnya aplikasi pemanasan setelah dilakukan pengelasan yaitu *Postweld Heat Treatment* (PWHT) pada material. Aplikasi PWHT dilakukan dengan pemanasan di dalam oven pemanas yang memiliki kapasitas maksimum 1100 °C, material uji yang dipanasi sampai suhu 595 °C menurut ASME SEC VIII 2013 Table UCS-56 dapat dilihat pada Tabel III.2. Ketika mencapai suhu tersebut dilakukan penahan (*holding time*) selama 40 menit. Selanjutnya material didinginkan dengan suhu ruangan antara 27 °C-30 °C.

Tabel III.3 Suhu *Post Weld Heat Treatment*

Table UCS-56-1				
Postweld Heat Treatment Requirements for Carbon and Low Alloy Steels — P-No. 1				
Material	Normal Holding Temperature, °F (°C), Minimum	Minimum Holding Time at Normal Temperature for Nominal Thickness [See UW 40(f)]		
		Up to 2 in. (50 mm)	Over 2 in. to 5 in. (50 mm to 125 mm)	Over 5 in. (125 mm)
P No. 1 Gr. Nos. 1, 2, 3	1,100 (595)	1 hr/in. (25 mm), 15 min minimum	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)
Gr. No. 4	NA	None	None	None

Sumber: ASME SEC. VIII 2017 DIV. Table UCS-56.1

Proses pemanasan material menggunakan oven ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS. Oven material yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar III.20. Setelah dilakukan *holding time* maka material didinginkan dengan suhu ruangan 27°C-30°C dengan cara material yang berada di dalam oven yang terbuka. Setelah proses pemanasan selesai maka material digosok untuk menghilangkan kerak akibat proses pemanasan dengan menggunakan kertas gosok. Adapun pelaksanaan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan material atau spesimen yang akan dipanaskan

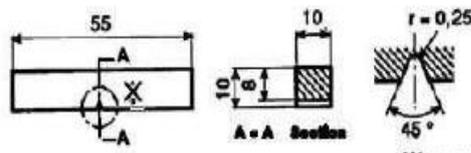
2. Masukkan bahan uji ke dalam oven
3. Menyetel oven sampai suhu yang telah ditentukan
4. Mencatat waktu per kenaikan 100°C
5. Melakukan penahan (*holding time*)
6. Mematikan dan membuka oven
7. Membiarkan bahan uji dingin pada suhu ruangan



Gambar III.20 Oven PWHT

III.7. Pengujian *Impact*

Penelitian ini menggunakan metode *charpy* dengan spesimen uji berukuran dan berbentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar III.21. Pengujian *impact* yang dilakukan pada penelitian ini didasarkan pada BKI Vol VI Rules for Welding, dan dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal, Departemen Teknik Perkapalan dengan pengukuran pada suhu ruang 28°C . Spesimen uji *impact* berjumlah enam dari tiap-tiap material, dengan notch dibuat pada daerah *weld metal* dan HAZ.



Gambar III.21 Dimensi dan Bentuk Pengujian *Impact*

Sumber: BKI Vol VI Sec.11 Rules for Welding

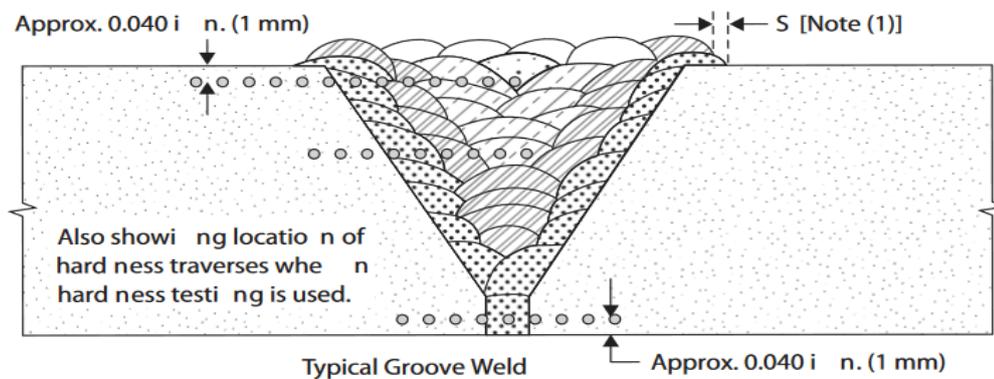
Berikut merupakan contoh spesimen pengujian *impact* yang dapat dilihat pada gambar III.22.



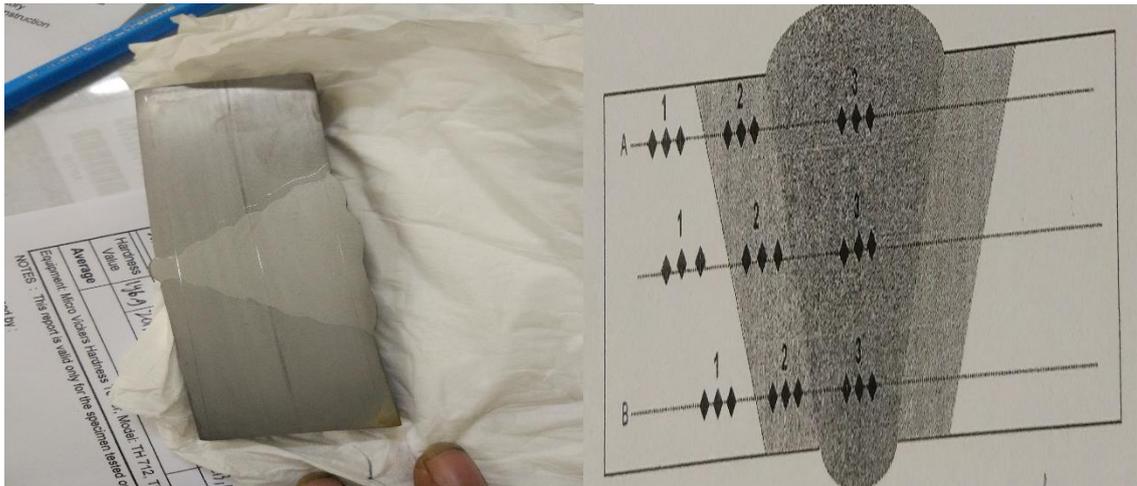
Gambar III.22 Contoh Spesimen Pengujian *Impact*

III.8. Pengujian Metalografi dan *Hardness*

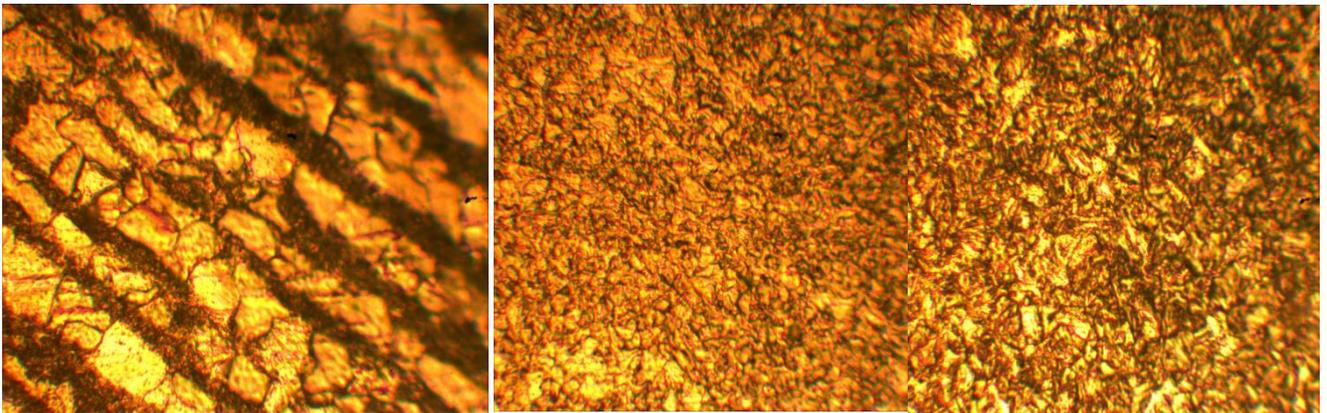
Pengujian Metalografi dan *Hardness* material diuji pada potongan melintang yang melingkupi daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal* di setiap material. Kedua pengujian ini dilakukan bergantian dan didasarkan pada peraturan ASME Section IX, 2013 QW-290.5. Pengujian *hardness* untuk penelitian ini menggunakan *Vickers* dengan jumlah 27 titik diambil pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Penentuan titik pada pengujian *Hardness* menggunakan pengukuran *Vickers* yang dapat dilihat pada gambar III.23 dan untuk foto *microstructure* diambil pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Spesimen pengujian kekerasan dan metallografi dapat dilihat contohnya pada gambar III.24 dan untuk pengujian mikronya dapat dilihat pada gambar III.25.



Gambar III.23 Pengambilan Titik pada Pengujian *Hardness*
Sumber: ASME Section IX, 2015 QW-290.5



Gambar III.24 Contoh Spesimen Pengujian *Hardness* dan Metallografi

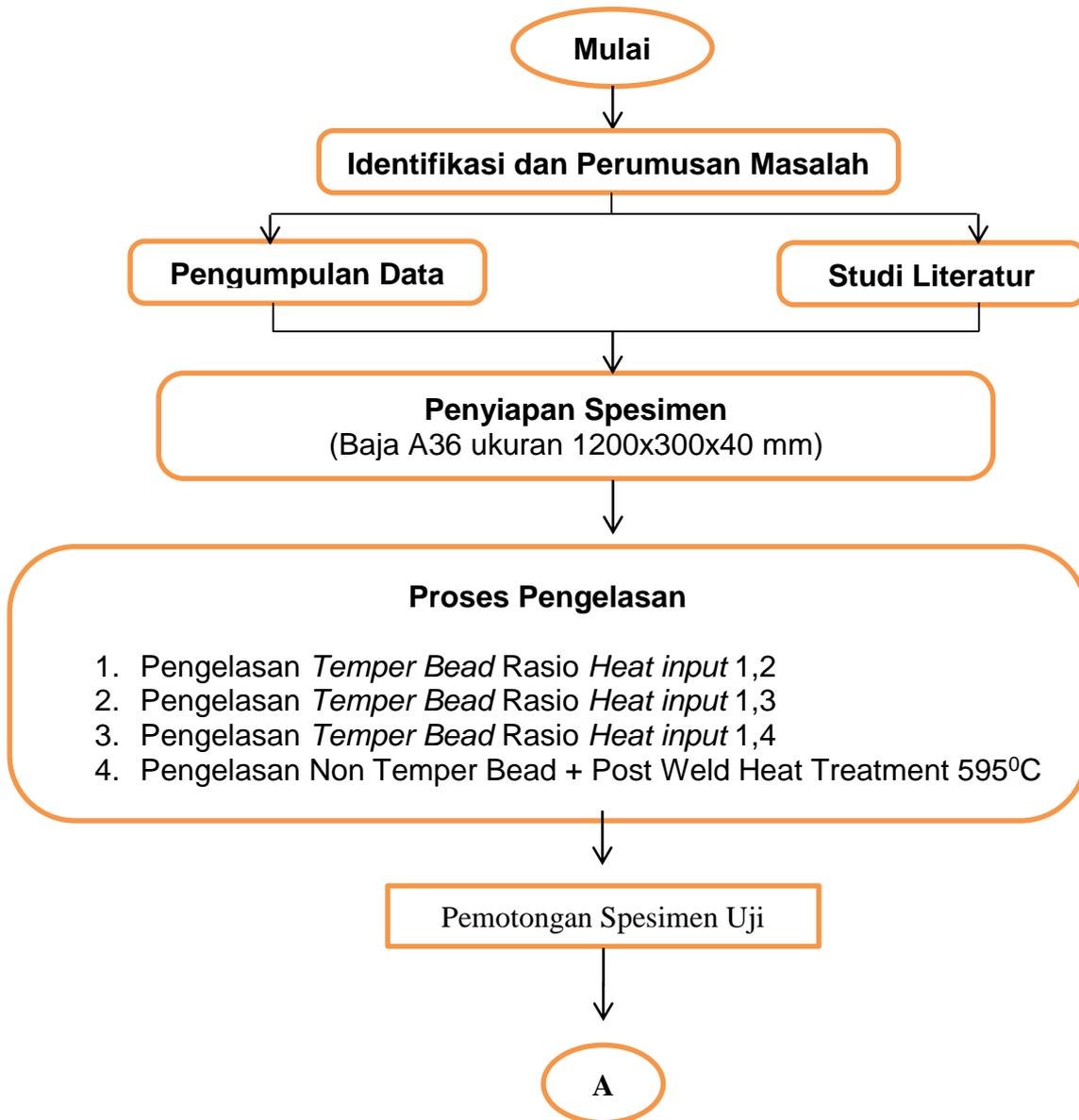


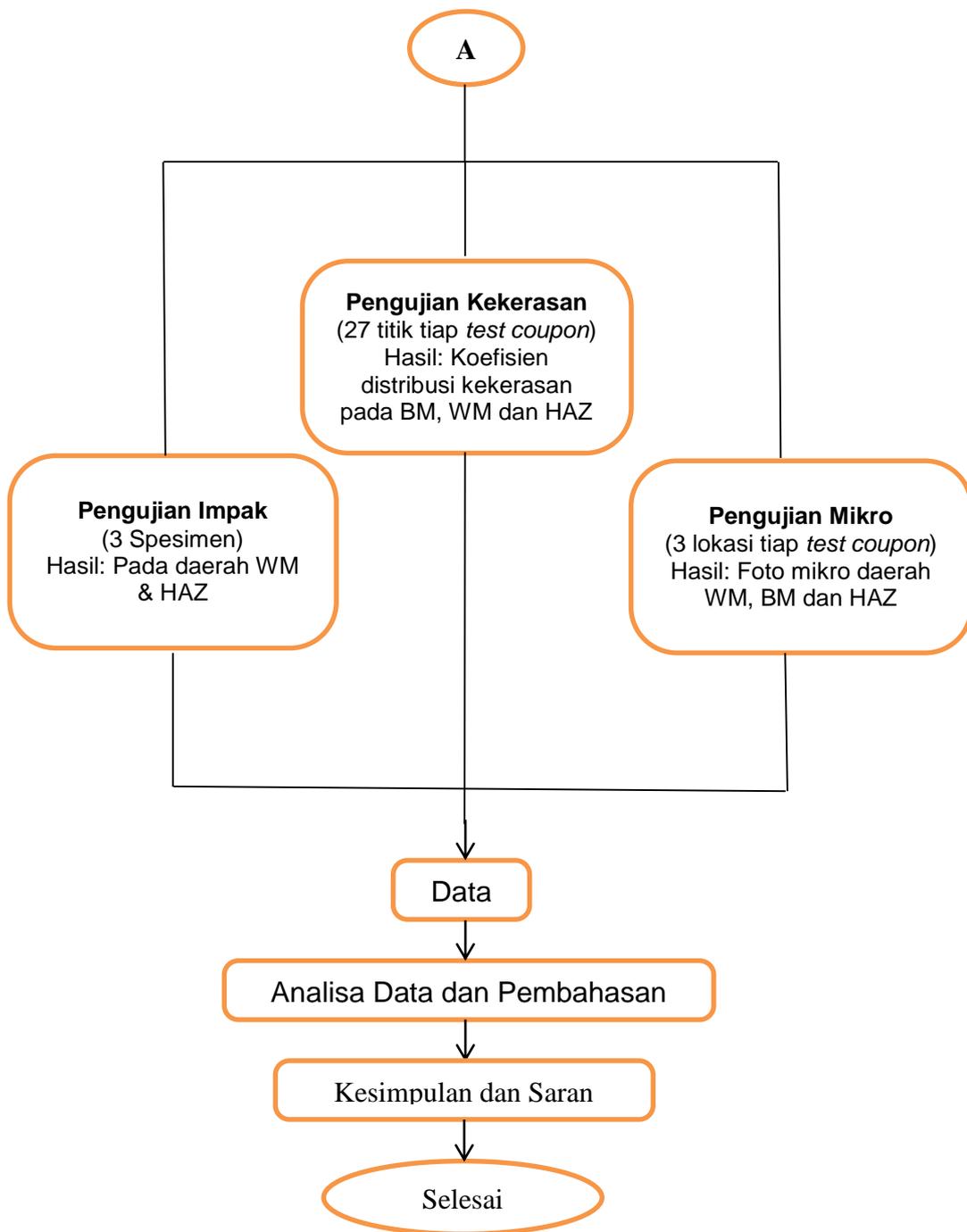
Gambar III.25 Contoh Hasil Foto Mikro Pembesaran 400x

III.9. Lokasi Pengelasan dan Pengujian

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

III.10. Diagram Alir





Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV

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 40 mm sejumlah 8 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*).

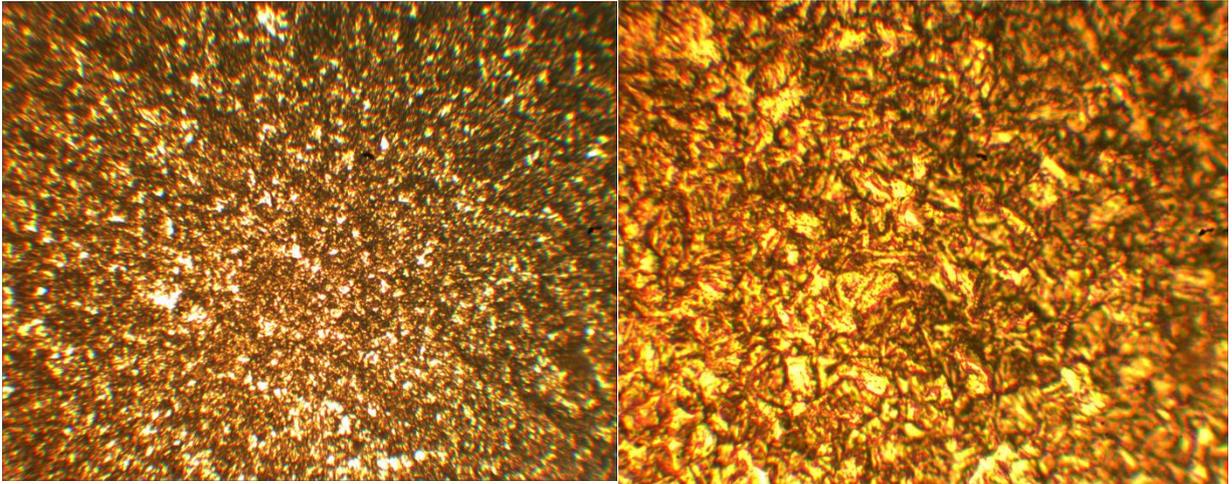
Pada proses pengelasan, akan ada beberapa perubahan dari parameter pengelasan. Parameter pengelasan akan ditulis secara detail di bawah ini.

Pada penelitian ini dilakukan 3 (tiga) kali pengujian yang meliputi, pengujian kekerasan, pengujian *impact* dan pengujian metalografi. Berikut hasil dan penjelasan masing-masing pengujian yang telah dilakukan.

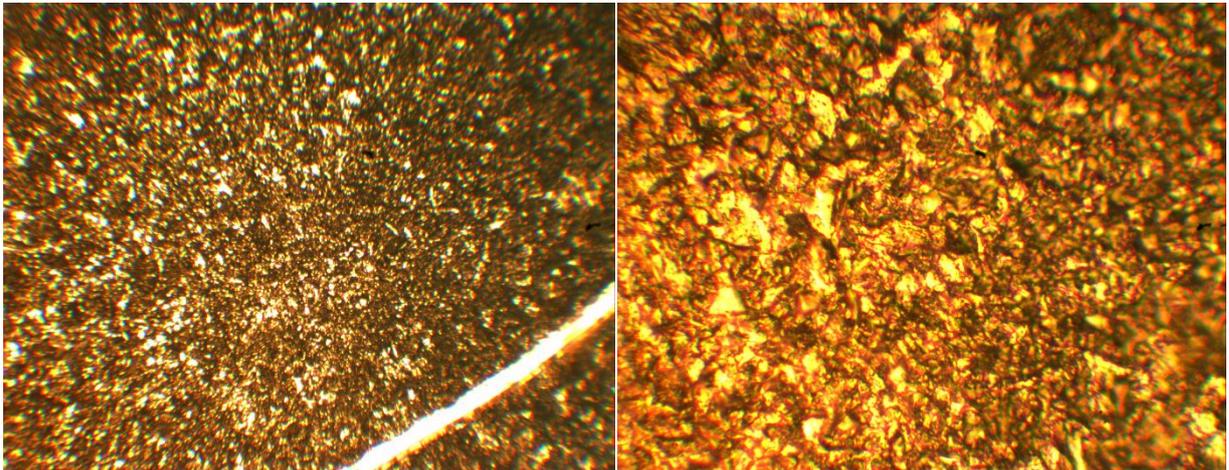
IV.1. Analisis Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi ini dikhususkan untuk melihat struktur mikro hasil pengelasan pada material. Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui kondisi aktual dari batas butir (*grain boundary*) yang terdapat pada suatu material. Hal tersebut berkaitan dengan sifat mekanis pada baja karbon. Komposisi antara *ferrite* dan *pearlite* menjadi fokus analisa pada pengujian ini. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan *optical microscope*.

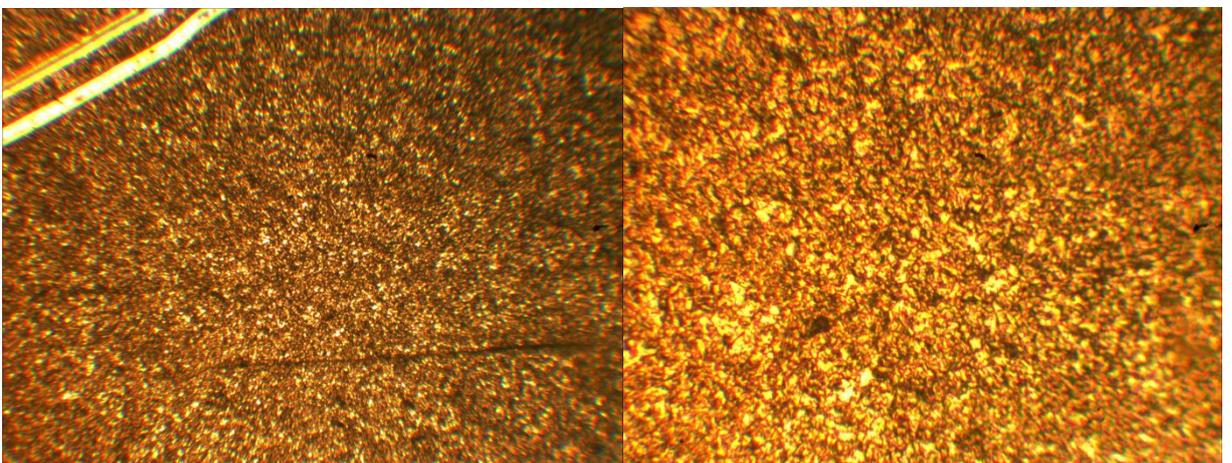
Data hasil pengujian struktur mikro dapat ditunjukkan pada Gambar IV.1, IV.2, IV.3, IV.4 yang merupakan foto mikro pada daerah HAZ dengan pembesaran 100x dan 400x. Gambar IV.5, IV.6, IV.7, IV.8 merupakan foto mikro pada daerah *weld metal* dengan pembesaran 100x dan 400x.



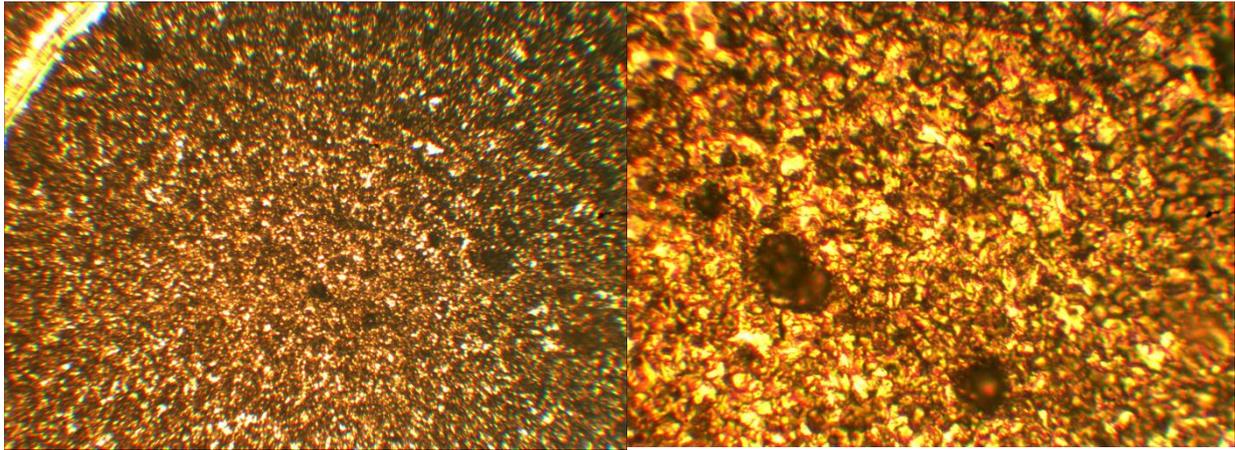
Gambar IV.1 Foto Mikro Pengelasan *nonTemperBead* + PWHT Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x



Gambar IV.2 Foto Mikro Pengelasan *TemperBead* Heat input 1.2 Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x



Gambar IV.3 Foto Mikro Pengelasan *TemperBead* Heat input 1.3 Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x

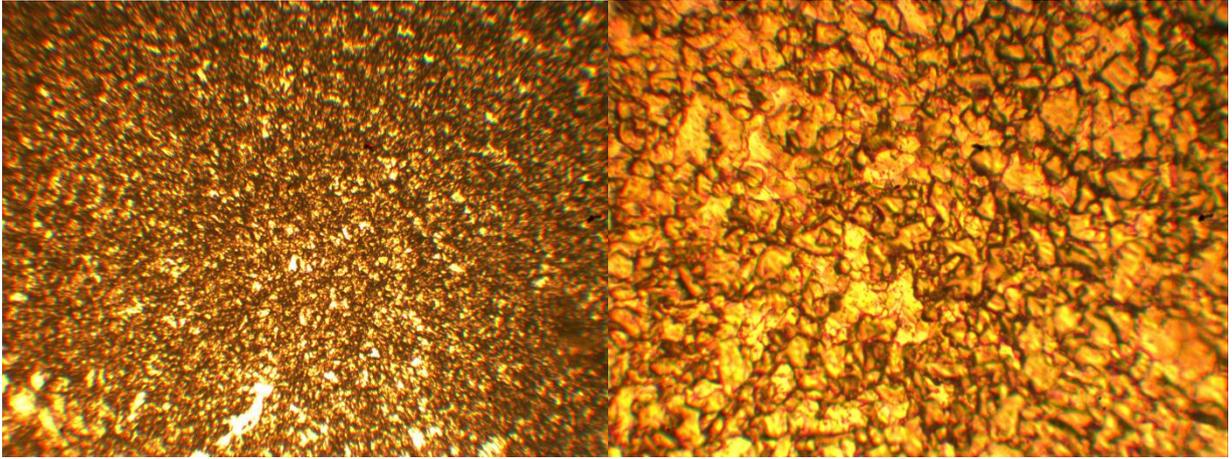


Gambar IV.4 Foto Mikro Pengelasan *TemperBead Heat input 1.4* Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x

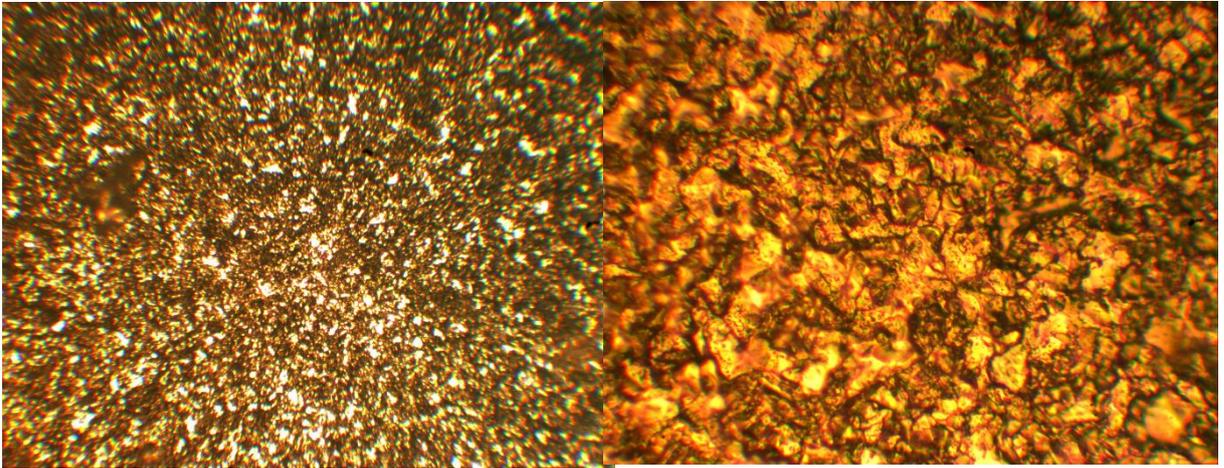
Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), dapat diperhatikan bahwa butiran yang terbentuk terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*, dimana *ferrite* butirannya berwarna terang sedangkan *pearlite* butirannya berwarna gelap. Jika diperhatikan Gambar IV.1, IV.2, IV.4 pada daerah HAZ baik pada pengelasan *nontemper bead* +PWHT, *temper bead* rasio *heat input* 1.2, dan *temper bead* rasio *heat input* 1.4 terdapat sebuah perubahan yang tidak terlalu signifikan. Untuk komposisi *ferrite* dan *pearlite* ukuran butirnya semakin besar. Tapi berbeda dengan Gambar IV.3 hasil pengelasan cenderung lebih gelap karena mengandung lebih banyak *pearlite* dan memiliki ukuran butir yang lebih kecil.

Rasio *heat input* yang berbeda menghasilkan struktur mikro yang berbeda di daerah HAZ dan *weld metal*. Semakin tinggi rasio *heat input* akan menghasilkan struktur perlit yang semakin besar, begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan karena *heat input* yang besar akan menghasilkan laju pendinginan yang lambat, sehingga hal ini memberikan kesempatan yang cukup untuk memungkinkan terjadinya pertumbuhan butir. Menurut Funderburk, 1999 di dalam siklus termal pengelasan, apabila *heat input* besar maka laju pendinginan akan semakin lambat. Hal inilah yang memberikan kesempatan untuk terjadinya pertumbuhan butir kristal. Pertumbuhan butir terjadi apabila tersedia energi yang cukup, energi ini dapat berupa panas yang dihasilkan dari *heat input* pengelasan. Semakin tinggi *heat input* maka temperatur puncak yang tercapai pada daerah HAZ dan *weld metal* juga meningkat.

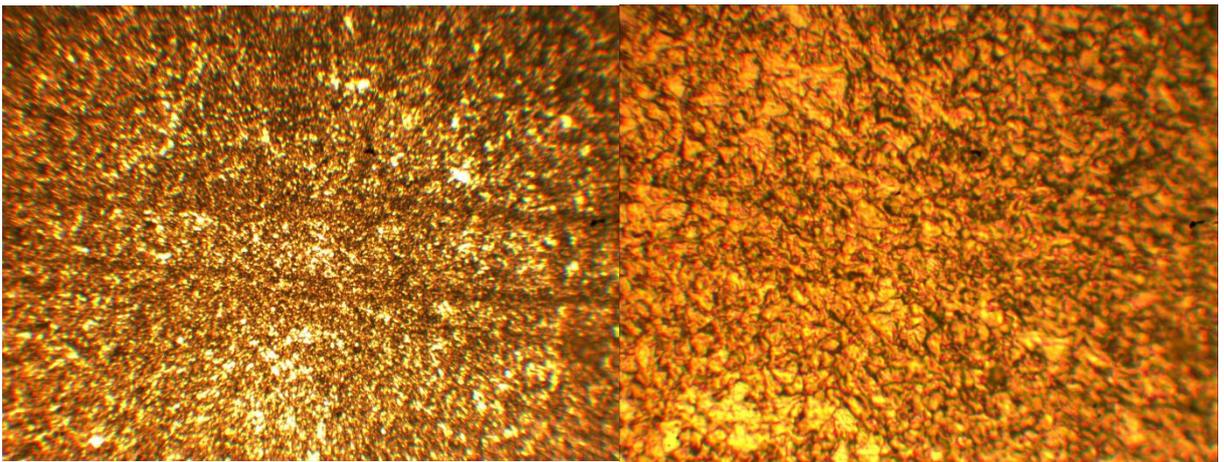
Dari perbandingan keseluruhan, pengaruh semakin meningkatnya rasio *heat input* maka ukuran butir semakin besar. Dengan demikian, kenaikan *heat input* memberikan sedikit pengaruh pada pengelasan *temper bead* ditinjau pada daerah HAZ material baja ASTM A36.



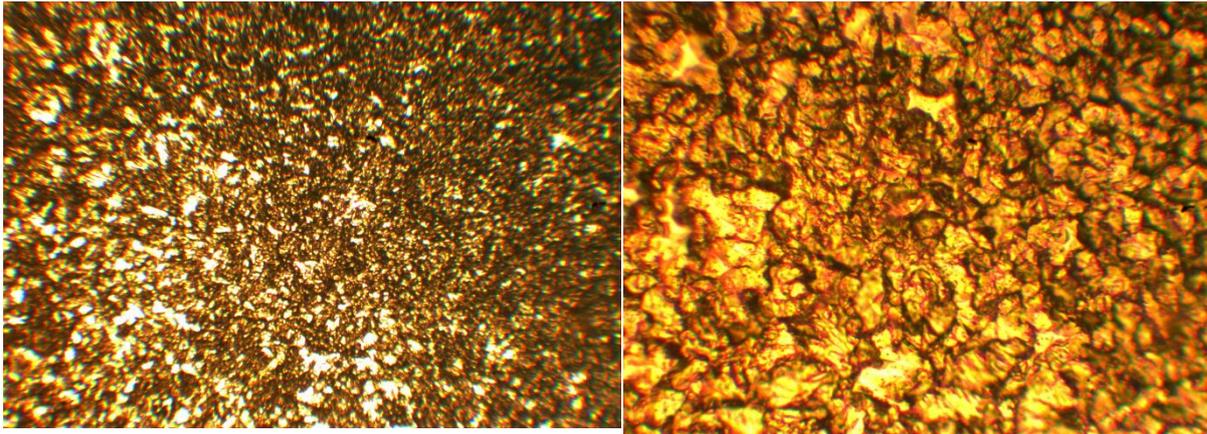
Gambar IV.5 Foto Mikro Pengelasan *NonTemper Bead* + PWHT Daerah *Weld Metal* Pembesaran 100x dan 400x



Gambar IV.6 Foto Mikro Pengelasan *TemperBead Heat Input 1.2* Daerah *Weld Metal* Pembesaran 100x dan 400x



Gambar IV.7 Foto Mikro Pengelasan *TemperBead Heat Input 1.3* Daerah *Weld Metal* Pembesaran 100x dan 400x



Gambar IV.8 Foto Mikro Pengelasan *TemperBead Heat Input 1.4* Daerah *Weld Metal* Pembesaran 100x dan 400x

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro pada daerah *weld metal*, dapat diperhatikan bahwa butiran yang terbentuk terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*, dimana *ferrite* butirannya berwarna terang sedangkan *pearlite* butirannya berwarna gelap. Pernyataan tersebut juga berlaku pada daerah *weld metal*. Jika diperhatikan pada Gambar IV.5, IV.6, IV.7, IV.8 bahwa pada daerah *weld metal* baik pada pengelasan *nontemper bead* + PWHT, pengelasan *temper bead rasio heat input 1.2*, dan pengelasan *temper bead rasio heat input 1.4*, terdapat sebuah perubahan yang tidak terlalu signifikan untuk komposisi *ferrite* dan *pearlite* ukuran butirnya semakin besar yang berarti kekerasan material itu semakin tinggi. Sama halnya dengan daerah HAZ. Rasio *heat input* yang berbeda menghasilkan struktur mikro yang berbeda di daerah HAZ dan *weld metal*. Semakin tinggi rasio *heat input* akan menghasilkan struktur perlit yang semakin besar, begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan karena *heat input* yang besar akan menghasilkan laju pendinginan yang lambat, sehingga hal ini memberikan kesempatan yang cukup untuk memungkinkan terjadinya pertumbuhan butir. Apabila *heat input* besar maka laju pendinginan akan semakin lambat. Hal inilah yang memberikan kesempatan untuk terjadinya pertumbuhan butir kristal. Pertumbuhan butir terjadi apabila tersedia energi yang cukup, energi ini dapat berupa panas yang dihasilkan dari *heat input* pengelasan. Semakin tinggi *heat input* maka temperatur puncak yang tercapai pada daerah HAZ dan *weld metal* juga meningkat.

IV.2. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan metode bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap *indentor* 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 pengelasan, dimana terdapat tiga lokasi pengujian yaitu: *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan didapatkan data yang ditunjukkan pada Tabel IV.1 dan Gambar IV.9.



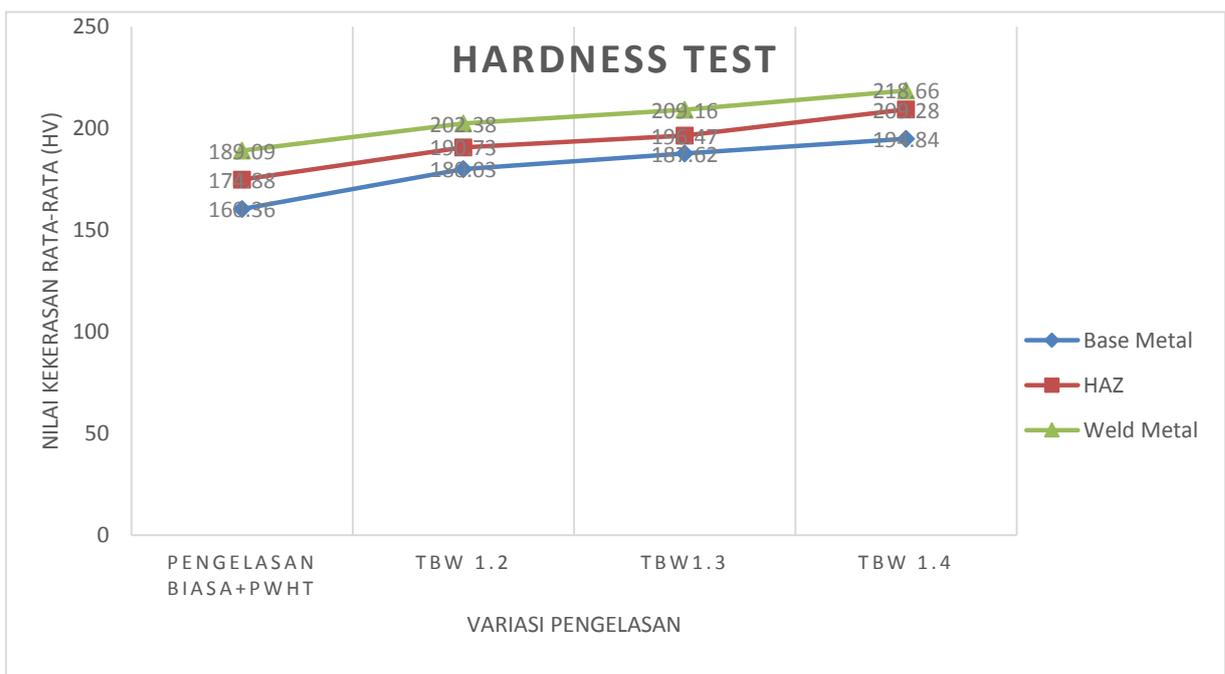
Gambar IV.9 Contoh Hasil Pengujian *Vickers Hardness* pada *Temper Bead Rasio Heat input 1.3*

Tabel IV-1 Data Pengujian Kekerasan

NO	Pengelasan	Lokasi Titik Identifikasi		Angka Kekerasan	Angka Kekerasan Rata-Rata
				(HV)	(HV)
1	Biasa+PWHT	Base Metal	Top	163.23	160.36
			Center	163.90	
			Bottom	153.96	
		HAZ	Top	188.20	174.88
			Center	178.20	
			Bottom	158.23	
		Weld Metal	Top	215.60	189.09
			Center	182.90	
			Bottom	168.76	
2	TBW HI 1.2	Base Metal	Top	172.70	180.03
			Center	179.53	
			Bottom	187.87	
		HAZ	Top	184.87	190.73
			Center	187.90	
			Bottom	199.43	
		Weld Metal	Top	204.53	202.38
			Center	199.50	
			Bottom	203.10	
3	TBW HI 1.3	Base Metal	Top	181.00	187.62
			Center	195.63	
			Bottom	186.23	
		HAZ	Top	202.60	196.47
			Center	199.03	
			Bottom	187.77	
		Weld Metal	Top	211.63	209.16
			Center	205.83	
			Bottom	210.73	
4	TBW HI 1.4	Base Metal	Top	186.50	194.84
			Center	200.33	
			Bottom	197.70	
		HAZ	Top	217.90	208.28
			Center	203.20	
			Bottom	203.73	
		Weld Metal	Top	232.63	218.86
			Center	216.97	
			Bottom	206.37	

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pelat baja A36 yang disajikan pada Tabel IV.1 diatas, dapat dianalisa bahwa nilai kekerasan terbesar dimiliki pada rasio *heat input* 1.4 dibandingkan dengan rasio *heat input* 1.3 dan 1.2 . Hal ini terjadi pada semua lokasi indentasi, baik di HAZ maupun di *weld metal* dan *base metal*. Hasil pengelasan dengan rasio *heat input* 1.2 dapat menghasilkan nilai kekerasan yang mendekati hasil *nontemper bead* yang diikuti proses PWHT. Rasio *heat input* yang rendah menghasilkan nilai kekerasan yang rendah, hal ini disebabkan karena struktur mikro yang dihasilkan rasio *heat input* yang rendah cenderung menghasilkan fasa *ferite* yang lebih banyak dibanding *perlit*. *Ferit* lebih lunak karena kandungan karbon yang dapat dilarutkan oleh *ferit* lebih sedikit dari pada *perlit*.

Nilai kekerasan tertinggi pada *temper bead* rasio *heat input* 1.4 pada daerah *base metal* sebesar 194.84 HV, HAZ sebesar 208.28 HV dan *weld metal* sebesar 218.86 HV. Sedangkan Nilai kekerasan terendah yaitu pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.2 pada daerah *base metal* sebesar 180.03 HV, HAZ sebesar 190.73 HV dan *weld metal* sebesar 202.38 HV. Terjadi kenaikan nilai kekerasan pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa rasio masukan panas yang diberikan terhadap material bertambah dimana semakin tinggi rasio masukan panas *temper bead* maka nilai kekerasan material akan ikut bertambah..



Gambar IV.10 Grafik Pengujian Kekerasan

Dilihat dari Gambar IV.10 Grafik Pengujian Kekerasan bahwa secara keseluruhan nilai kekerasan material meningkat seiring dilakukannya peningkatan rasio *heat input*. Hal tersebut disebabkan nilai kekerasan yang rendah, hal ini disebabkan karena struktur mikro yang dihasilkan rasio *heat input* yang rendah cenderung menghasilkan fasa ferit yang lebih banyak disbanding *perlit*. Bahwa semakin tinggi rasio *heat input* maka nilai kekerasan material semakin tinggi. Hal tersebut berlaku pada keseluruhan material baik pada *base metal*, HAZ maupun pada *weld metal*.

Pada Gambar IV.10 terlihat bahwa nilai kekerasan yang mendekati pengelasan yang diikuti proses PWHT adalah pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.2. Hal tersebut dikarenakan material diberikan *heat treatment* berupa pemanasan awal (*preheat*) yang dapat mengurangi tegangan sisa pada logam las dan pada daerah HAZ sehingga penurunan nilai kekerasan tidak terlalu signifikan. Terdapat hubungan antara hasil pengujian struktur mikro dengan hasil pengujian kekerasan bahwa perbedaan besaran butir tersebut akan menghasilkan angka kekerasan yang berbeda, semakin besar ukuran butir pada material maka akan semakin kecil angka kekerasan yang dimiliki oleh material tersebut. Pernyataan tersebut mendukung hasil dari pengujian kekerasan yang dijelaskan pada Sub Bab IV.2 dimana pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.4 memiliki angka kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan *nontemper bead* + PWHT. Dengan demikian penelitian ini membuktikan bahwa *temper bead* rasio *heat input* 1.2 mendekati hasil dari pengelasan *nontemper bead* yang diikuti proses PWHT.

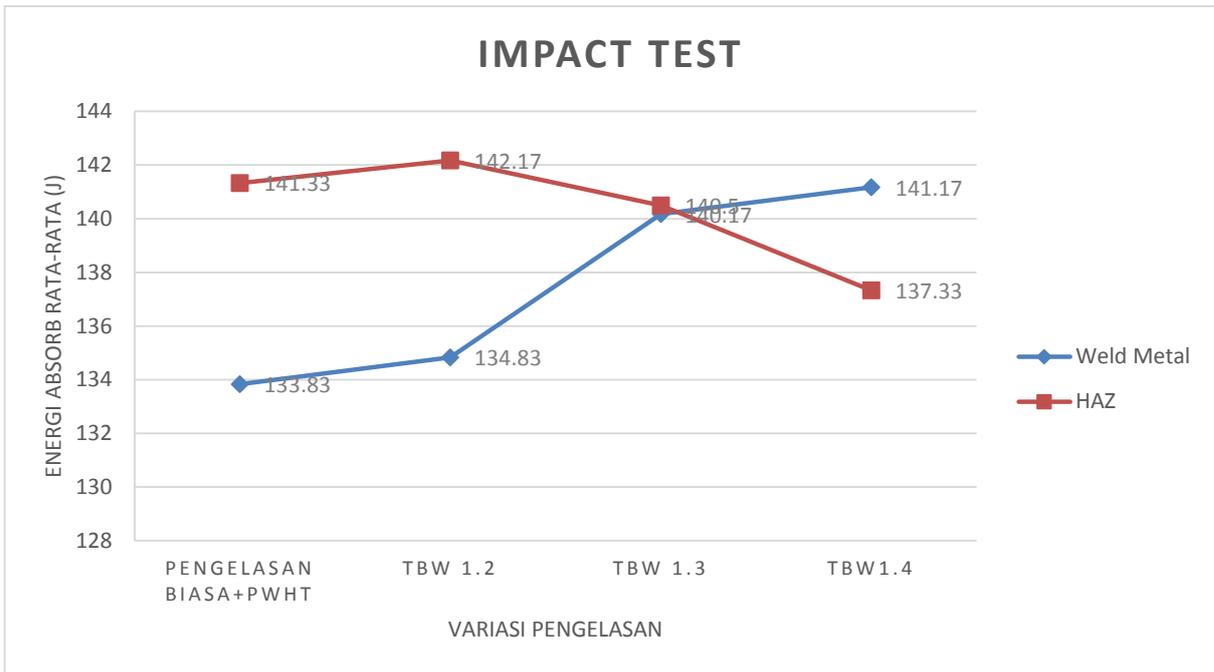
IV.3. Analisis Hasil Pengujian *Impact*

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 pada suhu ruangan 28°C dengan bahan uji berjumlah 6 buah setiap pengelasan dengan total 24 spesimen uji, dimana bahan uji dilakukan pengujian pada daerah *weld metal* dan HAZ. Dari 24 buah spesimen uji akan diperoleh 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 IV.2 dan Gambar IV.11 yang disajikan dalam diagram kurva. Selanjutnya dilakukan analisa pada hasil pengujian *impact*.

Tabel IV-2 Data Pengujian Impact

Pengelasan	Kode	Panjang	Lebar	Tebal	Energi Absorb	Energi Absorb Rata-Rata (J)
		(mm)	(mm)	(mm)	(J)	
Biasa+PWHT	1 W 1	54.47	10.40	8.06	136.00	133.83
	1 W 2	54.20	10.38	8.03	137.50	
	1 W 3	54.56	10.43	8.05	128.00	
	1 H 1	54.51	10.27	8.04	142.00	141.33
	1 H 2	54.08	10.44	8.01	142.00	
	1 H 3	54.24	10.43	8.03	140.00	
TBW HI 1.2	2 W 1	55.50	10.19	8.00	135.00	134.83
	2 W 2	55.16	10.35	8.00	135.50	
	2 W 3	55.61	10.21	8.06	134.00	
	2 H 1	55.53	10.28	8.03	142.00	142.17
	2 H 2	55.77	10.32	8.05	143.00	
	2 H 3	55.49	10.28	8.04	141.50	
TBW HI 1.3	3 W 1	55.15	10.21	8.01	141.00	140.17
	3 W 2	55.05	10.23	8.03	139.50	
	3 W 3	54.80	10.37	8.03	140.00	
	3 H 1	55.34	10.42	8.05	142.50	140.50
	3 H 2	55.49	10.26	8.01	139.00	
	3 H 3	56.01	10.42	8.03	140.00	
TBW HI 1.4	4 W 1	55.08	10.30	8.00	138.00	141.17
	4 W 2	55.13	10.40	8.03	141.00	
	4 W 3	54.85	10.22	8.05	144.50	
	4 H 1	55.12	10.23	8.07	136.00	137.33
	4 H 2	55.23	10.36	8.06	136.50	
	4 H 3	54.60	10.42	8.03	139.50	



Gambar IV.11 Grafik Pengujian *Impact*

Berdasarkan Tabel IV.2 dan Gambar IV.11 yang ditunjukkan pada pengujian *impact* di atas dapat dianalisa bahwa pelat baja ASTM A36 menghasilkan energi *absorb* pada daerah *weld metal* dan HAZ. Kekuatan impak hasil pengelasan *temper bead* dengan rasio *heat input* terendah menghasilkan nilai kekuatan impak yang tinggi, nilainya mendekati kekuatan impak hasil pengelasan *nontemper bead* + PWHT yaitu 141.3. Selain itu dapat dikatakan bahwa semakin tinggi rasio *heat input* maka kekuatan impak di HAZ semakin menurun. Hal ini terjadi karena ukuran butir di HAZ akan semakin besar seiring dengan terjadinya kenaikan rasio *heat input*. Ukuran butir yang besar menyebabkan *grain boundary* semakin sedikit, padahal *grain boundary* inilah yang dapat menghalangi pergerakan dislokasi, semakin banyak artinya ukuran butir semakin kecil sehingga semakin kuat dan tangguh material itu.

Pada struktur HAZ, fasa perlit semakin banyak jumlahnya apabila rasio *heat input* pengelasan tinggi. Jumlah fasa perlit yang semakin tinggi memiliki korelasi dengan hasil pengujian impak di HAZ. Ketangguhan yang rendah pada hasil pengelasan *temper bead* dengan rasio *heat input* yang tinggi juga disebabkan oleh meningkatnya fasa perlit.

Energi *absorb* tertinggi pada daerah *weld metal* dimiliki pada pengelasan TBW rasio *heat input* 1.3 dengan perlakuan sebesar 141.17 Joule. Sedangkan untuk energi *absorb* terendah dimiliki pada pengelasan *nontemper bead* + PWHT sebesar 133.83 Joule. Hasil pengujian impak rasio *heat input* 1.2 mendekati hasil pengelasan *nontemper bead* + PWHT yaitu 134.83.

Pada Tabel IV.2 dan Gambar IV.11 menunjukkan bahwa energi *absorb* mengalami kenaikan pada *weld metal* dan penurunan pada HAZ. Kenaikan energi *absorb* pada *weld metal* akibat adanya pengaruh dilakukannya kenaikan rasio masukan panas pada material dimana hal tersebut dapat membuat nilai kekerasan material berkurang dan nilai energi *absorb* menjadi tinggi. Dari beberapa variasi, pada daerah HAZ rasio *heat input* yang rendah akan menghasilkan nilai kekuatan impak yang paling tinggi hampir mendekati nilai impak pada pengelasan *non temper bead + PWHT*. Nilai ketangguhan di HAZ berkaitan erat dengan distribusi kekerasan di HAZ. Semakin keras maka semakin getas dan *fracture toughness* material akan semakin rendah.

IV.4. Perhitungan Pendekatan Pengujian Tarik

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan pendekatan pengujian tarik untuk memperkirakan nilai kekuatan tarik suatu material dari nilai kekerasannya. Hal ini dapat diketahui paa umumnya karena harga kekerasan berbanding lurus dengan harga kekuatan material. Kekerasan suatu material didefinisikan sebagai ketahanan material dideformasi plastis secara lokal. Sedangkan kekuatan tarik didefinisikan sebagai ketahanan material dideformasi plastis pada satu kesatuan material. Dari pengertian ini, kekuatan dan kekerasan sama-sama diartikan dengan kemampuan material untuk dideformasi plastis. Oleh karena itu kita dapat menarik kesimpulan bahwa kekerasan suatu material berbanding lurus dengan kekuatan tariknya. Menurut E.J. Pavlina dan C.J. Van Tyne, 2008 dalam korelasi *Yield Strength* dan *Tensile Strength dengan Kekerasan Baja* didapat persamaan hubungan antara *Yield Strength* dan *Tensile Strength* dengan hasil pengujian kekerasan Vickers yaitu

$$YS = -90.7 + 2.876Hv \dots\dots\dots (1)$$

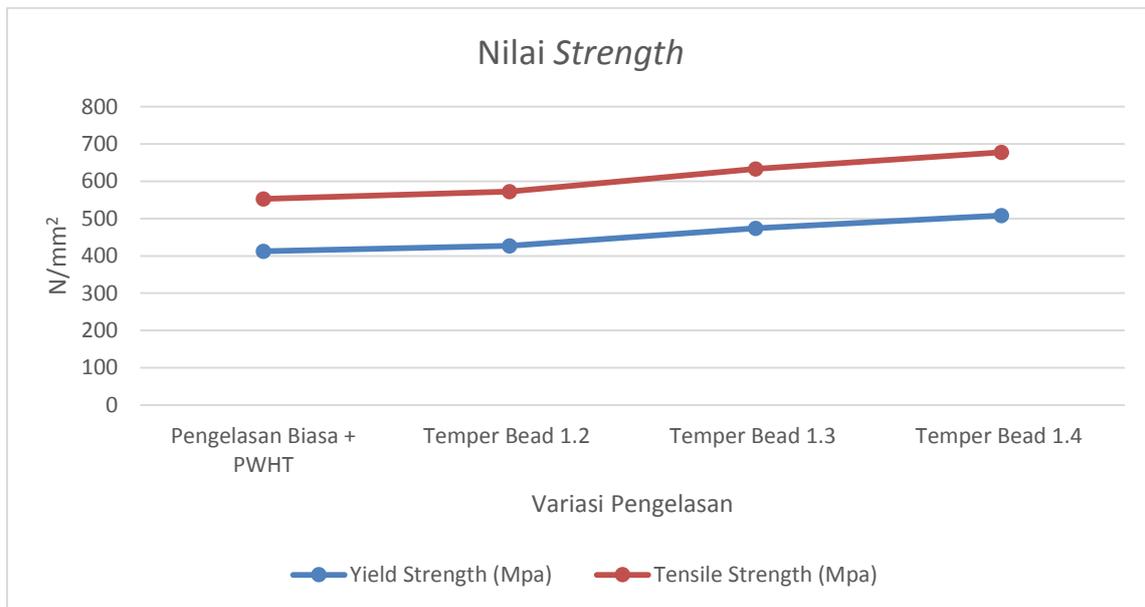
Dimana : YS : *Yield Strength* (MPa)
 Hv : Kekerasan Vickers (HV)

$$TS = -99.8 + 3.734HV \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : TS : *Tensile Strength* (MPa)
 Hv : Kekerasan Vickers (HV)

Tabel IV-3 Nilai Pendekatan Kekuatan dari Kekerasan Daerah HAZ

Variasi Pengelasan	Nilai kekerasan (HV)	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)
Pengelasan Biasa +PWHT	174.88	412.25	553.20
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.2</i>	180.03	427.06	572.43
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.3</i>	196.47	474.34	633.81
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.4</i>	208.28	508.31	677.91



Gambar IV.12 Grafik Nilai Kekuatan

Berdasarkan hasil perhitungan pendekatan kekuatan daerah HAZ pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.12 dapat diketahui bahwa nilai *Yield Strength* dan *Tensile Strength* tertinggi terdapat pada *temper bead rasio heat input 1.4* yaitu 508.21 Mpa dan 677.91 Mpa. Nilai kekuatan semakin naik karena berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Sedangkan nilai *Yield Strength* dan *Tensile Strength* terendah terdapat pada *temper bead rasio heat input 1.2* sebesar 427.06 Mpa dan 572.43 Mpa yang mendekati dengan hasil pengelasan Biasa + PWHT dengan nilai berturut—turut 412.25 MPa dan 553.20 MPa.

Pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.12 di atas menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai kekuatan berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Semakin besar nilai kekerasan maka nilai kekuatan juga semakin besar. Kenaikan kekuatan ini disebabkan oleh kenaikan rasio masukan panas pada pengelasan *temper bead*. Hal tersebut menjelaskan bahwa material yang di-*temper*

bead dengan kenaikan rasio masukan panas akan mengalami kenaikan nilai kuat tarik pada material tersebut.

IV.5. Hubungan Keseluruhan Pengujian

Berdasarkan keseluruhan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat dibandingkan hasil pengelasan *Temper Bead Welding* baja ASTM A36 dengan pengujian pengelasan biasa yang diikuti dengan *Postweld Heat Treatment* baja ASTM A36. Pada penelitian yang sudah dilakukan pengelasan baja ASTM A36 yang diikuti dengan *Postweld Heat Treatment* menghasilkan nilai *Charpy V-notch* daerah *weld metal* dan HAZ berturut-turut adalah 133.83 J dan 141.83 J. Nilai kekerasan daerah *weld metal* dan HAZ berturut-turut adalah 189.09 HV dan 174.88 HV serta nilai *Yield Strength* dan *Tensile Strength* untuk pengelasan yang diikuti dengan *Postweld Heat Treatment* adalah 412.25 MPa dan 553.20 MPa.

Tabel IV-4 Data Keseluruhan Pengujian Daerah HAZ

Variasi Pengelasan	Nilai kekerasan (HV)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	Nilai Impact(J)
	HAZ	HAZ	HAZ	HAZ
Pengelasan Biasa +PWHT	174.88	412.25	553.20	141.33
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.2</i>	180.03	427.06	572.43	142.17
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.3</i>	196.47	474.34	633.81	140.5
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.4</i>	208.28	508.31	677.91	137.33

Tabel IV-5 Data Keseluruhan Pengujian Daerah Weld Metal

Variasi Pengelasan	Nilai kekerasan (HV)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	Nilai Impact(J)
	Weld Metal	Weld Metal	Weld Metal	Weld Metal
Pengelasan Biasa +PWHT	189.09	453.12284	606.26206	133.83
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.2</i>	202.83	492.63908	657.56722	134.83
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.3</i>	209.16	510.84416	681.20344	140.17
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.4</i>	218.86	538.74136	717.42324	141.17

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan antara pengelasan biasa yang diikuti *Postweld Heat Treatment* dengan pengelasan *Temper Bead*. *Temper bead welding* dapat mensimulasikan efek *tempering* yang terjadi pada *post-weld heat treatment* (PWHT) sehingga dapat diaplikasikan untuk mengganti fungsi PWHT. Dengan mengontrol elektroda, ukuran *bead* dan variasi *heat input* dengan rasio yang spesifik dapat memberikan struktur metalurgi yang sama dengan yang diharapkan pada hasil proses PWHT. [Aloraier et al, 2010]

Pada Tabel IV.4 dan IV.5 dapat dilihat bahwa semakin besar rasio *heat input* pengelasan *temper bead* maka presentase fasa *perlit* di daerah *weld metal* maupun HAZ semakin besar, nilai kekerasan semakin tinggi dan ketangguhan menurun terutama di daerah HAZ.

Tabel IV-6 Data Perbandingan Hasil Pengujian Daerah HAZ

Perbandingan Variasi Pengelasan <i>Temper Bead</i> dengan Pengelasan yang diikuti PWHT				
Variasi Pengelasan <i>Temper Bead</i>	Nilai kekerasan (HV)	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Nilai Impact(J)
	HAZ	HAZ	HAZ	HAZ
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.2</i>	1.03%	1.04%	1.03%	1.01%
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.3</i>	1.09%	1.11%	1.11%	0.99%
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.4</i>	1.06%	1.07%	1.07%	0.98%

Tabel IV-7 Data Perbandingan Hasil Pengujian Daerah *Weld Metal*

Perbandingan Variasi Pengelasan <i>Temper Bead</i> dengan Pengelasan yang diikuti PWHT				
Variasi Pengelasan <i>Temper Bead</i>	Nilai kekerasan (HV)	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Nilai Impact(J)
	Weld Metal	Weld Metal	Weld Metal	Weld Metal
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.2</i>	1.07%	1.09%	1.08%	1.01%
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.3</i>	1.03%	1.04%	1.04%	1.04%
<i>Temper Bead Rasio Heat Input 1.4</i>	1.05%	1.05%	1.05%	1.01%

Berdasarkan Tabel IV.6 dan Tabel IV.7 persentase hasil pengujian yang paling mendekati hasil pengelasan yang diikuti oleh *post-weld heat treatment* (PWHT) adalah pengelasan *Temper Bead Rasio Heat Input 1.2* yang merupakan rasio masukan panas yang

paling rendah. Dapat dikatakan bahwa semakin tinggi masukan panas maka karakteristiknya juga ikut naik. Tapi ini tidak berlaku pada ketangguhan. Pada pengujian metalografi, struktur mikro HAZ fasa perlit semakin banyak jumlahnya apabila rasio *heat input* pengelasan tinggi. Jumlah fasa perlit yang semakin tinggi memiliki korelasi dengan hasil pengujian impak di HAZ. Ketangguhan yang rendah pada hasil pengelasan *temper bead* dengan rasio *heat input* yang tinggi juga disebabkan oleh meningkatnya jumlah fasa perlit. Jumlah fasa perlit yang banyak mengakibatkan kekerasan meningkat atau keuletan menurun maka dari itu ketangguhan menurun. Fasa perlit lebih keras daripada ferit, dengan perlit yang semakin banyak artinya jumlah fasa yang ulet yaitu ferit semakin sedikit. Fasa ferit yang semakin banyak akan meningkatkan ketangguhan.

Jika dilihat kembali tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan rasio masukan panas yang tepat untuk mengganti efek dari *Postweld Heat Treatment* maka sesuai tabel di atas besarnya rasio *heat input* yang tepat untuk melakukan pengelasan *temper bead* adalah rasio *heat input* yang rendah yaitu sebesar 1.2. Hasilnya hampir mendekati hasil pengelasan *nontemper bead+PWHT*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

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

1. Semakin besar rasio *heat input* pengelasan *temper bead* maka presentase fasa *perlit* di daerah *weld metal* maupun HAZ semakin besar, nilai kekerasan semakin tinggi dan ketangguhan menurun terutama di daerah HAZ.
2. Besarnya rasio *heat input* yang tepat untuk melakukan pengelasan *temper bead* adalah rasio *heat input* yang rendah yaitu sebesar 1.2. Hasilnya hampir mendekati hasil pengelasan *non temper bead*+PWHT.
 - Nilai energi *absorb* daerah *weld metal* pada pengelasan *non temper bead*+PWHT sebesar 133.83 Joule, pada pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.2 sebesar 134.83 Joule, pada pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.3 sebesar 141.17 Joule dan pada pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.4 sebesar 140.17 Joule.
 - Nilai *Yield Strength* dan *Tensile Strength* tertinggi terdapat pada *temper bead* rasio *heat input* 1.4 yaitu 508.21 Mpa dan 677.91 Mpa. Nilai kekuatan semakin naik karena berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Sedangkan nilai *Yield Strength* dan *Tensile Strength* terendah terdapat pada *temper bead* rasio *heat input* 1.2 sebesar 427.06 Mpa dan 572.43 Mpa yang mendekati dengan hasil pengelasan Biasa + PWHT dengan nilai berturut—turut 412.25 MPa dan 553.20 MPa.
 - Nilai kekerasan tertinggi pada *temper bead* rasio *heat input* 1.4 pada daerah *base metal* sebesar 194.84 HV, HAZ sebesar 208.28 HV dan *weld metal* sebesar 218.86 HV. Sedangkan Nilai kekerasan terendah yaitu pengelasan *temper bead* rasio *heat input* 1.2 pada daerah *base metal* sebesar 180.03 HV, HAZ sebesar 190.73 HV dan *weld metal* sebesar 202.38 HV. Terjadi kenaikan nilai kekerasan pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Hal

tersebut dapat dijelaskan bahwa rasio masukan panas yang diberikan terhadap material bertambah dimana semakin tinggi rasio masukan panas *temper bead* maka nilai kekerasan material akan ikut bertambah..

V.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 variasi diameter elektroda pada pengelasan *temper bead*.
2. Material dengan ketebalan di atas 38 mm disarankan menggunakan *double V*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aloraier, Abdulkareem S. Joshi, S. Asadi, M. Alena, Rubicel G., Goldak, John A. (2010). *Microstructural and Hardness Modelling Effect of Multiple Bead Deposition in Temper Bead Welding Technique*. International Jurnal of Energi & Technology.
- American Welding Society. (2008). *Welding Inspection Technology Fifth Edition*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- American Welding Society. (2001). *Welding Handbook Ninth Edition Volume 1 Science and Technology*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- Amin, A. (2016). *Pengaruh Variasi Temperatur Interpass Terhadap Struktur Mikro dan Fraktografi HAZ Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper Bead Welding pada Baja Karbon Sedang*. Kalimantan: Teknik Mesin, UNISKA
- Ardra. Biz. (2018, Januari). *Pengujian Pengamatan Metalografi*. Retrieved Agustus 22, 2018, from Andra. Biz: <https://ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/besi-baja-iron-steel/pengujian-pengamatan-metalografi/>
- ASM International. (1991). *ASM Metal Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering*. Ohio: ASM International Handbook Committee.
- ASM International. (2004). *ASM Metal Handbook Volume 9 Metallography and Microstructures*. Ohio: ASM International Handbook Committee..
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. (2017). *Section VIII Pressure Vessels*. New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. (2015). *Section IX Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*. New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee.
- ASME ST-LLC. (2011). *Degradation of Notch Toughness by A Post Weld Heat Treatment STP-PT-033*. New York: ASME Technology Standard, LLC.
- ASME ST-LLC. (2013). *Temper Bead Qualification Hardness Acceptance Criteria STP-PT-058*. New York: ASME Technology Standard, LLC.

- ASTM A36. (2005). *Standard Specification of Carbon Structural Steel*. Washington: American Society for Testing and Material.
- ASTM E23. (2007). *Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. West Conshohocken: ASTM International.
- Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI. (2015). *Rules for Welding*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Dieter, G. E. (1988). *Mechanical Metallurgy*. United States of America: McGraw-Hill Book Company
- Funderburk, R. S. (1998). *Postweld Heat Treatment*. In *Welding Innovation*.
- Funderburk, R. S. (1999). *A Look at Heat Input*. In *Welding Innovation*.
- Irvansyah, S. (2014). *Analisa Pengaruh Aplikasi Preheat dan Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Pengelasan Baja Karbon A36 menggunakan Backing Material dengan Metode FCAW terhadap Sifat Mekanik dan Metalurgi*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan, ITS.
- Pavlina, E.J. dan Van, C.J (2008). *Correlation of Yield Strength and Tensile Strength with Hardness for Steels*. *Journal of Material and Engineering Performance*: ASM International.
- Prasetyo, A. (2014). *Analisa Pengaruh Preheating terhadap Ductilias Material Baja Karbon High Tensile AH36 pada Pondasi Mesin di Kapal*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan, ITS.
- Steel, E. N. (2014). *Technical documents: Eagle Steel*. Diambil dari Eagle National Steel. Website: <https://eaglesteel.com>
- Wienpy, P. (2017). *Analisa Pengaruh Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Pengelasan Ulang Baja Karbon A36 pada Pondasi Mesin Kapal*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan, ITS
- Wiharjo, D. (2016). *Pengaruh Besar Arus Temper Bead Welding terhadap Ketangguhan Hasil Las SMAW pada Baja SS41*. Malang: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Wirjosumarto, H. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- WTIA, TGN-PE-02. (2006). *Temper Bead Welding*. Australia: Welding Technology Institute of Australia

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERALATAN DAN BAHAN

LAMPIRAN B WPS, PQR, DAN MILL TEST CERTIFICATE

LAMPIRAN C DATA HASIL PENGUJIAN

LAMPIRAN D PERHITUNGAN YIELD STRENGTH DAN TENSILE STRENGTH

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>	
2	Batu Gerinda	

3	Kertas Gosok	
4	Bahan Etsa Material	

Peralatan Pengelasan

No	Nama Alat	Gambar
1	Mesin Las DC SMAW ESAB LHE 300	

<p>2</p>	<p>Kawat Las E7018 LB-52-18 Dan Weld Teco</p>	
<p>3</p>	<p><i>Oxy Acetylene Gas</i></p>	
<p>4</p>	<p><i>Heating torch lpg 900 mm Krisbow</i></p>	
<p>5</p>	<p><i>Infrared Thermo Gun</i> IRTEK-IR60</p>	

6	<i>Welding Helmet</i>	
7	<i>Welding Glove</i>	
8	Palu dan Sikat	
9	Oven PWHT	

Peralatan Persiapan Material Uji

No	Nama Alat	Gambar
1	Mesin Gergaji	
2	<i>Hand Grinder 4 Inch Makita</i>	
3	Ragum	

4	Mesin Poles	
5	Kikir	
6	Jangka Sorong	
7	<i>Hair Dryer</i>	

8

Shaping Machine
GIANNI BONZA



Peralatan Pengujian

No	Nama Alat	Gambar
1	Alat Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	
2	Alat Uji <i>Impact</i>	
3	<i>Optical Microscope</i>	

LAMPIRAN B

WPS, PQR DAN MILL TEST CERTIFICATE

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

WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)

Organization Name ITS Surabaya By Dany Sanjaya Sitompul
 Welding Procedure Specification No. DSS-WPS-01 Date _____ Supporting PQR No.(s) _____
 Revision No. 0 Date _____

Welding Process(es) SMAW Type(s) Manual
(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)

<p>JOINTS (QW-402)</p> <p>Joint Design <u>Butt Joint</u></p> <p>Root Spacing <u>3.2 mm</u></p> <p>Backing: Yes <u>No</u></p> <p>Backing Material (Type) <u>Weld Metal</u> <small>(Refer to both backing and retainers)</small></p> <p> <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other </p> <p>Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.</p> <p>Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)]</p>	<p style="text-align: center;">Details</p>																																																
<p>*BASE METALS (QW-403)</p> <p>P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u> to P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u></p> <p>OR</p> <p>Specification and type/grade or UNS Number <u>ASTM A36</u></p> <p>to Specification and type/grade or UNS Number <u>ASTM A36</u></p> <p>OR</p> <p>Chem. Analysis and Mech. Prop. <u>-</u></p> <p>to Chem. Analysis and Mech. Prop. <u>-</u></p> <p>Thickness Range: <u>5.0 mm~200 mm</u></p> <p>Base Metal: Groove <u>-</u> Fillet <u>-</u></p> <p>Maximum Pass Thickness $\leq 1/2$ in. (13 mm) (Yes) <u>Yes</u> (No) <u>-</u></p> <p>Other <u>-</u></p>																																																	
<p>*FILLER METALS (QW-404)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Spec. No. (SFA) _____</td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><u>1</u></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><u>2</u></td> </tr> <tr> <td>AWS No. (Class) _____</td> <td style="text-align: center;"><u>5.1</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F-No. _____</td> <td style="text-align: center;"><u>4</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-No. _____</td> <td style="text-align: center;"><u>1</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metals _____</td> <td style="text-align: center;"><u>3.2 mm & 4.0 mm</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form _____</td> <td style="text-align: center;"><u>-</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Supplemental Filler Metal _____</td> <td style="text-align: center;"><u>-</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Deposited Thickness:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Groove _____</td> <td style="text-align: center;"><u>-</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Fillet _____</td> <td style="text-align: center;"><u>-</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Electrode-Flux (Class) _____</td> <td style="text-align: center;"><u>AWS</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Type _____</td> <td style="text-align: center;"><u>E7018 & E7018</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Trade Name _____</td> <td style="text-align: center;"><u>NONE</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Consumable Insert _____</td> <td style="text-align: center;"><u>NONE</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other _____</td> <td style="text-align: center;"><u>KOBE OR EQUIVALENT</u></td> <td></td> </tr> </table>		Spec. No. (SFA) _____	<u>1</u>	<u>2</u>	AWS No. (Class) _____	<u>5.1</u>		F-No. _____	<u>4</u>		A-No. _____	<u>1</u>		Size of Filler Metals _____	<u>3.2 mm & 4.0 mm</u>		Filler Metal Product Form _____	<u>-</u>		Supplemental Filler Metal _____	<u>-</u>		Weld Metal			Deposited Thickness:			Groove _____	<u>-</u>		Fillet _____	<u>-</u>		Electrode-Flux (Class) _____	<u>AWS</u>		Flux Type _____	<u>E7018 & E7018</u>		Flux Trade Name _____	<u>NONE</u>		Consumable Insert _____	<u>NONE</u>		Other _____	<u>KOBE OR EQUIVALENT</u>	
Spec. No. (SFA) _____	<u>1</u>	<u>2</u>																																															
AWS No. (Class) _____	<u>5.1</u>																																																
F-No. _____	<u>4</u>																																																
A-No. _____	<u>1</u>																																																
Size of Filler Metals _____	<u>3.2 mm & 4.0 mm</u>																																																
Filler Metal Product Form _____	<u>-</u>																																																
Supplemental Filler Metal _____	<u>-</u>																																																
Weld Metal																																																	
Deposited Thickness:																																																	
Groove _____	<u>-</u>																																																
Fillet _____	<u>-</u>																																																
Electrode-Flux (Class) _____	<u>AWS</u>																																																
Flux Type _____	<u>E7018 & E7018</u>																																																
Flux Trade Name _____	<u>NONE</u>																																																
Consumable Insert _____	<u>NONE</u>																																																
Other _____	<u>KOBE OR EQUIVALENT</u>																																																

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

FORM QW-482 (Back)

WPS No. D55-WPS-01 Rev. 0

POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove _____ 30 _____ Welding Progression: Up _____ Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ 595° C _____ Time Range _____ Other _____																							
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Minimum _____ 81 C _____ Interpass Temperature, Maximim _____ Preheat Maintenance _____ Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)	GAS (QW-408) <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Baking</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	NONE	NONE	NONE	Trailing	NONE	NONE	NONE	Baking	NONE	NONE	NONE	Other	NONE	NONE	NONE
	Percent Composition																							
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																					
Shielding	NONE	NONE	NONE																					
Trailing	NONE	NONE	NONE																					
Baking	NONE	NONE	NONE																					
Other	NONE	NONE	NONE																					

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Weld Layers	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Heat Input (kJ/mm)
		Classification	Diameter					
Root	SMAW	E7016	3.2 mm	DCRP	70 ~ 90	18 ~ 20	60 ~ 80	1.26 ~ 1.35
Hot Pass	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	110 ~ 126	23 ~ 25	112 ~ 118	1.35 ~ 1.58
Filler	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	150 ~ 170	23 ~ 26	120 ~ 180	1.73 ~ 1.47
Capping	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	150 ~ 170	23 ~ 26	120 ~ 180	1.73 ~ 1.47

Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current _____ DC _____ Heat Input (max.) _____

Tungsten Electrode Size and Type _____ NONE _____
(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____ NONE _____
(Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)

Other _____

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead _____ Both _____

Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size _____ 16-20 mm _____

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____ Brushing & Grinding _____

Method of Back Gouging _____ NONE _____

Oscillation _____ NONE _____

Contact Tube to Work Distance _____ NONE _____

Multiple or Single Pass (Per Side) _____ Multiple _____

Multiple or Single Electrodes _____ Single _____

Electrode Spacing _____

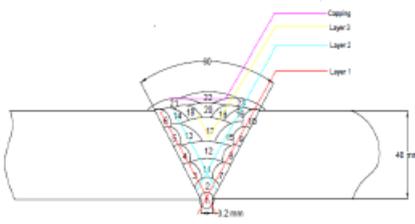
Peening _____ NONE _____

Other _____

WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)

Organization Name ITS Surabaya By Dary Sanjaya Sitompul
 Welding Procedure Specification No. DSS-WPS-02 Date _____ Supporting PQR No. (s) _____
 Revision No. 0 Date _____

Welding Process(es) SMAW Type(s) Manual
(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)

<p>JOINTS (QW-402)</p> <p>Joint Design <u>Butt Joint</u> Root Spacing <u>3.2 mm</u> Backing: Yes <u>Yes</u> No <u>-</u> Backing Material (Type) <u>Weld Metal</u> <small>(Refer to both backing and retainers)</small></p> <p> <input checked="" type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other </p> <p>Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.</p> <p>Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)]</p>	<p style="text-align: center;">Details</p> 																																																			
<p>*BASE METALS (QW-403)</p> <p>P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u> to P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u> OR Specification and type/grade or UNS Number <u>ASTM A36</u> to Specification and type/grade or UNS Number <u>ASTM A36</u> OR Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____</p> <p>Thickness Range: Base Metal: Groove <u>5.0 mm-200 mm</u> Fillet _____ Maximum Pass Thickness $\leq 1/2$ in. (13 mm) (Yes) <u>Yes</u> (No) _____ Other _____</p>																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">*FILLER METALS (QW-404)</th> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Spec. No. (SFA) _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AWS No. (Class) _____</td> <td style="text-align: center;">5.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>F-No. _____</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-No. _____</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metals _____</td> <td style="text-align: center;">3.2 mm & 4.0 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Supplemental Filler Metal _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Deposited Thickness:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Groove _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Fillet _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Electrode-Flux (Class) _____</td> <td style="text-align: center;">AWS</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Type _____</td> <td style="text-align: center;">E7016 & E7018</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Trade Name _____</td> <td style="text-align: center;">NONE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Consumable Insert _____</td> <td style="text-align: center;">NONE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other _____</td> <td style="text-align: center;">KOBE OR EQUIVALENT</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		*FILLER METALS (QW-404)	1	2	Spec. No. (SFA) _____			AWS No. (Class) _____	5.1		F-No. _____	4		A-No. _____	1		Size of Filler Metals _____	3.2 mm & 4.0 mm		Filler Metal Product Form _____	-		Supplemental Filler Metal _____	-		Weld Metal			Deposited Thickness:			Groove _____	-		Fillet _____	-		Electrode-Flux (Class) _____	AWS		Flux Type _____	E7016 & E7018		Flux Trade Name _____	NONE		Consumable Insert _____	NONE		Other _____	KOBE OR EQUIVALENT	
*FILLER METALS (QW-404)	1	2																																																		
Spec. No. (SFA) _____																																																				
AWS No. (Class) _____	5.1																																																			
F-No. _____	4																																																			
A-No. _____	1																																																			
Size of Filler Metals _____	3.2 mm & 4.0 mm																																																			
Filler Metal Product Form _____	-																																																			
Supplemental Filler Metal _____	-																																																			
Weld Metal																																																				
Deposited Thickness:																																																				
Groove _____	-																																																			
Fillet _____	-																																																			
Electrode-Flux (Class) _____	AWS																																																			
Flux Type _____	E7016 & E7018																																																			
Flux Trade Name _____	NONE																																																			
Consumable Insert _____	NONE																																																			
Other _____	KOBE OR EQUIVALENT																																																			

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

FORM QW-482 (Back)

WPS No. DSS-WPS-02 Rev. 0

POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove _____ 3G _____ Welding Progression: Up _____ Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ Time Range _____ Other _____																						
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Minimum _____ 150 C _____ Interpass Temperature, Maximum _____ Preheat Maintenance _____ Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)	GAS (QW-408) <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Percent Composition</th> <th rowspan="2">Flow Rate</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition		Flow Rate	Gas(es)	(Mixture)	Shielding	NONE	NONE	NONE	Trailing	NONE	NONE	NONE	Backing	NONE	NONE	NONE	Other	NONE	NONE	NONE
	Percent Composition		Flow Rate																				
	Gas(es)	(Mixture)																					
Shielding	NONE	NONE	NONE																				
Trailing	NONE	NONE	NONE																				
Backing	NONE	NONE	NONE																				
Other	NONE	NONE	NONE																				

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Weld Layers	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Heat Input (kJ/mm)
		Classification	Diameter					
Root	SMAW	E7016	3.2 mm	DCRP	70-90	18-22	60-90	1.26-1.32
layer 1 (2-10)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	110-125	20-23	100-115	1.32-1.50
layer 2 (11-16)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	130-160	23-25	120-125	1.48-1.92
layer 3 (17-20)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	150-170	23-25	120-130	1.72-1.96
capping (21-23)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	150-171	23-25	120-130	1.72-1.97

Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current _____ DC _____ Heat Input (max.) _____

Tungsten Electrode Size and Type _____ NONE _____
(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____ NONE _____
(Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)

Other _____

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead _____ Both _____

Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size _____ 16-20 mm _____

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____ Brushing & Grinding _____

Method of Back Gouging _____ NONE _____

Oscillation _____ NONE _____

Contact Tube to Work Distance _____ NONE _____

Multiple or Single Pass (Per Side) _____ Multiple _____

Multiple or Single Electrodes _____ Single _____

Electrode Spacing _____

Peening _____ NONE _____

Other _____

WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)

Organization Name ITS Surabaya By Dany Sanjaya Situmpu
 Welding Procedure Specification No. DBS-WPS-04 Date _____ Supporting PQR No.(s) _____
 Revision No. 0 Date _____

Welding Process(es) SMAW Type(s) Manual
(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)

JOINTS (QW-402)

Joint Design Butt Joint
 Root Spacing 3.2 mm
 Backing: Yes No No -
 Backing Material (Type) Weld Metal
(Refer to both backing and retainers)

Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.

Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)

Details

***BASE METALS (QW-403)**

P-No. 1 Group No. 1 to P-No. 1 Group No. 1
 OR
 Specification and type/grade or UNS Number ASTM A36
 to Specification and type/grade or UNS Number ASTM A36
 OR
 Chem. Analysis and Mech. Prop. _____
 to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____

Thickness Range:
 Base Metal: Groove 5.0 mm~200 mm Fillet _____
 Maximum Pass Thickness $\leq 1/2$ in. (13 mm) (Yes) Yes (No) -
 Other _____

***FILLER METALS (QW-404)**

	1	2
Speco. No. (SFA)		
AWS No. (Class)	5.1	
F-No.	4	
A-No.	1	
Size of Filler Metals	3.2 mm & 4.0 mm	
Filler Metal Product Form	-	
Supplemental Filler Metal	-	
Weld Metal		
Deposited Thickness:		
Groove	-	
Fillet	-	
Electrode-Flux (Class)	AWS	
Flux Type	E7016 & E7018	
Flux Trade Name	NONE	
Consumable Insert	NONE	
Other	KOBE OR EQUIVALENT	

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

FORM QW-482 (Back)

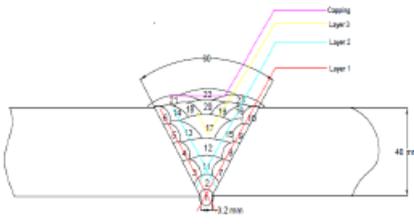
WPS No. DSS-WPS-04 Rev. 0

POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove _____ <u>30</u> Welding Progression: Up _____ Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____				POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ Time Range _____ Other _____																																																											
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Minimum _____ <u>150 C</u> Interpass Temperature, Maximum _____ Preheat Maintenance _____ Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)				GAS (QW-408) <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Baking</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> </tbody> </table>					Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	NONE	NONE	NONE	Trailing	NONE	NONE	NONE	Baking	NONE	NONE	NONE	Other	NONE	NONE	NONE																																	
	Percent Composition																																																														
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																																																												
Shielding	NONE	NONE	NONE																																																												
Trailing	NONE	NONE	NONE																																																												
Baking	NONE	NONE	NONE																																																												
Other	NONE	NONE	NONE																																																												
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)																																																															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Weld Layers</th> <th rowspan="2">Process</th> <th colspan="2">Filler Metal</th> <th rowspan="2">Current Type and Polarity</th> <th rowspan="2">Amps (I)</th> <th rowspan="2">Volts (V)</th> <th rowspan="2">Travel Speed (mm/min)</th> <th rowspan="2">Heat Input (kJ/mm)</th> </tr> <tr> <th>Classification</th> <th>Diameter</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Root</td> <td>SMAW</td> <td>E7016</td> <td>3.2 mm</td> <td>DCRP</td> <td>70-90</td> <td>18-22</td> <td>60-80</td> <td>1.26-1.46</td> </tr> <tr> <td>layer 1 (2-10)</td> <td>SMAW</td> <td>E7018</td> <td>4.0 mm</td> <td>DCRP</td> <td>110-125</td> <td>20-25</td> <td>120-130</td> <td>1.10-1.32</td> </tr> <tr> <td>layer 2 (11-16)</td> <td>SMAW</td> <td>E7018</td> <td>4.0 mm</td> <td>DCRP</td> <td>115-120</td> <td>23-25</td> <td>100-110</td> <td>1.58-1.63</td> </tr> <tr> <td>layer 3 (17-20)</td> <td>SMAW</td> <td>E7018</td> <td>4.0 mm</td> <td>DCRP</td> <td>150-160</td> <td>23-25</td> <td>115-120</td> <td>1.80-2.10</td> </tr> <tr> <td>capping (21-23)</td> <td>SMAW</td> <td>E7018</td> <td>4.0 mm</td> <td>DCRP</td> <td>150-160</td> <td>23-25</td> <td>115-120</td> <td>1.80-2.10</td> </tr> </tbody> </table>								Weld Layers	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (I)	Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)	Classification	Diameter	Root	SMAW	E7016	3.2 mm	DCRP	70-90	18-22	60-80	1.26-1.46	layer 1 (2-10)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	110-125	20-25	120-130	1.10-1.32	layer 2 (11-16)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	115-120	23-25	100-110	1.58-1.63	layer 3 (17-20)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	150-160	23-25	115-120	1.80-2.10	capping (21-23)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	150-160	23-25	115-120	1.80-2.10
Weld Layers	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (I)	Volts (V)	Travel Speed (mm/min)			Heat Input (kJ/mm)																																																					
		Classification	Diameter																																																												
Root	SMAW	E7016	3.2 mm	DCRP	70-90	18-22	60-80	1.26-1.46																																																							
layer 1 (2-10)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	110-125	20-25	120-130	1.10-1.32																																																							
layer 2 (11-16)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	115-120	23-25	100-110	1.58-1.63																																																							
layer 3 (17-20)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	150-160	23-25	115-120	1.80-2.10																																																							
capping (21-23)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	150-160	23-25	115-120	1.80-2.10																																																							
Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.																																																															
Pulsing Current _____ <u>DC</u> _____ Heat Input (max.) _____																																																															
Tungsten Electrode Size and Type _____ <u>NONE</u> _____ <small>(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)</small>																																																															
Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____ <u>NONE</u> _____ <small>(Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)</small>																																																															
Other _____																																																															
TECHNIQUE (QW-410) String or Weave Bead _____ <u>Both</u> _____ Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size _____ <u>16/20 mm</u> _____ Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____ <u>Brushing & Grinding</u> _____ Method of Back Gouging _____ <u>NONE</u> _____ Oscillation _____ <u>NONE</u> _____ Contact Tube to Work Distance _____ <u>NONE</u> _____ Multiple or Single Pass (Per Side) _____ <u>Multiple</u> _____ Multiple or Single Electrodes _____ <u>Single</u> _____ Electrode Spacing _____ Peening _____ <u>NONE</u> _____ Other _____																																																															

WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)

Organization Name ITS Surabaya By Dany Sanjaya Silompul
 Welding Procedure Specification No. DSS-WPS-02 Date _____ Supporting PQR No. (s) _____
 Revision No. 0 Date _____

Welding Process(es) SMAW Type(s) Manual
(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)

<p>JOINTS (QW-402)</p> <p>Joint Design <u>Butt Joint</u> Root Spacing <u>3.2 mm</u> Backing: Yes <u>No</u> No _____ Backing Material (Type) <u>Weld Metal</u> <small>(Refer to both backing and retainers)</small></p> <p> <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other </p> <p>Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.</p> <p>Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)</p>	<p style="text-align: center;">Details</p> 																																																			
<p>*BASE METALS (QW-403)</p> <p>P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u> to P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u></p> <p style="text-align: center;">OR</p> <p>Specification and type/grade or UNS Number <u>ASTM A36</u> to Specification and type/grade or UNS Number <u>ASTM A36</u></p> <p style="text-align: center;">OR</p> <p>Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____</p> <p>Thickness Range: <u>5.0 mm-200 mm</u></p> <p>Base Metal: Groove _____ Fillet _____ Maximum Pass Thickness $\leq 1/2$ in. (13 mm) (Yes) <u>Yes</u> (No) _____</p> <p>Other _____</p>																																																				
<p>*FILLER METALS (QW-404)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 35%; text-align: center;">1</th> <th style="width: 35%; text-align: center;">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Spec. No. (SFA) _____</td> <td style="text-align: center;">5.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AWS No. (Class) _____</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>F-No. _____</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-No. _____</td> <td style="text-align: center;">3.2 mm & 4.0 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metals _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Supplemental Filler Metal _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Deposited Thickness:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Groove _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Fillet _____</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Electrode-Flux (Class) _____</td> <td style="text-align: center;">AWS</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Type _____</td> <td style="text-align: center;">E7016 & E7018</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Trade Name _____</td> <td style="text-align: center;">NONE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Consumable Insert _____</td> <td style="text-align: center;">NONE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other _____</td> <td style="text-align: center;">KOBE OR EQUIVALENT</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			1	2	Spec. No. (SFA) _____	5.1		AWS No. (Class) _____	4		F-No. _____	1		A-No. _____	3.2 mm & 4.0 mm		Size of Filler Metals _____	-		Filler Metal Product Form _____	-		Supplemental Filler Metal _____	-		Weld Metal			Deposited Thickness:			Groove _____	-		Fillet _____	-		Electrode-Flux (Class) _____	AWS		Flux Type _____	E7016 & E7018		Flux Trade Name _____	NONE		Consumable Insert _____	NONE		Other _____	KOBE OR EQUIVALENT	
	1	2																																																		
Spec. No. (SFA) _____	5.1																																																			
AWS No. (Class) _____	4																																																			
F-No. _____	1																																																			
A-No. _____	3.2 mm & 4.0 mm																																																			
Size of Filler Metals _____	-																																																			
Filler Metal Product Form _____	-																																																			
Supplemental Filler Metal _____	-																																																			
Weld Metal																																																				
Deposited Thickness:																																																				
Groove _____	-																																																			
Fillet _____	-																																																			
Electrode-Flux (Class) _____	AWS																																																			
Flux Type _____	E7016 & E7018																																																			
Flux Trade Name _____	NONE																																																			
Consumable Insert _____	NONE																																																			
Other _____	KOBE OR EQUIVALENT																																																			

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

FORM QW-482 (Back)

WPS No. D55-WPS-02 Rev. 0

POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove _____ 3G _____ Welding Progression: Up _____ Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ Time Range _____ Other _____																							
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Minimum _____ 150 C _____ Interpass Temperature, Maximim _____ Preheat Maintenance _____ Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)	GAS (QW-408) <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Baking</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> <td>NONE</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	NONE	NONE	NONE	Trailing	NONE	NONE	NONE	Baking	NONE	NONE	NONE	Other	NONE	NONE	NONE
	Percent Composition																							
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																					
Shielding	NONE	NONE	NONE																					
Trailing	NONE	NONE	NONE																					
Baking	NONE	NONE	NONE																					
Other	NONE	NONE	NONE																					

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Weld Layers	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (I)	Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
		Classification	Diameter					
Root	SMAW	E7016	3.2 mm	DCRP	70-90	18-22	60-80	1.26-1.48
layer 1 (2-10)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	110-125	20-23	120-125	1.10-1.38
layer 2 (11-16)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	115-120	23-25	120-125	1.32-1.44
layer 3 (17-20)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	115-121	23-25	120-130	1.72-1.96
capping (21-23)	SMAW	E7018	4.0 mm	DCRP	130-135	23-25	120-130	1.72-1.97

Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current _____ DC _____ Heat Input (max.) _____

Tungsten Electrode Size and Type _____ NONE _____
(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____ NONE _____
(Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)

Other _____

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead _____ Both _____

Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size _____ 16-20 mm _____

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____ Brushing & Grinding _____

Method of Back Gouging _____ NONE _____

Oscillation _____ NONE _____

Contact Tube to Work Distance _____ NONE _____

Multiple or Single Pass (Per Side) _____ Multiple _____

Multiple or Single Electrodes _____ Single _____

Electrode Spacing _____

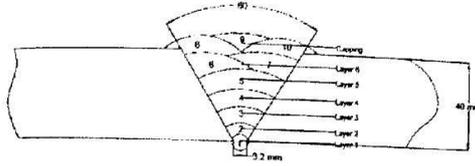
Peening _____ NONE _____

Other _____

PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)

Organization Name ITS Surabaya
 Procedure Qualification Record No. DSS - PQR - 01 Date _____
 WPS No. DSS - WPS - 01
 Welding Process(es) SMAW
 Types (Manual, Automatic, Semi-Automatic) Manual

QW'S (QW-402)



Groove Design of Test Coupon
 (For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)

BASE METALS (QW-403)
 Material Spec. _____
 Type/Grade, or UNS Number ASTM A36
 P-No. 1 Group No. 1 to P-No. 1 Group No. 1
 Thickness of Test Coupon 40 mm
 Diameter of Test Coupon _____
 Maximum Pass Thickness _____
 Other _____

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)
 Temperature 595°C
 Time 1 h 40 minutes (holding time)
 Other _____

FILLER METALS (QW-404)

SFA Specification	<u>1</u>	<u>2</u>
AWS Classification	<u>5.1</u>	
Filler Metal F-No.	<u>4</u>	
Weld Metal Analysis A-No.	<u>1</u>	
Size of Filler Metal	<u>3.2 & 4.0 mm</u>	
Filler Metal Product Form	<u>-</u>	
Supplemental Filler Metal	<u>-</u>	
Electrode Flux Classification	<u>AWS</u>	
Flux Type	<u>E 7016 & E 7019</u>	
Flux Trade Name	<u>-</u>	
Weld Metal Thickness	<u>-</u>	
Order	<u>KOBE OR EQUIVALENT</u>	

GAS (QW-408)

	Percent Composition		
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate
Shielding	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>
Trailing	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>
Backing	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>
Other	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>

POSITION (QW-405)
 Position of Groove 3G
 Weld Progression (Uphill, Downhill) _____
 Other _____

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)
 Current DC
 Polarity RP
 Amps. 70 - 185 Volts 18 - 27
 Tungsten Electrode Size _____
 Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____
 Heat Input 1.51 - 4.30 kJ/mm
 Other _____

PREHEAT (QW-406)
 Preheat Temperature _____
 Interpass Temperature 83°C
 Other _____

TECHNIQUE (QW-410)
 Travel Speed 49.97 - 144.93
 String or Weave Bead Both
 Oscillation _____
 Multipass or Single Pass (Per Side) Multipass
 Single or Multiple Electrodes _____
 Other _____

FORM QW-483 (Back)

Tensile Test

PQR No. 01

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Total Load	Ultimate Unit Stress, (psi or MPa)	Type of Failure and Location

Guided-Bend Tests

Type and Figure No.	Result

Toughness Tests

Specimen No.	Notch Location	Specimen Size	Test Temperature	Impact Values			Drop Weight Break (Y/N)
				ft-lb or J	% Shear	Mils (in.) or mm	
1W1	Weld		28 °C		126		
1W2	Weld		28 °C		137.5		
1W3	Weld		28 °C		128		
1H1	HAZ		28 °C		141		
1H2	HAZ		28 °C		142		
1H3	HAZ		28 °C		140		

Fillet-Weld Test

is Satisfactory: Yes No Penetration into Parent Metal: Yes No

Results: _____

Other Tests

of Test: See Lampiran Perbaikan

Conducted by: Ayu Ratih and Yanti Clock No. _____ Stamp No. _____

Laboratory Test No. _____
 I certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

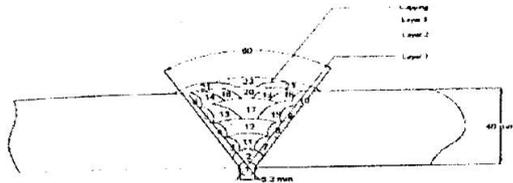
Organization: ITS

Certified by: _____

(If record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the Code.)

PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)

Institution Name: ITS Surabaya
 PQR No: DSS - PQR - 02
 WPS No: DSS - WPS - 01
 Manual: Manual
 Date: _____
 Process: Manual
 (See Manual, Automatic, Semi-Automatic)
 AWS Spec: A5.1



Groove Design of Test Coupon

(For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)

BASE METALS (QW-403)

Material Spec: _____

Type Grade, or UNS Number: ASTM A36

F-No: 1 Group No: 1 to P-No: 1 Group No: 1

Thickness of Test Coupon: 40 mm

Diameter of Test Coupon: _____

Maximum Pass Thickness: _____

Other: _____

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature: _____

Time: _____

Other: _____

FILLER METALS (QW-404)

SFA Specification	1	2
ANS Classification	<u>5.1</u>	
Filler Metal F-No.	<u>4</u>	
Weld Metal Analysis A-No.	<u>1</u>	
Size of Filler Metal	<u>3.2 and 4.0 mm</u>	
Filler Metal Product Form		
Supplemental Filler Metal		
Ecode Flux Classification	<u>AWS</u>	
Flux Type	<u>E7016</u>	
Flux Trade Name		
Weld Metal Thickness		
Other	<u>KEE OR EQUIVALENT</u>	

GAS (QW-408)

	Percent Composition		Flow Rate
	Gas(es)	(Mixture)	
Shielding	-	-	-
Trailing	-	-	-
Backing	-	-	-
Other	-	-	-

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current: DC

Polarity: RP

Amps: 70 - 165 Volts: 18 - 26

Tungsten Electrode Size: _____

Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW): _____

Heat Input: 1.19 - 2.34 kJ/mm

Other: _____

POSITION (QW-405)

Position of Groove: 3G

Weld Progression (Uphill, Downhill): _____

Other: _____

TECHNIQUE (QW-410)

Travel Speed: 56.72 - 198.53 mm/min

String or Weave Bead: Both

Oscillation: _____

Multipass or Single Pass (Per Side): Multipass

Single or Multiple Electrodes: _____

Other: _____

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temperature: _____

Interpass Temperature: 170.5 °C

Other: _____

FORM QW-483 (Back)

Tensile Test

PQR No. 02

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Total Load	Ultimate Unit Stress (psi or MPa)	Type of Failure and Location

Guided-Bend Tests

Type and Figure No.	Result

Toughness Tests

Specimen No.	Notch Location	Specimen Size	Test		Impact Values		Drop Weight Break (Y/N)
			Temperature	ft-lb or J	% Shear	Mils (in.) or mm	
242	W2A		28		135.00		
243	W2A		28		135.50		
244	W2A		28		134.00		
241	HA2		28		141.00		
241	HA2		28		142.00		
241	HA2		28		141.50		

Remarks

Fillet-Weld Test

14.4 - Satisfactory: Yes _____ No _____ Penetration into Parent Metal: Yes _____ No _____

200 - Results

Other Tests

Type of Test _____
 Post Analysis _____
 Test _____

Tester's Name _____ Clock No. _____ Stamp No. _____
 Tests Conducted by _____ Laboratory Test No. _____

I certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

Organization _____

Certified by _____

(The detail of record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the Code.)

PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)

Welding Process
Welding Qualification Record No.

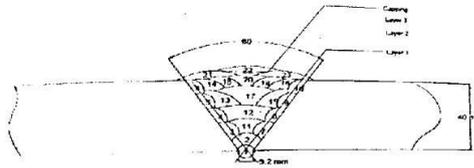
115
DSS
DSS - 02
DSS - 03

Date

Welding Position
(See AWS A5.1, A5.9, A5.10, A5.11, A5.12, A5.13, A5.14, A5.15, A5.16, A5.17, A5.18, A5.19, A5.20, A5.21, A5.22, A5.23, A5.24, A5.25, A5.26, A5.27, A5.28, A5.29, A5.30, A5.31, A5.32, A5.33, A5.34, A5.35, A5.36, A5.37, A5.38, A5.39, A5.40, A5.41, A5.42, A5.43, A5.44, A5.45, A5.46, A5.47, A5.48, A5.49, A5.50, A5.51, A5.52, A5.53, A5.54, A5.55, A5.56, A5.57, A5.58, A5.59, A5.60, A5.61, A5.62, A5.63, A5.64, A5.65, A5.66, A5.67, A5.68, A5.69, A5.70, A5.71, A5.72, A5.73, A5.74, A5.75, A5.76, A5.77, A5.78, A5.79, A5.80, A5.81, A5.82, A5.83, A5.84, A5.85, A5.86, A5.87, A5.88, A5.89, A5.90, A5.91, A5.92, A5.93, A5.94, A5.95, A5.96, A5.97, A5.98, A5.99, A5.100)

SP1010

Manual



Groove Design of Test Coupon

(For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)

FILLER METALS (QW-403) Material Spec. _____ Code/Grade or UNS Number <u>ASTM A36</u> P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u> to P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u> Thickness of Test Coupon <u>40 mm</u> Diameter of Test Coupon _____ Maximum Pass Thickness _____ Other _____		POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature _____ Time _____ Other _____																																																	
FILLER METALS (QW-404) <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>WPS Specification _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>AWS Classification <u>E 5.1</u></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Filler Metal F-No. <u>4</u></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Weld Metal Analysis A-No. <u>1</u></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metal <u>3.2, 4.0 mm</u></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Commercial Filler Metal _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Electrode Flux Classification <u>AWS</u></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Flux Type <u>E 7016, E 7018</u></td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Flux Trade Name _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Weld Metal Thickness _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other <u>ROBE OR EQUIVALENT</u></td> <td>_____</td> </tr> </table>		1	2	WPS Specification _____	_____	AWS Classification <u>E 5.1</u>	_____	Filler Metal F-No. <u>4</u>	_____	Weld Metal Analysis A-No. <u>1</u>	_____	Size of Filler Metal <u>3.2, 4.0 mm</u>	_____	Filler Metal Product Form _____	_____	Commercial Filler Metal _____	_____	Electrode Flux Classification <u>AWS</u>	_____	Flux Type <u>E 7016, E 7018</u>	_____	Flux Trade Name _____	_____	Weld Metal Thickness _____	_____	Other <u>ROBE OR EQUIVALENT</u>	_____	GAS (QW-408) <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Percent Composition</th> <th rowspan="2">Flow Rate</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>			Percent Composition		Flow Rate	Gas(es)	(Mixture)	Shielding	_____	_____	_____	Trailing	_____	_____	_____	Backing	_____	_____	_____	Other	_____	_____	_____
1	2																																																		
WPS Specification _____	_____																																																		
AWS Classification <u>E 5.1</u>	_____																																																		
Filler Metal F-No. <u>4</u>	_____																																																		
Weld Metal Analysis A-No. <u>1</u>	_____																																																		
Size of Filler Metal <u>3.2, 4.0 mm</u>	_____																																																		
Filler Metal Product Form _____	_____																																																		
Commercial Filler Metal _____	_____																																																		
Electrode Flux Classification <u>AWS</u>	_____																																																		
Flux Type <u>E 7016, E 7018</u>	_____																																																		
Flux Trade Name _____	_____																																																		
Weld Metal Thickness _____	_____																																																		
Other <u>ROBE OR EQUIVALENT</u>	_____																																																		
	Percent Composition		Flow Rate																																																
	Gas(es)	(Mixture)																																																	
Shielding	_____	_____	_____																																																
Trailing	_____	_____	_____																																																
Backing	_____	_____	_____																																																
Other	_____	_____	_____																																																
POSITION (QW-405) Position of Groove <u>36</u> Weld Progression (Uphill, Downhill) _____ Other _____		ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409) Current <u>DC</u> Polarity <u>RP</u> Amps <u>71 - 160</u> Volts <u>18 - 26</u> Tungsten Electrode Size _____ Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____ Heat Input <u>1.26 - 2.47</u> kJ/mm Other _____																																																	
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature <u>170 °C</u> Interpass Temperature _____ Other _____		TECHNIQUE (QW-410) Travel Speed <u>55.10 ~ 195.85 mm/min</u> String or Weave Bead _____ Oscillation _____ Multipass or Single Pass (Per Side) _____ Single or Multiple Electrodes _____ Other _____																																																	

FORM QW-483 (Back)

PQR No. 03

Tensile Test

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Total Load	Ultimate Unit Stress, (psi or MPa)	Type of Failure and Location

Guided-Bend Tests

Type and Figure No.	Result

Toughness Tests

Specimen No.	Notch Location	Specimen Size	Test Temperature	Impact Values		Drop Weight Break (Y/N)
				ft-lb or J	% Shear	
3W1	Weld		23°C		141.00	
3W2	Weld		23°C		139.50	
3W3	Weld		23°C		140.00	
3W4	Weld		23°C		142.50	
3W5	Weld		23°C		139.00	
3W6	Weld		23°C		140.00	

Fillet-Weld Test

Result — Satisfactory: Yes No Penetration into Parent Metal: Yes No

Micro — Results: _____

Other Tests

Type of Test: _____
 Spectro Analysis: _____
 Other: _____

Tester's Name: _____ Clock No. _____ Stamp No. _____

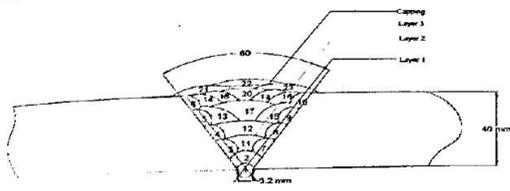
Tests Conducted by: _____ Laboratory Test No. _____
 I certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

Organization: _____

Certified by: _____
 (A full record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the Code.)

PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)

Welder Name ITS Surbayan Date _____
 Procedure Qualification Record No. D63 - PQR - 04
D61 - WPS - 04
SAW
 WPS No. _____
 Welding Process(es) Manual
 Type (Manual, Automatic, Semi-Automatic) _____



Groove Design of Test Coupon

(For continuation qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)

BASE METALS (QW-403)
 Base Metal _____
 Base Metal or UNS Number A514 A36
 P-No. 1 Group No. 1 to P-No. 1 Group No. 1
 Thickness of Test Coupon 40 mm
 Diameter of Test Coupon _____
 Maximum Pass Thickness _____

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)
 Temperature _____
 Time _____
 Other _____

ROPER METALS (QW-404)
 P-No. 1 Group No. 2
 P-No. Classification 15-1
 Base Metal P-No. 4
 Base Metal Analysis A-No. 1
 Size of Base Metal 3.2 x 4.0 mm
 Base Metal Product Form _____
 Mechanical Filler Metal _____
 Electrode Filler Metal _____
 Electrode Filler Classification AWS
 Electrode Type E7016 E7018
 Trade Name _____
 Electrode Thickness _____
 Type ROPE OR EQUIVALENT

GAS (QW-408)

	Percent Composition		
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate
Shielding			
Trailing			
Backing			
Other			

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)
 Temperature 75
 Time _____
 Direction of Heat Treatment (Uphill, Downhill) _____
 Other _____

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)
 Current DC
 Polarity RP
 Amps. 21 - 150 Volts 18 - 27
 Tungsten Electrode Size _____
 Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____
 Heat Input 1.73 - 2.61 kJ/mm
 Other _____

TECHNIQUE (QW-410)
 Travel Speed 55 - 152.55 mm/min
 String or Weave Bead Both
 Oscillation _____
 Multipass or Single Pass (Per Side) Multipass
 Single or Multiple Electrodes _____
 Other _____

Tensile Test

PQR No. 014

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Total Load	Ultimate Unit Stress, (psi or MPa)	Type of Failure and Location

Guided-Bend Tests

Type and Figure No.	Result

Toughness Tests

Specimen No.	Notch Location	Specimen Size	Test Temperature	ft-lb or J	Impact Values		Drop Weight Break (Y/N)
					% Shear	Mils (in.) or mm	
4W1	Weld		28°C		178.00		
4W2	Weld		28°C		141.00		
4W3	Weld		28°C		144.50		
4H1	HAZ		28°C		136.00		
4H2	HAZ		28°C		136.50		
4H3	HAZ		28°C		139.50		

Comments

Fillet-Weld Test

Result — Satisfactory: Yes _____ No _____ Penetration into Parent Metal: Yes _____ No _____
 Visual Results _____

Other Tests

Type of Test _____
 Parent Analysis _____
 Other _____

Tester's Name _____
 Test Conducted by _____ Clock No. _____ Stamp No. _____
 I certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance _____
 with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code. _____

Organization _____
 Certified by _____
 Detail of record of tests are illustrative only and may be made _____

INSPECTION CERTIFICATE

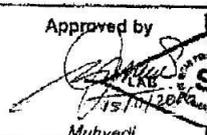
Trade Name : **LB-52-18** Size : ϕ 4.0 mm

AWS A5.1 E7018		Doc. No.	146 / LAB / MI / VIII / 2007					
		Mfg. No.	SC-2508-N					
Welding Process	SMAW	Date	July 16, 2007					
		Drying Condition	300 °C - 30'					
		Polarity	D C +					
Welding condition according to the code		Interpass Temp.	100 °C					
Chemical Composition of Deposited Metal (%)								
Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V
0.58	1.10	0.009	0.012	0.052	0.039	0.102	0.013	0.010
Mechanical Property of Deposited Metal								
Tensile Test			Impact Test					
Tensile Strength kg/mm ²	Tensile Strength kgf/mm ²	Elongation %	Test Temperature °C	Absorbed Energy Joule	Notch Type			
52	56.0	26.2	-29	(1) 46.2	Avg 49.8 V = 2 mm			
				(2) 166.8				
				(3) 52.2				
				(4) 42.7				
				(5) 51.0				
Test Procedure according to the code								
PT INTAN PERTIWI INDUSTRI Welding Electrode Manufacturer		Approved by		Prepared by				
We hereby certify that the test results of the above welding materials are as stated herein.		 02/08/07 Muhyadi		 DIVS 02-08-2007 Asep Hadian				

The lowest value and highest value disregarded.

INSPECTION CERTIFICATE

Trade Name : LB - 52U Size : ϕ 3.2 mm

Applicable specification and classification		Doc. No.	120/LAB/IC/XI/2016												
AWS A5.1 E7016		Mfg. No.	SI-7235-B												
		Date	November 07, 2016												
Welding Process	SMAW	Drying Condition	300 °C - 30'												
Welding condition according to the code		Polarity	AC												
		Interpass Temp.	100 °C												
Chemical Composition of Deposited Metal (%)															
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V						
0.082	0.682	1.122	0.012	0.013	0.063	0.048	0.182	0.009	0.008						
Mechanical Property of Deposited Metal --															
Tensile Test			Impact Test												
Yield Strength kgf/mm ²	Tensile Strength kgf/mm ²	Elongation %	Test Temperature °C	Absorbed Energy Joule	Notch Type										
46.1	54	30.8	-29	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>(1)</td><td>131.5</td></tr> <tr><td>(2)</td><td>151.4</td></tr> <tr><td>(3)</td><td>141.4</td></tr> <tr><td>(4)</td><td>65.8</td></tr> <tr><td>(5)</td><td>165.4</td></tr> </table>	(1)	131.5	(2)	151.4	(3)	141.4	(4)	65.8	(5)	165.4	V = 2 mm
(1)	131.5														
(2)	151.4														
(3)	141.4														
(4)	65.8														
(5)	165.4														
Test Procedure according to the code															
PT INTAN PERTIWI INDUSTRI Kobe Welding Electrode Manufacturer		Approved by		Prepared by											
We hereby certify that the test results of the above welding materials are as described herein.															
		Muhyadi		Aprilia Vivi E											

Note :
 * The lowest value and highest value disregarded.
 ** Tested size and Ntg No. For Mechanical test : SI-4887-A (4.0 mm dia.)

P. L. GUNAWAN MINIRAJA STEEL
 Surabaya - Indonesia
MILL TEST CERTIFICATE

Head Office :
 Jl. Mangrove No. 20 A, P.O. Box 1078
 Grogas - Asemrowo - Surabaya 60183
 Phone : (62-31) 7490598 (Marketing)
 Fax : (62-31) 7490591
 E-mail : gunawan@pds.co.id
 http://www.gunawansteel.com

Certificate No. : GDS/QC/2009/0017 (A)
 Date : January 8, 2009
 Despatch Advice No. : LDC-0901-0033

Header : **LASSERI TUNGGAL CV**
 JL. Sidorena No. 99 - Surabaya - Surabaya 60183
 No. : D - 200 - 7008
 Detail : **HOT ROLLED STEEL PLATE**
 Specification : **ASTM A 572 M 50**
 Grades : **A 572 M 50**

Heat Number	Plate Thickness (mm)	W	L	Weight (MT)	Ladle Analysis (%)											Tensile Test			Impact Value in Joule							
					C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N	Test No.	Y.S	T.S	El %	Bond Test	I	II	III
					x 10 ⁻²	x 10 ⁻³					x 10 ⁻²	x 10 ⁻³						N/mm ²	N/mm ²	%	kgf/cm ²					
F1836	13	40	2380	0.911	16	24	93	11	4	2	7	4	3	-	3	40	3	6	W4	321	481	31				
80627	12	63	4970	3.745	16	20	91	12	13	<10	4	6	2	<10	<5	29	<5	9	S2	281	453	26				
				4.657																						

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

[Signature]
 Ir. Philipus J. Panjaitan
 QA/QC Manager

LAMPIRAN C

DATA HASIL PENGUJIAN

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

P-BIASA + DWHT



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 60115
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

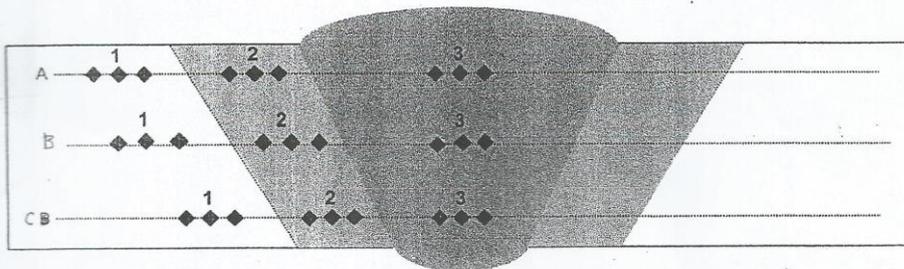
REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/2018

Page 1 of 1

DATE : 26/12/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : BKI VOLUME VI RULES FOR WELDING
WPQT NO. :
JOINT DESIGN : Butt Welded
MATERIAL SPEC. : Plate
P.NO. Gr.NO. :
THICKNESS : 40 mm
WELDING PROCESS : SMAW
TEST POSITION :
WELDER NAME : AGUS SALIM AND YANTO

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)														
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			HAZ			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
A	159	167.2	163.9	175.5	198.90	190.20	236.1	211.0	199.70						
Average	163.23			188.20			215.60								
B	164.9	161.1	168.7	173.6	172.7	188.3	184.1	191.7	172.9						
Average	163.90			178.20			182.90								
C	155.1	151.2	155.6	146.6	161.4	166.70	166.8	165.9	173.6						
Average	153.96			158.23			168.76								

Equipment: Hardness Tester "Karl Frank GmbH"

Witnessed by :

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





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TBW 1.2

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

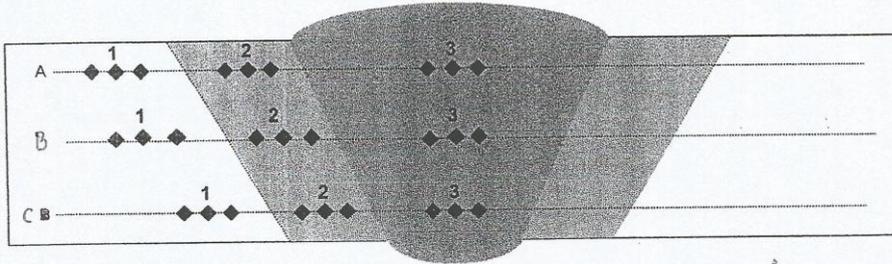
REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/2018

Page 1 of 1

DATE : 27/12/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : BKI VOLUME VI RULES FOR WELDING
WPQT NO. :
JOINT DESIGN : Butt Welded
MATERIAL SPEC. : Plate
P.NO. Gr.NO. :
THICKNESS : 40 mm
WELDING PROCESS : SMAW
TEST POSITION :
WELDER NAME : AGUS SALIM AND XANTO

3. HARDNESS TEST

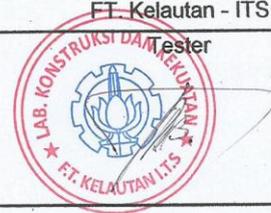


Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)														
	Base Metal		H A Z			Weld Metal		H A Z		Base Metal					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
A	173.8	174	170.3	189.5	181.2	183.9	208.5	208.0	197.10						
Average	172.70		184.87			204.53									
B	171.1	180.3	179.2	180.5	200.7	182.5	205	204.2	189.3						
Average	179.53		187.9			199.5									
C	185.3	194.4	187.9	178.1	221.5	198.7	192.4	221.5	195.4						
Average	187.87		199.43			203.1									

Equipment: Hardness Tester "Karl Frank GmbH"

Witnessed by :

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



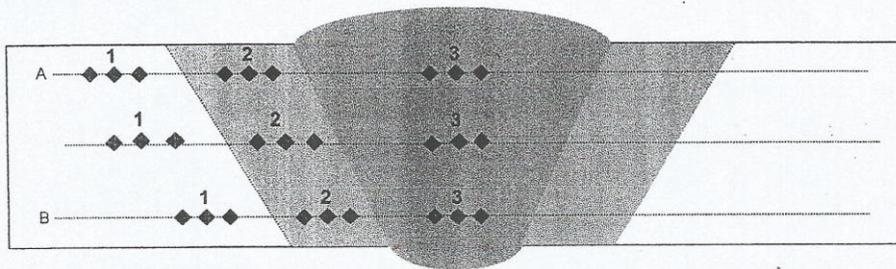


TBW 1.3

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/2018
 Page 1 of 1

DATE : 27/12/2018
 ORDER FROM :
 TEST STANDARD : BKI VOLUME VI RULES FOR WELDING
 WPQT NO. :
 JOINT DESIGN : Butt Welded
 MATERIAL SPEC. : Plate
 P.NO. Gr.NO. :
 THICKNESS : 40 mm
 WELDING PROCESS : SMAW
 TEST POSITION :
 WELDER NAME : AGUS SALIM AND YANTO

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)														
	Base Metal		H A Z		Weld Metal		H A Z		Base Metal						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
A	176.5	195.1	171.7	202.6	213.9	191.9	216.8	207.4	210.7	-	-	-	-	-	-
Average	181.0		202.6		211.63		-		-		-		-		
B	191.4	192.4	203.1	191.2	208.5	197.4	190.2	218.8	208.5	-	-	-	-	-	-
Average	195.63		199.03		205.83		-		-		-		-		
C	184.6	183.4	190.7	187.1	196.4	179.8	214.4	208	207.7	-	-	-	-	-	-
Average	186.23		187.77		210.9		-		-		-		-		

Equipment: Hardness Tester "Karl Frank GmbH"

Witnessed by :

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





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TBW 1.4

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

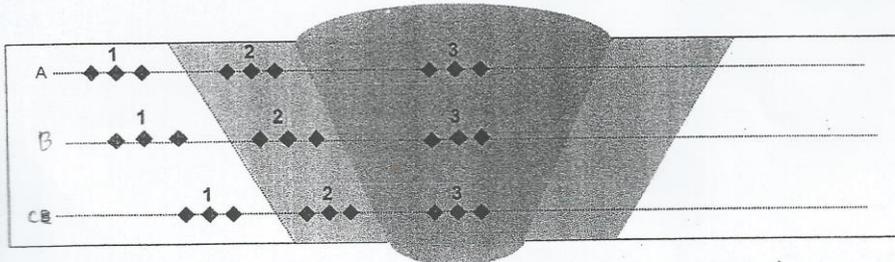
REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.I.1/PM.05.02/2018

Page 1 of 1

DATE : 26/12/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : BKI VOLUME VI RULES FOR WELDING
WPQT NO. :
JOINT DESIGN : Butt Welded
MATERIAL SPEC. : Plate
P.NO. Gr.NO. :
THICKNESS : 40 mm
WELDING PROCESS : SMAW
TEST POSITION :
WELDER NAME : AGUS SALIM AND YANTO

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)													
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			HAZ		Base Metal		
	1			2			3			4		5		
A	174.0	177.0	207.7	210.5	238.5	204.7	242.2	215.9	274.8					
Average	186.5			217.9			232.63							
B	199.2	198.1	203.6	204.4	217.6	187.4	214.2	217.6	219.1					
Average	200.33			203.2			216.97							
C	196.9	201.3	194.0	193.9	203.4	213.9	208.2	210.7	200.2					
Average	197.70			203.73			206.37							

Equipment: Hardness Tester "Karl Frank GmbH"

Witnessed by :

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





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TBW 1.2

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 : 27/12/2018
ORDER FROM : PANY S SITOMPUL
TEST STANDARD : BK1 VOL VI SEC. II
MATERIAL SPECS. : ASTM A36
PROJECT : FINAL PROJECT

IMPACT TEST								
NO	IDENTIFICATION	LENGTH	WIDTH	THICK.	IMPACT ENERGI	TEMPERATUR	Wd 1	LATERAL EXPANTION
		(mm)	(mm)	(mm)	(JOULE)	(°C)		
1	2W1	55,50	10,19	8,00	135	28		
2	2W2	55,16	10,35	8,00	135,5	28		
3	2W3	55,61	10,21	8,06	134	28		
4	2H1	55,53	10,28	8,03	142	28		
5	2H2	55,77	10,32	8,05	143	28		
6	2H3	55,49	10,28	8,04	141,5	28		
Witnessed by :					The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS			
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Thw 1.3

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 : 27/12/2017
ORDER FROM : DANY SSITOMPUL
TEST STANDARD : BKI VOL VI SEC.II
MATERIAL SPECS. : ASTM A36
PROJECT : FINAL PROSECT

IMPACT TEST								
NO	IDENTIFICATION	LENGTH	WIDTH	THICK.	IMPACT ENERGI	TEMPERATUR	Wd 1	LATERAL EXPANTION
		(mm)	(mm)	(mm)	(JOULE)	(°C)	(mm)	
1	3 W1	55,15	10,21	8,01	141	28		
2	3 W2	56,05	10,23	8,03	139,5	28		
3	3 W3	54,80	10,37	8,05	140	28		
4	3 H1	55,34	10,42	8,05	142,5	28		
5	3 H2	55,49	10,26	8,01	139	28		
6	3 H3	56,01	10,42	8,03	140	28		
Witnessed by :					The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS			
1.		<div style="text-align: center;">  Tester <i>Diana E. B. Y</i> </div>						
2.								
3.								
4.								
5.								

LAMPIRAN D PERHITUNGAN YIELD STRENGTH DAN TENSILE STRENGTH

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan pendekatan pengujian tarik untuk memperkirakan nilai kekuatan tarik suatu material dari nilai kekerasannya. Hal ini dapat diketahui paa umumnya karena harga kekerasan berbanding lurus dengan harga kekuatan material. Kekerasan suatu material didefinisikan sebagai ketahanan material dideformasi plastis secara lokal. Sedangkan kekuatan tarik didefinisikan sebagai ketahanan material dideformasi plastis pada satu kesatuan material. Dari pengertian ini, kekuatan dan kekerasan sama-sama diartikan dengan kemampuan material untuk dideformasi plastis. Oleh karena itu kita dapat menarik kesimpulan bahwa kekerasan suatu material berbanding lurus dengan kekuatan tariknya. Menurut E.J. Pavlina dan C.J. Van Tyne, 2008 dalam korelasi *Yield Strength* dan *Tensile Strength* dengan *Kekerasan Baja* didapat persamaan hubungan antara *Yield Strength* dan *Tensile Strength* dengan hasil pengujian kekerasan Vickers yaitu

$$YS = -90.7 + 2.876Hv \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : YS : *Yield Strength* (MPa)
 Hv : Kekerasan Vickers (HV)

$$TS = -99.8 + 3.734HV \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : TS : *Tensile Strength* (MPa)
 Hv : Kekerasan Vickers (HV)

Data Pengujian Kekerasan

NO	Pengelasan	Lokasi Titik Identifikasi		Angka Kekerasan	Angka Kekerasan Rata-Rata
				(HV)	(HV)
1	Biasa+PWHT	Base Metal	Top	163.23	160.36
			Center	163.90	
			Bottom	153.96	
		HAZ	Top	188.20	174.88
			Center	178.20	
			Bottom	158.23	
		Weld Metal	Top	215.60	189.09
			Center	182.90	

			Bottom	168.76	
2	TBW HI 1.2	Base Metal	Top	172.70	180.03
			Center	179.53	
			Bottom	187.87	
		HAZ	Top	184.87	190.73
			Center	187.90	
			Bottom	199.43	
		Weld Metal	Top	204.53	202.38
			Center	199.50	
			Bottom	203.10	
3	TBW HI 1.3	Base Metal	Top	181.00	187.62
			Center	195.63	
			Bottom	186.23	
		HAZ	Top	202.60	196.47
			Center	199.03	
			Bottom	187.77	
		Weld Metal	Top	211.63	209.16
			Center	205.83	
			Bottom	210.73	
4	TBW HI 1.4	Base Metal	Top	186.50	194.84
			Center	200.33	
			Bottom	197.70	
		HAZ	Top	217.90	208.28
			Center	203.20	
			Bottom	203.73	
		Weld Metal	Top	232.63	218.86
			Center	216.97	
			Bottom	206.37	

1. Perhitungan Yield Strength

$$YS = -90.7 + 2.876Hv$$

- Daerah Weld Metal

(a) Pengelasan Biasa+PWHT

$$YS = -90.7 + 2.876 \times 189.09 = 453.12 \text{ Mpa}$$

(b) Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.2

$$YS = -90.7 + 2.876 \times 202.83 = 492.63 \text{ Mpa}$$

(c) Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.3

$$YS = -90.7 + 2.876 \times 209.16 = 510.84 \text{ Mpa}$$

(d) Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.4

$$YS = -90.7 + 2.876 \times 218.86 = 538.74 \text{ Mpa}$$

- Daerah HAZ

(e) Pengelasan Biasa+PWHT

$$YS = -90.7 + 2.876 \times 174.88 = 412.25 \text{ Mpa}$$

(f) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.2*

$$YS = -90.7 + 2.876 \times 180.03 = 427.06 \text{ Mpa}$$

(g) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.3*

$$YS = -90.7 + 2.876 \times 196.47 = 474.34 \text{ Mpa}$$

(h) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.4*

$$YS = -90.7 + 2.876 \times 208.28 = 508.31 \text{ Mpa}$$

2. Perhitungan *Tensile Strength*

- *Daerah HAZ*

(i) *Pengelasan Biasa+PWHT*

$$TS = -99.8 + 3.734 \times 174.88 = 553.20 \text{ Mpa}$$

(j) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.2*

$$TS = -99.8 + 3.734 \times 180.03 = 572.43 \text{ Mpa}$$

(k) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.3*

$$TS = -99.8 + 3.734 \times 196.47 = 633.81 \text{ Mpa}$$

(l) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.4*

$$TS = -99.8 + 3.734 \times 208.28 = 677.91 \text{ Mpa}$$

- *Daerah Weld Metal*

(m) *Pengelasan Biasa+PWHT*

$$TS = -99.8 + 3.734 \times 189.09 = 606.26 \text{ Mpa}$$

(n) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.2*

$$TS = -99.8 + 3.734 \times 202.83 = 657.56 \text{ Mpa}$$

(o) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.3*

$$TS = -99.8 + 3.734 \times 209.16 = 681.20 \text{ Mpa}$$

(p) *Pengelasan Temper Bead Rasio Heat Input 1.4*

$$TS = -99.8 + 3.734 \times 218.86 = 717.42 \text{ Mpa}$$

BIODATA PENULIS



DANY SANJAYA SITOMPUL, Dilahirkan di Pancur Batu, 06 September 1996. Dibesarkan di Pancur Batu dan merupakan anak pertamadari tiga bersaudara dengan orang tua Timbul dan Tetap. Memiliki hobi memasak, merawat bunga, menyiram tanaman, dan bermain catur. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SD BHAKTI Pancur Batu (2003-2009), SMP Negeri 1 Pancur Batu (2009-2011), SMA St.Thomas 1 Medan (2011-2014) dan pada tahun 2014 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 menjabat sebagai *staff* Kementrian Dalam Negeri BEM FTK 2015/2016, Staf Kajian Strategis Himpunan Teknik Perkapalan (KASTRAT HIMATEKPAL), dan Kepala Departemen Dalam Negeri BEM FTK 2016/2017. Selan itu, Penulis juga pernah mengikuti pelatihan LKMM Pra-TD tapi tidak lulus, mengikuti kepanitiaan SAMPAN 9 ITS (Semarak Mahasiswa Perkapalan) dan Staff PMK ITS Natal Paskah tahun 2015.

Untuk memenuhi persyaratan menjadi seorang Sarjana Teknik, Penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “ANALISA PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK TEMPER *BEAD* WELDING PADA MATERIAL ASTM A36”.

Email: sitompuldany@gmail.com (+62)81252960271