TUGAS AKHIR - TM145502

PENGARUH VARIASI HEAT INPUT PENGELASAN SMAW PADA SS400 TERHADAP SIFAT MEKANIK IMPAK TEMPERATUR, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Dendy Dwi Rohma Prahara Jaya
NRP. 102115 00000 089

Dosen Pembimbing :
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

TUGAS AKHIR – TM145502

PENGARUH VARIASI HEAT INPUT PENGELASAN SMAW PADA SS400 TERHADAP SIFAT MEKANIK IMPAK TEMPERATUR, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Dendy Dwi Rohma Prahara Jaya
NRP. 102115 00000 089

Dosen Pembimbing :
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

TUGAS AKHIR - TM145502

THE INFLUENCE OF VARIATIONS HEAT INPUT WELDING SMAW AT SS400 AGAINST THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE IMPACT TEMPERATURE, HARDNESS AND MICROSTRUCTURE

Dendy Dwi Rohma Prahara Jaya
NRP. 102115 00000 089

Counselor Lecture :
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocational
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PENGARUH VARIASI HEAT INPUT PENGELASAN SMAW PADA SS400 TERHADAP SIFAT MEKANIK IMPAK TEMPERATUR, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada
Bidang Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :
Dendy Dwi Rohma Prahara Jaya
NRP. 102115 00000 089

Mengetahui dan Menyetujui :
Dosen Pembimbing

Ir. Hari Subiyanto, MSc.
NIP. 19600623 198803 1 002

SURABAYA
JULI 2018

PENGARUH VARIASI HEAT INPUT PENGELASAN SMAW PADA SS400 TERHADAP SIFAT MEKANIK IMPAK TEMPERATUR, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Nama Mahasiswa : Dendy Dwi Rohma Prahara Jaya
NRP : 102115 00000 089
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri FV - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Subiyanto, MSc

Abstrak

Dalam dunia industry kapal banyak digunakan material baja untuk kebutuhan konstruksi body kapal. Salah satu pilihan untuk menyambungkan 2 baja atau lebih menjadi satu kesatuan adalah dengan pengelasan. Prosedur pengelasan yang salah akan berpengaruh pada penurunan kualitas barang produksi seperti kekuatan sambungan las dan ketangguhan las. Sehingga salah prosedur pengelasan akan berakibat fatal.

Pada pengujian ini menggunakan plat baja SS400 dengan kadar C sebesar 0.12%. Disambungkan dengan metode pengelasan SMAW. Dalam hal ini menggunakan variasi heat input. Tujuan dari dilakukannya variasi heat input tersebut yaitu untuk mengetahui hasil terbaik dari variasi heat input, pengujian dalam penelitian ini meliputi Pengujian Impak Temperatur, Uji Struktur Mikro dan Kekerasan.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelasan dengan heat input lebih besar menjadi pilihan yang terbaik untuk menerima gaya impak. Hal ini dikarenakan heat input besar yang diterima Weld Metal dan HAZ membuat hasil lasan menjadi ulet/ tangguh.

Kata kunci : Baja, Las SMAW, Pengelasan, Ampere, Heat Input, Uji Impak Temperatur, Uji Metalografi, Uji Kekerasan

Halaman ini sengaja dikosongkan

THE INFLUENCE OF VARIATIONS HEAT INPUT WELDING SMAW AT SS400 AGAINST THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE IMPACT TEMPERATURE, HARDNESS AND MICROSTRUCTURE

Name	***: Dendy Dwi Rohma Prahara Jaya***
NRP	***: 102115 00000 089***
Department	***: Dipl. 3 Industrial Mechanical Eng. FV - ITS***
Counselor Lecture	***: Ir. Hari Subiyanto, MSc***

Abstrack

In the naval industrial world widely used steel materials for the needs of the construction of the naval body. One of the options to connect 2 or more steel into one unit is by welding. The wrong welding procedures will affect the quality of goods production decreased as strength and toughness of weld weld connection. So wrong welding procedures will be fatal.

On testing this using SS400 steel plate with C of 0.12%. Connected with the method of welding SMAW. In this case use a variety of heat input. Purpose of doing variations of the heat input i.e. to know the best results from the variation of the heat input, testing in this study include Testing the impact Test temperature, Microstructure and Violence.

Results showed that of the welding amperage with 120 being the best option to receive style impact. This is due to the large heat input Weld Metal and HAZ accepted making the results of weld being resilient/tough.

Keywords: Steel, Las SMAW, Welding, Amperage, Heat Input, Impact Test, Micro Test, Hardness Test

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

AlhamdulillahiRabbil‘Alamin, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menuntas kan seluruh pengerjaan Tugas Akhir ini yang berjudul : “Analisa Pengaruh Variasi Besar Arus Pengelasan 80 A, dan 80A Pengelasan SMAW Pada Material Baja SS400 untuk Mengetahui Sifak Mekanik Dengan Pengujian Impak Temperatur, Uji Struktur Mikro, Dan Kekerasan”.

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan akademis dan memperoleh gelar Ahli Madya dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Konversi Energi di program Studi D3 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semuapihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. **Bapak Ir. Hari Subiyanto, MSc.** Selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai motor pembakaran dalam yang terkait dengan tugas akhir.
2. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS**.**
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MT.** Selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
4. **Para Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Ayah (Sudjoni), Ibu (Suhartati), dan Kakak (Annita Martdiyah) yang selalu memberikan cinta kasih, doa dan dukungan.

6. **Bapak Ir. Subowo MSc.** Selaku wakil dosen pembimbing yang membantu kelancaran proses pengelasan.
7. **Seluruh Dosen** dan **Karyawan** yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di D3 Teknik Mesin ITS.
8. **Mas Sapto Wisasno** Selaku Aslab yang telah memberikan ijin meminjam alat-alat untuk pengerjaan tugas akhir ini.
9. **R Wildan Bagas** atas kerjasamanya dalam mengerjakan dan menjadi partner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. **Seluruh teman-teman Warga Angkatan 2015** khususnya GW21, Kontrakan Gebang, Rego Family yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terima kasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
11. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
TITLE PAGE ..... **ii**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **iii**
ABSTRAK ..... **iv**
ABSTRACT ..... **vi**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**
DAFTAR TABEL ..... **xviii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xx**

BAB I
PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan 3
1.5 Manfaat 4
1.6 Metodologi Penelitian 4
1.7 Sistematika Penulisan 5

BAB II
DASAR TEORI **7**
2.1 Definisi Pengelasan 8
2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) 8
2.2.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) AC 9
2.2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) DC 9
2.3 Posisi Pengelasan 10
2.4 Heat Input 12
2.5 Kodefikasi Elektroda 13
2.6 Material Baja SS400 15
2.7 Diagram Fe-Fe3C 17
2.7.1 Kandungan Karbon 20
2.8 Sifat Mekanik Material 22
2.9 HAZ (Heat Affected Zone) 23

2.10 Pengujian Material 24
2.11 *Hardness Test* 25
2.11.1 Uji Kekerasan Rockwell 25
2.12 Uji Impak 28
2.12.1 Prosedur Pengujian Impak 29
2.12.2 Uji Impak Metode Charpy 31
2.12.3 Uji Impak Metode Izod 32
2.12.4 Uji Impak Temperatur Transisi 33
2.12.5 Macam-Macam Patahan 35
2.13 *Metalography Test* 37
2.14 Struktur Mikro dan Makro pada Pengelasan 41

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN 43
3.1. *Flow Chart* Penelitian 43
3.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian 44
3.3. Tempat 44
3.4. Langkah Kerja 44
3.4.1 Studi Literatur 44
3.4.2 Persiapan Material 44
3.4.3 Persiapan Pengelasan 45
3.4.4 Proses Pengelasan 47
3.4.5 Persiapan Benda Uji 48
3.4.6 Pengambilan Test Piece 48
3.5. Pengujian Benda Kerja 48
3.5.1 Pengujian Impak 49
3.5.2 Pengujian Kekerasan 51
3.5.3 Pengujian *Metalografi* 53

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 57
4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia 57
4.1.1 Parameter Pengelasan 57
4.2 Uji Impak pada HAZ 58
4.2.1 Uji Impak HAZ Heat Input 80A & 120A (-50ºC) 58
4.2.2 Uji Impak HAZ Heat Input 80A & 120A (30ºC) . 61

4.2.3 Uji Impak HAZ Heat Input 80A & 120A (400ºC) 64
4.2.4 Impak Temperatur HAZ Heat Input 80A & 120A 67
4.3 Uji Impak pada Weld Metal 70
4.3.1 Uji Impak Weld Heat Input 80A & 120A (-50ºC) 70
4.3.2 Uji Impak Weld Heat Input 80A & 120A (30ºC). 73
4.3.3 Uji Impak Weld Heat Input 80A & 120A (400ºC) 76
4.3.4 Impak Temperatur Weld Heat Input 80A & 120A HAZ&Weld 79

4.4 Uji Kekerasan Hasil Pengelasan ampere 80A & 120A ..82
4.5 Uji Struktur Mikro 86

BAB V
PENUTUP 91
5.1. Kesimpulan 91
5.2. Saran 92

DAFTAR PUSTAKA
BIODATA
LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW 8
Gambar 2.2 Skema Pengelasan DCSP 9
Gambar 2.3 Skema Pengelasan DCRP 10
Gambar 2.4 Posisi pengelasan plat 1G 10
Gambar 2.5 Posisi pengelasan plat 2G 11
Gambar 2.6 Posisi pengelasan plat 3G 11
Gambar 2.7 Posisi pengelasan plat 4G 11
Gambar 2.8 Diagram Fe-Fe3C 18
Gambar 2.9 Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis 21
Gambar 2.10 Daerah HAZ 24
Gambar 2.11 Prinsip Kerja *Rockwell* 27
Gambar 2.12 Ayunan Pendulum Alat Uji Impak 31
Gambar 2.13 Pemukulan Pada Metode Charpy 32
Gambar 2.14 Pemukulan Pada Metode Izod 33
Gambar 2.15 Grafik Temperatur Transisi 35
Gambar 2.16 Hasil Scan Elektron Patahan Brittle 36
Gambar 2.17 Hasil Scan Elektron Patahan Ductile 37
Gambar 2.18 *Ferrite* 38
Gambar 2.19 *Pearlite* 38
Gambar 2.20 *Austenite* 39
Gambar 2.21 *Ledeburite* 39
Gambar 2.22 *Cementite* 40
Gambar 2.23 *Bainite* 40
Gambar 2.24 *Martensite* 41
Gambar 3.1 *Flow Chart Diagram* 43
Gambar 3.2 Sudut *groove* 30^0 45
Gambar 3.3 Material Dengan Kampuh 30^0 45
Gambar 3.4 Material plate SS400 46
Gambar 3.5 Box Elektroda E 7018 46
Gambar 3.6 Amperemeter 47
Gambar 3.7 Mesin las SMAW 47

Gambar 3.8 Sketsa Material yang akan Dilas 48
Gambar 3.9 Spesimen Uji..... 48
Gambar 3.10 Alat Uji Impak 49
Gambar 3.11 Proses Perendaman Spesimen Impak dengan Medium Alkohol dan Dry Ice..... 49
Gambar 3.12 Proses Pengukuran Temperatur Spesimen Impak Suhu Ruang 50
Gambar 3.13 Proses Pemanasan Spesimen Impak dengan Oven 50
Gambar 3.14 Alat Uji Kekerasan *Rockwell*..... 51
Gambar 3.15 Alat dan Bahan untuk Proses Etsa..... 54
Gambar 3.16 Larutan Etsa 54
Gambar 3.17 Kertas Gosok..... 55
Gambar 4.1 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur -50ºC..... 59
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Impak HAZ 80A & 120A Temperatur -50ºC 60

Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata – Rata HAZ 80A & 120A Temperatur -50ºC. 61
Gambar 4.4 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 30ºC. 61
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai Impak HAZ 80A & 120A Temperatur 30ºC 63
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata HAZ 80A & 120A Temperatur 30ºC..... 63
Gambar 4.7 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 400ºC. 64
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Nilai Impak HAZ 80A & 120A Temperatur 400ºC..... 66
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata HAZ 80A & 120A Temperatur 400ºC..... 66
Gambar 4.10 Spesimen Hasil Pengujian Impak 67

Gambar 4.11 Kurva Nilai Impak Temperatur HAZ 80A 68
Gambar 4.12 Kurva Nilai Impak Temperatur HAZ 120A..... 69
Gambar 4.13 Kurva Perbandingan Nilai Impak Temperatur HAZ 80A & 120A..... 69
Gambar 4.14 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur -50ºC..... 71
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai Impak Weld 80A & 120A Temperatur -50ºC 72
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata Weld 80A & 120A Temperatur -50ºC..... 72
Gambar 4.17 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 30ºC 73
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai Impak Weld 80A & 120A Temperatur 30ºC..... 75
Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata Weld 80A & 120A Temperatur 30ºC 75
Gambar 4.20 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 400ºC..... 76

Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai Impak Weld 80A & 120A Temperatur 400ºC..... 78
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata Weld 80A & 120A Temperatur 400ºC 78
Gambar 4.23 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 30ºC 79
Gambar 4.24 Kurva Nilai Impak Temperatur Weld 80A 80
Gambar 4.25 Kurva Nilai Impak Temperatur Weld 120A 81
Gambar 4.26 Kurva Perbandingan Nilai Impak Temperatur Weld 80A & 120A 81
Gambar 4.27 Gambar Sket Uji Kekerasan 80A dan 120A Makro Etsa 82
Gambar 4.28 Gambar Spesimen Uji Kekerasan 80A Makro Etsa..... 83

Gambar 4.29 Gambar Spesimen Uji Kekerasan 80A Makro Etsa 83
Gambar 4.30 Kurva Nilai Kekerasan Pengelasan (A) 80A & 120A..... 84
Gambar 4.31 Kurva Nilai Kekerasan Pengelasan (B) 80A & 120A..... 85
Gambar 4.32 Kurva Nilai Kekerasan Pengelasan (C) 80A & 120A..... 85
Gambar 4.33 Struktur mikro *Base Metal* 80A 86
Gambar 4.34 Struktur mikro daerah *HAZ* 80A 87
Gambar 4.35 Struktur mikro daerah *Weld Metal* 80A 87
Gambar 4.36 Struktur mikro daerah *Base Metal* 120A……..……..88
Gambar 4.37 Struktur mikro daerah *HAZ* 120A 88
Gambar 4.38 Struktur mikro daerah *Weld Metal* 120A……..89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Digit Keempat Tipe Selaput dan Arus Listrik 13
Tabel 2.2 Nilai *Chemical Composition* 15
Tabel 2.3 Sifat Mekanik SS400 15
Tabel 2.4 Karakteristik dari 5 elemen pada baja 16
Table 2.5 Klasifikasi Baja Karbon 21
Tabel 2.6 Skala Uji dan Jenis Identor Kekerasan Rockwell ... 26
Table 2.7 Skala Uji Kekerasan *Rockwell* 28
Tabel 3.1 Logam Induk dan Pengisi 45
Tabel 4.1 Logam Induk SS400 57
Tabel 4.2 Parameter Pengelasan 1 57
Tabel 4.3 Parameter Pengelasan 2 57
Tabel 4.4 Heat Input 58
Tabel 4.5 Komposisi Kimia Pada Sertifikat Material 58
Tabel 4.6 Spesifikasi Mesin Uji Impak 59
Tabel 4.7 Data Hasil Energi Impak HAZ 80A 59
Tabel 4.8 Data Hasil Energi Impak HAZ 120A 60
Tabel 4.9 Data Hasil Energi Impak HAZ 80A 62
Tabel 4.10 Data Hasil Energi Impak HAZ 120A 62
Tabel 4.11 Data Proses Pemanasan 64
Tabel 4.12 Data Hasil Energi Impak HAZ 80A 65
Tabel 4.13 Data Hasil Energi Impak HAZ 120A 65
Tabel 4.14 Impak Temperatur HAZ Heat Input 80A & 120A 67
Tabel 4.15 Spesifikasi Mesin Uji Impak 70
Tabel 4.16 Data Hasil Energi Impak Weld 80A 71
Tabel 4.17 Data Hasil Energi Impak Weld 120A 71
Tabel 4.18 Data Hasil Energi Impak Weld 80A 74
Tabel 4.19 Data Hasil Energi Impak Weld 120A 74
Tabel 4.20 Data Proses Pemanasan 76

Tabel 4.21 Data Hasil Energi Impak HAZ 80A..... 77
Tabel 4.22 Data Hasil Energi Impak HAZ 120A..... 77
Tabel 4.23 Impak Temperatur Weld Heat Input 80A &120A 79
Tabel 2.24 Hasil Pengujian Kekerasan Hasil Lasan Heat Input dengan Ampere 80A..... 83
Tabel 2.25 Hasil Pengujian Kekerasan Hasil Lasan Heat Input dengan Ampere 120A..... 84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Weld Specification 7018 ESAB* ..... a
Lampiran 2 *Product Technical Information 7018 ESAB* ..... b
Lampiran 3 Parameter Pengelasan 80A c
Lampiran 4 Parameter Pengelasan 120A ..... d
Lampiran 5 Gambar Analisa Struktur Mikro Image-J 80A Weld Metal ..... e
Lampiran 6 Gambar Analisa Struktur Mikro Image-J 80A Base Metal ..... f
Lampiran 7 Gambar Analisa Struktur Mikro Image-J 80A Haz ..... g
Lampiran 8 Gambar Analisa Struktur Mikro Image-J 120A Weld ..... h
Lampiran 9 Gambar Analisa Struktur Mikro Image-J 120A Base i
Lampiran 10 Gambar Analisa Struktur Mikro Image-J 120A Haz ..... j
Lampiran 11 Perhitungan Luasan Weld Metal 80A dengan Solidwork ..... k
Lampiran 12 Perhitungan Luasan Weld Metal 120A dengan Solidwork l

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan baja pada bidang konstruksi kapal banyak digunakan karena memiliki kekuatan serta ketahanan yang tinggi. Pada industri kapal pengelasan merupakan salah satu proses yang penting. Pengelasan umum digunakan untuk menggabungkan 2 baja menggunakan *filler* atau tanpa *filler*. Ada banyak jenis dari las seperti las listrik, las *metal inert gas* (MIG), las *oxy acetyelene* (karbit), las *tungsten inert gas* (TIG), dan las gesek (friction). Las stik atau las listrik ini biasanya dilakukan secara manual. Berdasarkan *American Welding Society* (AWS) las listrik diaplikasikan pada konstruksi, pipa, struktur mesin, bangunan kapal, pekerjaan fabrikasi, dan pekerjaan perawatan. Kontruksi atau komponen mesin harus mampu menahan beban, baik beban statis maupun beban dinamis. Sehingga jika dalam sebuah kontruksi tersebut terdapat sambungan las, maka sambungan tersebut harus memenuhi kekuatan yang diinginkan agar kontruksi tidak mengalami kegagalan sesuai dengan desain yang direncanakan. Kekuatan sambungan las bergantung dari logam yang akan disambung (base metal), jenis las yang digunakan, *filler* yang digunakan, proses pengelasan dan juru las yang melakukan pengelasan.

Dalam proses pengelasan, tidak dapat dipungkiri akan munculnya bermacam cacat pada hasil lasan atau hasil sambungan las dengan base metal tidak kuat. Hal tersebut bisa terjadi karena salah prosedur proses pengelasan, salah penggunaan filler, ampere, dan juru las yang kurang berpengalaman. Untuk dapat mengetahui hasil kekuatan sambungan las dapat menggunakan salah satu metode yaitu *Destructive Testing (DT)*. DT merupakan

suatu cara pengujian dengan merusak benda yang akan diuji. Dalam pengujian DT terdapat beberapa metode salah satunya adalah *Impact Test*. Pada pengujian impak ini dapat diketahui sambungan lasan mampu menerima gaya impak seberapa besar dan mengetahui sifat mekanik dari material tersebut. Uji impak kali ini peneliti menggunakan variasi temperature (-50°C, 30°C, 400°C). Uji impak ini dapat diaplikasikan untuk segala jenis material baik plat, pipa, ataupun poros pejal namun pengujian disesuaikan dengan standar yang ada.

Sehingga dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan analisa hasil sambungan las pada baja SS400 ketebalan 10mm filler E7018 3,2mm dengan menggunakan jenis pengelasan SMAW dengan adanya varisi heat input. Tujuan dari dilakukannya variasi ini untuk mengetahui perbedaan hasil kekuatan sambungan las heat input dengan pengujian impak variasi temeperatur. Setelah diuji impak hasil sambungan las akan diuji hardness dan mikro untuk mengetahui lebar HAZ dan struktur mikro hasil pengelasan.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang mendorong tugas akhir ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, diantara rumusan tersebut adalah:.

1. Bagaimana pengaruh variasi heat input dengan ampere (80A dan 120A) pada V groove 60° spesimen menggunakan uji impak variasi temperature pada hasil las SMAW SS400 terhadap ketahanan impak variasi temperatur.
2. Bagaimana pengaruh variasi heat input dengan ampere (80A dan 120A) pada V groove 60° spesimen menggunakan uji mikro etsa pada hasil las SMAW SS400 terhadap struktur mikro.

3. Bagaimana pengaruh variasi heat input dengan ampere (80A dan 120A) pada V groove 60° spesimen menggunakan uji kekerasan pada hasil las SMAW SS400 terhadap weld metal, HAZ dan base metal.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penulisan tugas akhir ini, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material awal yang digunakan homogen.
2. Menggunakan proses *SMAW (Shield Metal Arc Weld)* dengan posisi *1G*.
3. *Heat input* dengan *Ampere* yang digunakan adalah 80A, *120*A dan kampuh yang digunakan adalah *bevel groove* 60^{o}.
4. Material yang digunakan adalah SS400 dengan tebal 10 mm.
5. Elektroda yang digunakan adalah E7018 dengan diameter 3.2 m.
6. Pengujian yang dilakukan adalah Pengujiam Impak Temperatur, *Hardness Rockwell* dan Struktur Mikro.
7. Spesimen pengujian impak berdasarkan standar *ASTM*
8. Pengujian impak menggunakan variasi temperature (-50°C, 30°C, 400°C).

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Mengetahui nilai uji impak pada temperature (-50°C, 30°C, 400°C) dari pengelasan *SMAW* variasi heat input dengan ampere 80A dan 120A.
2. Mengetahui nilai kekerasan dari pengelasan SMAW variasi heat input dengan ampere 80A dan 120A.
3. Mengetahui struktur mikro dari dari pengelasan SMAW variasi heat input dengan ampere 80A dan 120A.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh perbedaan heat input terhadap nilai kekerasan dan ketangguhan dari material SS400 pada hasil pengelasan *SMAW* .

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan Penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur
   Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji tarik, kekerasan, dan makro etsa, mikro etsa.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing
   Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.
3. Observasi Data
   Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
4. Analisa Data
   Menganalisa hasil pengujian tarik, kekerasan, dan struktur (mikro dan makro) yang terjadi pada bagian logam hasil las, *HAZ*, dan *Base Metal* setelah dilakukan pengelesan dengan diberikan variasi panas menggunakan buku-buku pedoman.
5. Membuat Kesimpulan
   Setelah menyelesaikan laporan Penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelas mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi alat dan bahan, serta langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengujian metalografi.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Halaman sengaja kami kosongkan

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengelasan

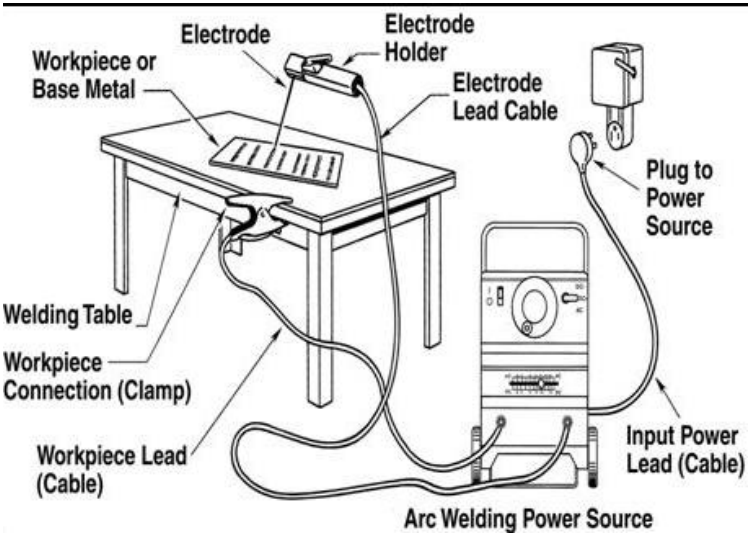
Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu Teknik penyambungan logam dengan cara sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang terus menerus (Wiryosumarto & Okumura, 2000). Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa saluran dan sebagainya.

Disamping untuk pembuatan, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada besi tuang. Membuat lapisan las pada perkakas mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan macam-macam reparasi lainnya. Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan dan memperlihatkan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan kontruksi serta kegunaan disekitarnya.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaanya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar 450^0C – 900^0C, sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari 450^0C.

2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW adalah suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. Proses pengelasan dengan process *SMAW* dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus *AC* dan *DC*, dimana arus *DC* dibedakan atas *DCEN (straight polarity* atau polaritas langsung) dan *DCEP (reverse polarity* atau polaritas terbalik). *Filler* atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda, elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda.



(Refrence [05])

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW

2.2.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) AC

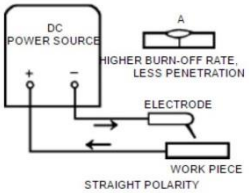
Untuk arus *AC (Alternating Current*), pada *voltage drop* panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai, Secara teknik *arc starting* lebih sulit terutama untuk diameter elektrode kecil.

2.2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) DC

Pada arus *DC (Direct Current*), *voltage drop* sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil, semua jenis elektrode dapat dipakai, *arc starting* lebih mudah terutama untuk arus kecil, mayoritas industri fabrikasi menggunakan *polarity DC* khususnya untuk pengelaan *carbon steel*, namun pada prinsipnya *DC polarity* dibagi kedalam dua bagian, yaitu:

1. *DCSP (Straight Polarity)*

   Prinsip dasarnya material dasar atau material yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) dari travo, dan elektrodenya dihubungkan dengan kutub negatif (-) pada travo las *DC*. Dengan cara ini busur listrik bergerak dari elektrode ke material dasar, yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodenya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dangkal.

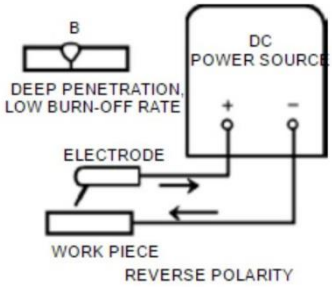


(Refrence [])

Gambar 2.2 Skema Pengelasan DCSP

2. *DCRP (Reversed Polarity)*

Material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodenya dihubugkan dengan kutup positif (+) dari mesin las DC, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dalam.



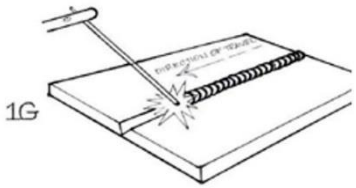
(Refrence [])

Gambar 2.3 Skema Pengelasan DCRP

2.3 Posisi Pada Pengelasan

Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam, yaitu:

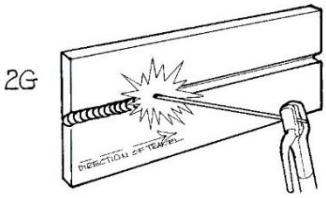
- Posisi (1G)



(Refrence [06])

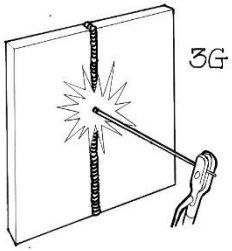
Gambar 2.4 Posisi pengelasan 1G

- Posisi (2G)



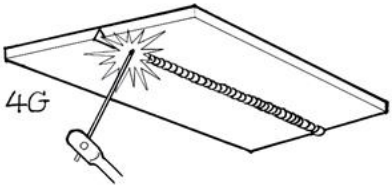
(Refrence [06])
Gambar 2.5 Posisi pengalasan 2G

- Posisi (3G)



(Refrence [06])
Gambar 2.6 Posisi pengelasan 3G

- Posisi (4G)



(Refrence [06])
Gambar 2.7 Posisi pengelasan 4G

2.4 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltase) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut :

Masukan panas : $$\mathbf{HI} = \frac{\mathrm{E \times I \times \eta}}{\mathrm{V}} \qquad \textbf{\textit{[07]}}$$

Dimana: *HI= Masukan panas atau energi (J/min)*
I= Arus (Ampere)
E=Voltase (Volt)
V=Kecepatan pengelasan (mm/s)
η=Efisiensi Panas Las (mm/s)

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

2.5 Kodefikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*flux)* dan tidak bersalut yang merupakan bagian untuk menjepitkan tang las. Fungsi *flux* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem *AWS* (*American Welding Society)* dan *ASTM (American Society Testing Material).*

Adapun kodefikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh : E 70 1 8

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

70 : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

1 : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

8 : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Tabel 2.1 Karakteristik Digit Keempat Tipe Selaput dan Arus Listrik *[08]*

ANGKA	SUMBER ARUS		POLARITAS ELEKTRODA		TIPE SALUTAN	DAYA TEMBUS	KADAR SERBUK BESI
1	AC	DC	+		Cellulose potasium	Kuat	

2	AC	DC		-	Rutile Sodium	Medium	0-10%
3	AC	DC	+	-	Rutile Potasium	Lunak	0-10%
4	AC	DC	+	-	Rutile Iron Powder	Lunak	30-50%
5		DC	+		Low Hydrogen Sodium	Medium	
6	AC	DC		-	Low Hydrogen Potassium	Medium	
7	AC	DC	+	-	Iron Oxyde, Iron Powder	Lunak	50%
8	AC	DC	+		Low Hydrogen, Iron Powder	Medium	30-50%
9	AC	DC					
E601**0**		DC	+		Cellulose Sodium	Kuat	0-10%

E602**0**	AC	DC		-	Iron Oxyde Sodium	Medium	0-10%
E603**0**	AC	DC		-	Iron Oxyde	Lunak	

2.6 Material SS400

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA 36. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini:

Tabel 2.2 Nilai *Chemical Composition*

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk.
Surabaya - Indonesia

MILL TEST CERTIFICATE
ACC. TO EN10204 : 2004 3.1

Purchaser : PT. CAHAYA HIDUP PRIMAKARYA
Jl. Mojoarum 7/26. Mojo Gubeng, Surabaya
Order No. : D - 747 - 2016 PO NO : 909/CHPK/XI/2016
Material : HOT ROLLED STEEL PLATE
Specification : JIS G3101 SS400
Tolerances : JIS G3193

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions (mm) T	W	L	Weight (MT)	Ladle Analysis (%) C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N
							x 10⁻²			x 10⁻³			x 10⁻²			x 10⁻³				
A 1951919	F 31-32	2	10	1820	9600	2.744	12	24	67	13	3	1	1	0	2	7	2	38	1	5
A 1951929	F 51-52	2	"	"	"	2.744														

Tabel 2.3 Sifat Mekanik SS400

Standard	Grade	Mechanical properties					
		Tensile test (transverse)			Impact test		
		Yield strength	Tensile strength	Elongation	Temp.	Average energy J	
		MPa	MPa	%	°C	vert.	trans.
GB/T 700	Q235B	≥235	370-500	≥26	+20	≥27	-
JIS G3101	SS400	≥235	400-510	≥21	-	-	-
ASTM A36	A36	≥250	400-550	≥23	-	-	-
ASTM A283	Gr.C	≥205	380-515	≥22	-	-	-
EN10025	S235JR	≥235	350-510	≥26	+20	≥27	-

Tabel 2.4 Karakteristik dari 5 elemen pada baja *[06]*

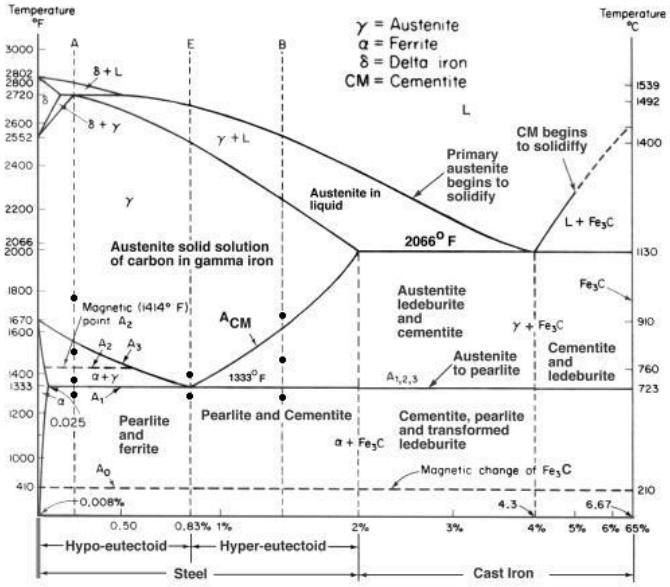
Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silikon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silikon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja	Karena penambahan fosfor

		rapuh, menyebabkan retak dingin.	mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%.
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak panas.	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.

2.7 Diagram Fe-Fe_3C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terabatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (interstisial compound) , eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grait). Diagram keseimbangan sistem paduan besi-karbon cukup kompleks, tetapi

hanya sebagian yang digunakan yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstisialnya. Karbida besi Fe_3C yang mengandung 6,67% C. Diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi-karbida besi, stau disebut dengan diagram Fe-Fe_3C.



(Refrence [09])

Gambar 2.8 Diagram Fe-Fe_3C

Secara garis besar sistem paduan besi-karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang (cast iron). Dari diagram tampak bahwa baja tidak mengandung struktur eutektik, karenanya itu mengapa sifatnya berbeda sekali dengan besi tuang (yang strukturnya eutektik). Nama/istilah yang terdapat pada diagram fase besi-karbida besi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Cementit adalah karbida besi Fe_3C, merupakan senyawa interstisial mengandung 6,67% C. Sangat

keras (± 650 BHN), getas dan kekuatan rendah (± 350 kg/cm2). Struktur Kristal orthorhombik.

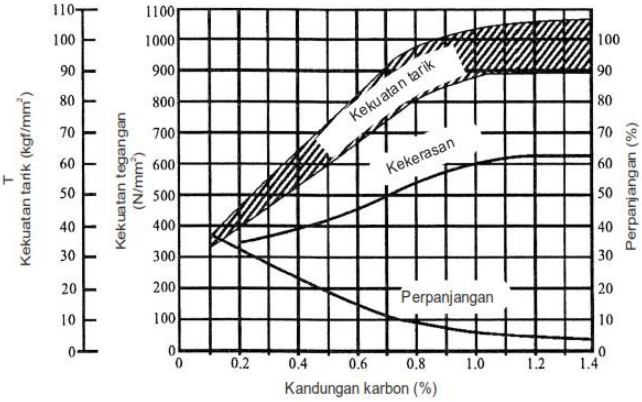
- Austenite adalah larutan padat karbon dalam besi γ. Kekuatan tarik ± 1050 kg/cm2, kekerasan 40 Rc, ketangguhan tinggi. Biasanya tidak stabil pada temperature kamar.
- Ledeburite adalah suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite, mengandung 4,3%C, berbentuk 1130^{o}C.
- Ferrite adalah larutan padat karbon dalam besi α. Kelarutan karbon maksimum 0,025% (pada 723%C), dan hanya 0,008% di temperature kamar. Kekuatan rendah tetapi keuletan tinggi, kekerasan kurang dari 90 RB.
- Pearlite adalah suatu eutectoid mixture dari sementite dan ferrit. Mengandung 0,8% C, berbentuk pada 723°C.
- Lower Critical Temperature (temperature kritis bawah) A1, temperature eutectoid. Pada diagram Fe – Fe3C tampak berupa garis mendatar di temperature 723°C. Pada temperature ini terjadi reaksi eutectoid.
- Upper Critical temperature (temperatur kritis atas) A3, temperature awal terjadinya perubahan allotropic dari γ ke α (pada pendinginan) atau akhir perubahan allotropic dari α ke γ (pada pemanasan.
- Garis solvus Acm merupakan batas kelarutan karbon dalam austennit. Dengan menggunakan diagram keseimbangan memang mungkin dapat diramalkan struktur yang akan terjadi pada suatu paduan (asalkan pada kondisi ekuilibrium atau yang dapat dianggap ekuilibrium), dengan demikian juga akan dapat diramalkan sifatnya.
- 0,008%C = Batas kelarutan maksimum Carbon pada Ferrite pada temperature kamar 0,025%C = Batas

kelarutan maksimum Carbon pada Ferrite pada temperature 723°C

- 0,83%C = Titik Eutectoid 2%C = Batas kelarutan Carbon pada besi Gamma pada temperature 1130 Derajat Celcius 4,3%C = Titik Eutectic 0,1%C = Batas kelarutan Carbon pada besi Delta pada temperature 1493 Derajat Celcius.
- Garis Liquidus ialah garis yang menunjukan awal dari proses pendinginan (pembekuan). Garis Solidus ialah garis yang menunjukan akhir dari proses pembekuan (pendinginan). Garis Solvus ialah garis yang menunjukan batas antara fasa padat denga fasa padat atau solid solution dengan solid solution. Garis Acm = garis kelarutan Carbon pada besi Gamma (Austenite) Garis A3 = garis temperature dimana terjadi perubahan Ferrit menjadi Autenite (Gamma) pada pemanasan.
- Garis A1 = garis temperature dimana terjadi perubahan Austenite (Gamma) menjadi Ferrit pada pendinginan. Garis A0 = Garis temperature dimana terjadi transformasi magnetic pada Cementid. Garis A2 = Garis temperature dimana terjadi transformasi magnetic pada Ferrite.

2.7.1 Kandungan Karbon

Sifat baja berubah sesuai dengan kondisi pembuatan baja dan metode perlakuan panas. Sifat mekanis dari baja besar perbedaannya sesuai dengan kandungan karbon. Umumnya dengan kandungan karbon yang lebih tinggi menaikkan tegangan tarik, titik mulur dan kekerasan tetapi menurunkan *machineability* dan sifat mampu las serta cenderung retak. Maka baja bila akan dilas harus mempunyai kandungan karbon rendah.



(Refrence [10])

Gambar 2.9 Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis

Sehubungan dengan kandungan karbon, baja karbon diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Baja karbon juga dapat diklasifikasikan baja keras yang dapat dikeraskan dan baja lunak yang tidak dapat dikeraskan

Table 2.5 Klasifikasi Baja Karbon *[06]*

Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% sampai 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan.
Baja karbon sedang	0,31% sampai 0,59%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur.
Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% sampai 2,0%	Baja untuk rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur.

2.8 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah sifat yang menyatakan kemampuan suatu material atau komponen untuk menerima beban, gaya dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material atau komponen tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

A. Kekuatan *(Strenght)*

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

B. Kekakuan *(stiffness)*

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk.

C. Kekenyalan *(elasticity)*

Merupakan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan atau dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami perubahan bentuk (deformasi).

D. Plastisitas *(plasticity)*

Merupakan kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastis) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet *(ductile)*, sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas *(brittle)*.

E. Keuletan *(ductility)*

Merupakan kemampuan sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik.

Material yang ulet *(ductile)* ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangan.

F. Ketangguhan *(toughness)*

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

G. Kegetasan *(brittleness)*

Merupakan kemampuan sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanen.

H. Kelelahan *(fatigue)*

Merupakan kemampuan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-balik *(dynamic load)* yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastisnya.

I. Melar *(creep)*

Merupakan kemampuan kecenderungan suatu logam untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastis) bila pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

J. Kekerasan *(hardness)*

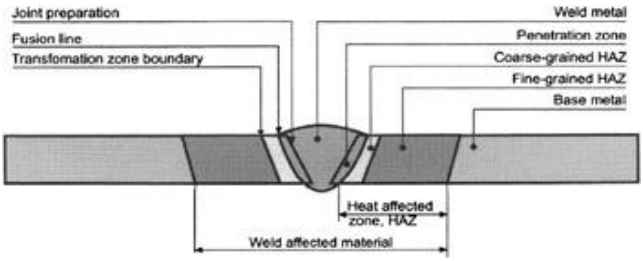
Merupakan kemampuan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan *wear resistance* yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

2.9 *HAZ (Heat Affected Zone)*

Pengelasan logam akan menghasilkan konfigurasi logam lasan dengan tiga daerah pengelasan yaitu pertama daerah logam induk merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan mikrostruktur, kedua adalah daerah terpengaruh panas atau disebut *heat affected zone (HAZ)* merupakan daerah terjadinya pencairan

logam induk yang mengalami perubahan karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan. HAZ merupakan daerah yang paling kritis dari sambungan las, karena selain terjadi perubahan mikrostruktur juga terjadi perubahan sifat. Secara umum daerah HAZ dipengaruhi oleh lamanya pendinginan dan komposisi logam las

.



(Refrence [11])

Gambar 2.10 Daerah HAZ

2.10 Pengujian Material

Proses pengujian material adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur mikro dan makro. Adapun proses pengujiannya dikelompokkan ke dalam tiga kelompok metode pengujian, yaitu :

1. DT *(Destructive Test),* yaitu adalah proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan pada logam yang diuji.
2. NDT *(Non Destructive Test)*, yaitu proses pengujian logam yang tidak menimbulkan kerusakan pada logam atau benda yang diuji.
3. *Metallography*, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat di dalamnya, dan bentuk strukturnya.

Penjelasan mengenai pengujian logam akan dijelaskan lebih lanjut. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai ketiga metode pengujian logam.

2.11 *Hardness Test*

Hardness Test adalah pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan suatu bahan, dalam hal ini kekerasan pada daerah *base metal, weld metal dan HAZ*. Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strenght (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*
2. Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*
3. Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*

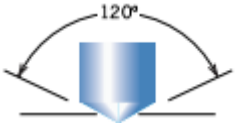
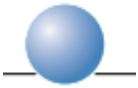
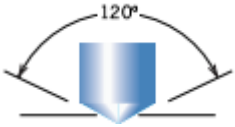
Dari ketiga metode tersebut yang sering digunakan hanya dua saja, *Brinell* dan *Vickers*, namun pada penelitian kali ini akan menggunakan metode *Rockwell.*

2.11.1 Uji Kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone)*. Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indentor, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin tanpa perlu perhitungan tambahan.

Prosedur pengujian kekerasan *Rockwell* dilakukan dengan melakukan identasi dengan beban awal 10 kg (*Minor Weight*), yang menyebabkan kedalaman indentasi h, jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam, kemudian *Mayor Weight* diberikan.

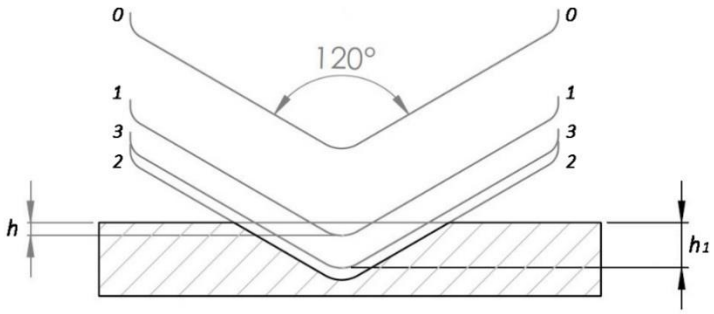
Tabel 2.6 Skala Uji dan Jenis Identor Kekerasan Rockwell *[04]*

Scale	Identor	Mayor Weight (kgf)	Unit
A	 Diamond Cone 120°	60	HRA
B	 Ball Ø 1.588 mm	100	HRB
C	 Diamond cone 120°	150	HRC

Skala B digunakan untuk mengukur logam-logam yang nilai kekerasannya rendah dan menengah, Skala C digunakan untuk mengukur kekerasan logam telah diberi perlakuan khusus, dan Skala A digunakan untuk mengukur logam yang kekerasannya melebihi 70 *Rockwell C* misalnya *Tungsten Carbide Alloy*.

Angka kekerasan *Rockwell* tidak bersatuan, tetapi didahului dengan satu huruf depan yang menyatakan kondisi pengujian. Walau nilai kekerasan *Rockwell*

otomatis terbaca pada mesin, ada metode perhitungan yang dapat digunakan dengan memperhatikan kedalaman identasi (h_1)



(Refrence [04])

Gambar 2.11 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal (minor)

2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh (mayor)

3-3 Penetrsai setelah beban mayor dilepas

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h1) dapat ditulis sebagai berikut.

$$HR_B = 130 - \frac{kedalaman\ identasi\ (mm)}{0.002}$$

$$HR_c = 100 - \frac{kedalaman\ identasi\ (mm)}{0.002}$$

Table 2.7 Skala Uji Kekerasan *Rockwell [04]*

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120º	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120º	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120º	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

2.12 Uji Impak

Sebuah tes untuk mengukur jumlah energi yang diserap saat mematahkan takikan pada benda uji dengan satu pukulan yang dilakukan oleh pendulum. Benda kerja dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Pukulan dilakukan pada permukaan yang sama dengan permukaan takikan dan pada ketinggian tertentu diatasnya.

Dalam hal ini energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul benda uji, berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang dapat diserap oleh benda uji tersebut.

Takik atau notch memegang peranan yang penting terhadap kekuatan impak suatu material. Dua buah benda yang mempunyai luas penampang, penahan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impak yang selalu jauh berbeda akibat perbedaan bentuk takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang bisa berupa bentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan atau korosi lokal yang bisa berdifat sebagai pemusat tegangan *(stress concentration)* Adanya pusat tegangan ini dapat menyebabkan Brittle material yang menjadi patah pada beban dibawah yield strength.

Kekuatan Impak suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah Impak.

2.12.1 Prosedur Pengujian Impak

1) Menyiapkan peralatan yang akan digunakan untuk pengujian
2) Periksa posisi nol mesin dengan menaikkan pendulum ke posisi latch, gerakkan pointer mendekati kapasitas maksimal kisaran yang digunakan, lepaskan pendulum, dan baca nilai yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk. Penunjukan harus menunjukkan nol pada mesin pembaca.

3) Spesimen uji secara termal dikondisikan dan diposisikan pada landasan. Pendulum dilepaskan tanpa getaran, dan spesimen dipukul oleh pemukul. Informasi diperoleh dari mesin dan spesimen yang telah dipukul.
4) Benda uji dijepit pada landasan
5) Untuk melakukan tes, pesrsiapkan mesin dengan cara menaikkan pendulum ke posisi latch, atur indikator energi pada skala maksimum. Posisikan spesimen pada landasan dan lepaskan pendulum.

Tanpa memperhatikan kehilangan energi. Energi yang dipakai untuk mematahkan test piece dapat dihitung dengan penurunan rumus sebagai berikut:

Energi awal (E_0) =W h_0 = $W(L - L.Cos\alpha)$ ……(1)

Energi akhir (E_1) =W h_1 = $W(L - L.Cos\beta)$ ……(2)

Subtitusi persamaan (1) dan persamaan (2)

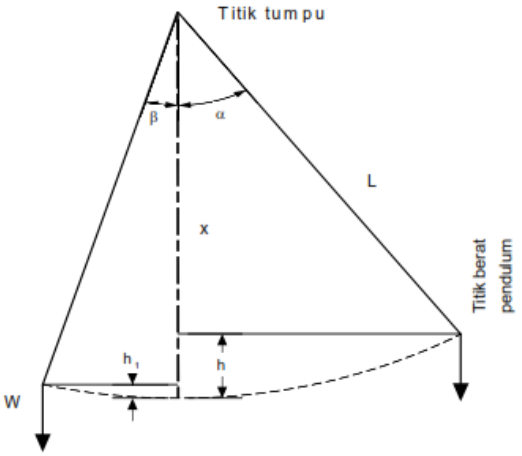
$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = (W(L - L.Cos\alpha)) - (W(L - L.Cos\beta))$$

$$\Delta E = W.L(Cos\beta - Cos\alpha) \quad \ldots\ldots (3)$$

Untuk mendapatkan nilai kekuatan impak ΔE (Joule) dibagi dengan luas penampang benda kerja dibagian yang patah (mm^2)

$$IS = \frac{W.L(Cos\beta - Cos\alpha)}{A}$$



(Refrence [04])

Gambar 2.12 Ayunan Pendulum Alat Uji Impak

Dimana:

W = Berat dari pendulum (kgm)

h_0 = Ketinggian pendulum sebelum diayunkan (m)

h_1 = Ketinggian pendulum setelah keadaan patah (m)

α = Sudut awal (°)

β = Sudut akhir (°)

L = Jarak titik tumpu ke titik berat (m).

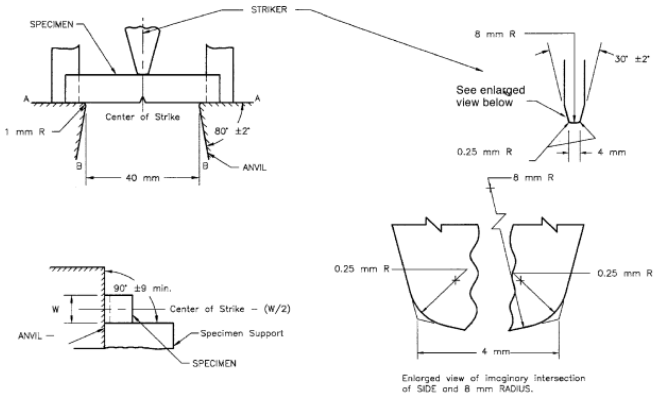
A = Luas penampang test piace bagian yang tertakik (mm2).

IS = Kekuatan Impak (kgm/mm^2) atau (Joule)

2.12.2 Uji Impak Metode Charpy

Pengujian ini terdiri dari mengukur energi yang diserap dalam takikan yang patah pada benda uji oleh satu pukulan dari pemukul yang dibawa oleh pendulum takikan

benda uji berada ditengah-tengah dan dicekam pada setiap ujungnya. Benda uji dicekam secara horizontal pada setiap ujung-ujung benda uji.



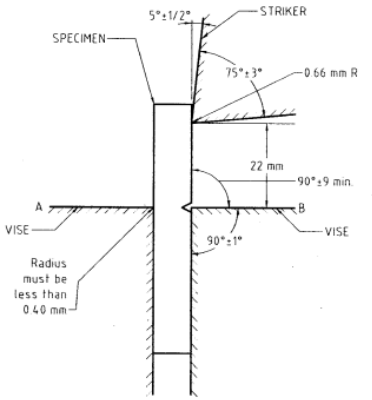
(Refrence [04])

Gambar 2.13 Pemukulan Pada Metode Charpy

Pada metode charpy benda kerja harus diatur secara presisi agar bagian takikan bertemu tengah-tengah dari pemukul.

2.12.3 Uji Impak Metode Izod

Pengujian ini terdiri dari mengukur energi yang diserap dalam takikan yang patah pada benda uji oleh satu pukulan dari pemukul yang dibawa oleh pendulum. Benda kerja dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Pukulan memukul pada permukaan yang sama dengan takikan dan pada ketinggian tertentu diatasnya. Pengujian biasanya dilakukan pada temperatur ruangan di tempat pengujian.



(Refrence [04])

Gambar 2.14 Pemukulan Pada Metode Izod

Pada pengujian metode izod benda kerja harus diatur secara akurat pada posisinya, sehingga bagian tengah dari takikan bertemu permukaan atas pencekam, dan penyimpangan dari bidang takikan dari permukaan atas pencekam hasrus kecil tidak melebihi 0,4 mm.

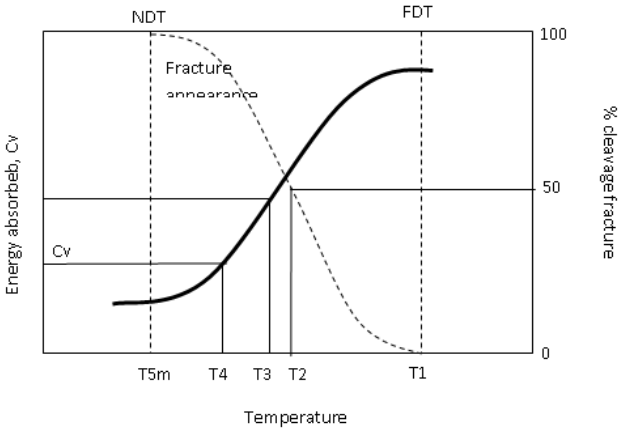
2.12.4 Uji Impak Temperatur Transisi

Temperatur transisi kemampuan suatu material untuk menahan energi impact sangat dipengaruhi oleh temperatur kerja. Pengaruh temperatur terhadap kekuatan impact setiap jenis material berbeda-beda. Pada umumnya kenaikan temperatur akan meningkatkan kekuatan impact logam, sedangkan penurunan temperatur akan menurunkan kekuatan impactnya. Diantara kedua kekuatan impact yang ekstrim tersebut ada suatu titik temperatur yang merupakan transisi dari kedua titik ekstrim tersebut yakni suatu temperatur yang

menunjukkan perubahan sifat material dari ductile menjadi brittle. Titik temperatur tersebut disebut 'temperatur transisi'. Ada 5 kriteria dalam penentuan temperatur transisi :

1. Kriteria pertama adalah T1 dimana temperatur transisi ini diperoleh dari temperatur pada saat material bersifat 100% ductile menuju brittle. Suhu transisi ini sering disebut fracture ductility temperature (FDT).
2. Kriteria ke dua adalah T2 yaitu temperatur transisi ada pada titik dimana fracture appearance berada pada 50% ductile - 50% brittle.
3. Kriteria ke tiga (T3) adalah kriteria yang umum dipakai. Temperatur transisinya diperoleh dari rumus : Is Transisi = (Is tertinggi + Is terendah) / 2.
4. Kriteria ke empat adalah T4 yaitu perubahan material dari ductile-brittle menuju brittle.
5. Kriteria ke lima adalah T5 dimana suhu transisinya diperoleh dari temperatur pada saat material bersifat ductile-brittle menuju brittle 100%.

Temperatur transisi ini sering disebut nil ductility temperature (NDT). Grafik yang menunjukkan temperatur transisi dapat dilihat pada **Gambar 2.15** dibawah ini.



(Refrence [12])

Gambar 2.15 Grafik Temperatur Transisi

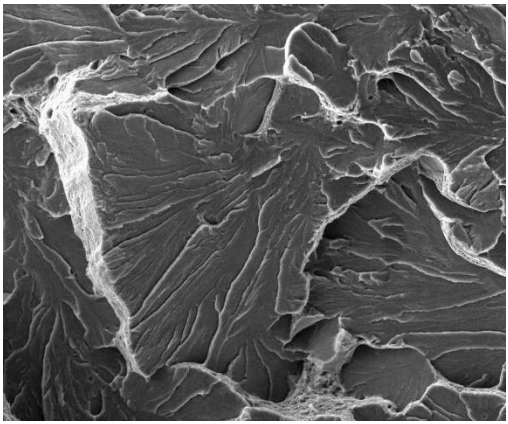
Apabila temperatur operasi dari suatu peralatan berada dibawah temperatur transisi dari material yang digunakan, maka adanya crack pada material fracture akan menyebabkan kerusakan pada peralatan, sedangkan apabila temperatur operasi terendah masih diatas temperatur transisi dari material, maka brittle fracture bukan merupakan masalah.

2.12.5 Macam-Macam Patahan

Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai britlle atau ductile fracture. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis dikatakan patah secara britlle, sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami ductile fracture. Material yang mengalami britlle fracture hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami

kepatahanPatahan yang terjadi akibat pengujian impak ini ada 3 macam antara lain :

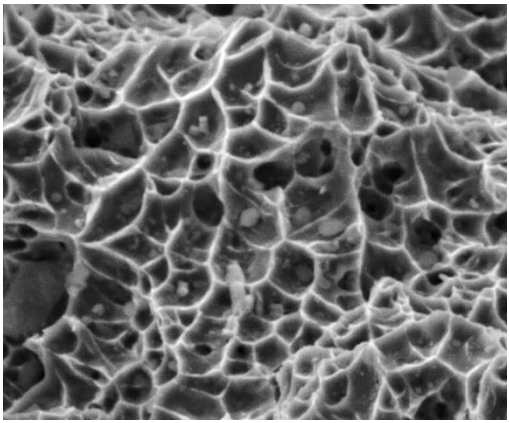
1) Patahan getas (britlle)
   Patahan ini mempunyai bentuk yang rata serta mempunyai permukaan yang mengkilap. Apabila potongan dari patahan britlle ini kita sambungkan kepatahan itu tidak dibarengi dengan deformasinya bahan. Patahan britlle ini mempunyai nilai pukulan takik yang rendah.



(Refrence [13])

Gambar 2.16 Hasil Scan Elektron Patahan Britlle

2) Patahan ulet (ductile)
   Patahan ulet ini mempunyai permukaan patahan yang tidak merata, buram dan berserat. Patahan ulet ini mempunyai nilai pukulan takik yang tinggi.



(Refrence [14])

Gambar 2.17 Hasil Scan Elektron Patahan Ductile

2.13 *Metalography Test*

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography. Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, tembaga yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti *engine block,* piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron dengan perbesaran 50 sampai 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

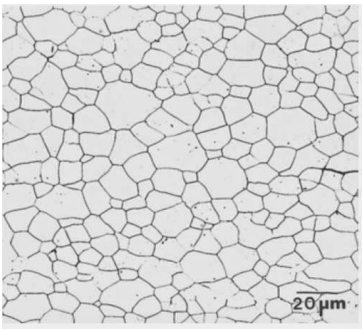
Pengujian metalografi dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro.

- Pengujian mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai

perbesaran 50 sampai dengan 3000 kali, sehingga dapat diketahu sifat, dan struktur dari logam tersebut.

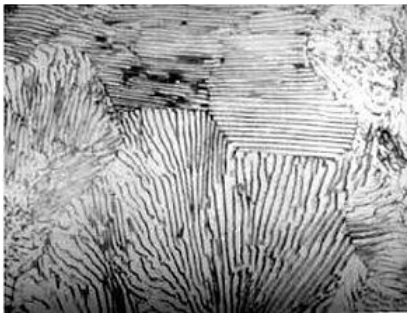
Berikut adalah macam-macam struktur mikro beserta penjelasannya :



(Refrence [15])

Gambar 2.18 *Ferrite*

Ferrit yaitu larutan padatan *interstisial* karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir-butir kristal yang padat berwarna putih terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi *annealing*).

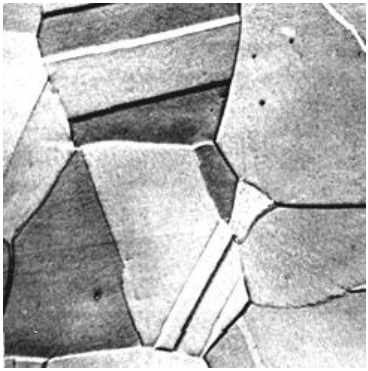


(Refrence [15])

Gambar 2.19 *Pearlite*

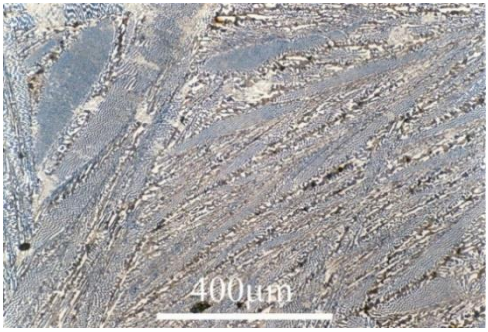
Pearlite yaitu suatu *eutectoid mixture* dari *cementite* dan *ferrite* terdiri dari lapisan *alpha-ferrit* (88%) dan *cementite* (12%)

dengan kadar karbon 0,8%. Berbentuk pipih atau berlapis berwarna kehitaman. Sifat mekanis lunak.



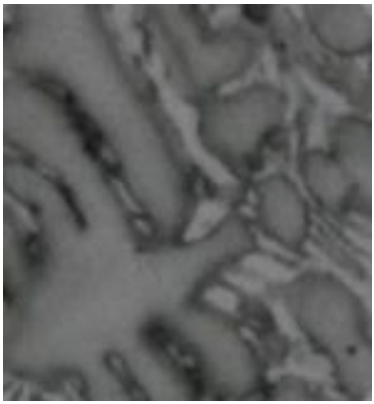
(Refrence [15])
Gambar 2.20 *Austenite*

Autenite yaitu larutan padat *interstisial* karbon dalam besi ɣ dengan kadar karbon 2%. Berbentuk padatan seperti plat. Berwarna abu-abu terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni).



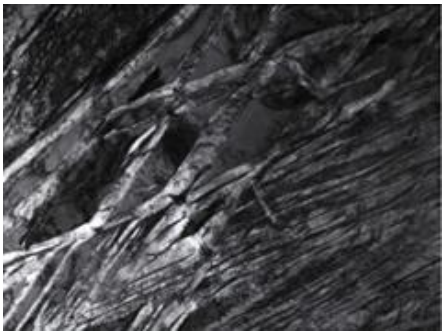
(Refrence [15])
G**ambar 2.21** *Ledeburite*

Ledeburite yaitu suatu *eutectic mixture* dari *austenite* dan *cementite* dengan kadar karbon 4,3%. Berbentuk berbutir-butir berwarna putih dengan bintik-bintik hitam. Sifat mekanis keras.



(Refrence [15])
Gambar 2.22 *Cementite*

Cementite yaitu karbida besi Fe_3C merupakan senyawa *interstisial* dengan kadar karbon 6,67%. Berbentuk jaringan (*network*) berwarna putih. Sifat mekanis sangat keras dan getas.



(Refrence [15])
Gambar 2.23 *Bainite*

Bainite yaitu *aciculer* mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550°C dengan kadar karbon <0,5%. Berbentuk jarum-jarum *aciculer* yang tidak sejajar satu sama lain berwarna abu-abu gelap. Sifat mekanis sangat keras dan getas.

(Refrence [15])
Gambar 2.24 *Martensite*

Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon >0,5%. Berbentuk jarum-jarum pendek berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras.

2.14 Struktur Mikro dan Makro pada Pengelasan

Perubahan metalurgi yang terjadi di las dan HAZ signifikan mempengaruhi kualitas las. Berbagai macam perubahan yang mungkin terjadi tergantung pada berbagai faktor, misalnya :

(a) Sifat material (yaitu fase tunggal, dua-fase)
(b) Sifat *heat thearment* sebelumnya
(c) Sifat *cold working* sebelumnya.

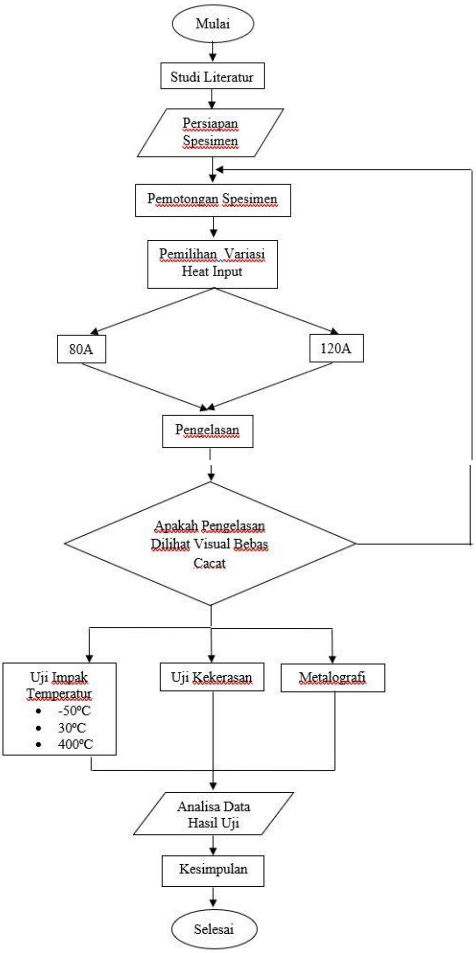
Mempertimbangkan las fusi dua potong bahan fase tunggal, yang telah di *cold working* untuk menghasilkan orientasi yang diinginkan. Butiran *cold working* menghasilkan kekuatan tinggi dan keuletan rendah. Namun, pada gabungan pengelasan,

pertumbuhan butiran bercampur lagi terjadi di daerah *HAZ*, yang pada akhirnya menghasilkan kekuatan rendah. Daerah *HAZ* yang terkena panas, butiran menjadi kasar karena *heat input (annealing)*, dan juga terjadi rekristalisasi parsial. Dengan meningkatnya jarak dari *HAZ*, butiran menjadi lebih halus sampai daerah panas *HAZ* terpengaruh dengan mencapainya butiran yang memanjang.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flow Chart* Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart* Diagram

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2017/2018 yaitu pada bulan Februari sampai dengan Juni 2018.

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab Metalurgi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

3.4 Langkah Kerja

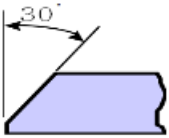
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang kontruksi kapal yaitu penyambungan plat dengan membedakan variasi arus ampere, serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhanya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan-tahapan yang akan dilakukan.

3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur meliputi penggalian teori-teori mengenai objek yang akan diteliti, jurnal dari penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan masalah yang ditemui dan pernah dilakukan penelitian sebelumnya, pemahaman referensi dan data data yang akan dijadikan dasar untuk penyelesaian masalah yang ada. Adapun referensi tersebut dapat berupa *code, standart,* atau *handbook* yang ada. Sehingga dapat menjadi penunjang untuk dijadikan referensi dalam masalah interpass temperatur dalam penelitian yang akan dibuat.

3.4.2 Persiapan Material

Material yang digunakan adalah baja *SS400* dengan tebal 10 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut single V *groove* 60^0 seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Sudut *groove* 30^0

Gambar 3.3 Material Dengan Kampuh 30^0

Tabel 3.1 Logam Induk dan Pengisi

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SS400
Tebal	10 mm
AWS Classification	E 7018
Filler metal diameter (mm)	3,2
Posisi pengelasan	1G

3.4.3 Persiapan Pengelasan

Pengelasan dilakukukan menggunakan *SMAW (DCEP) posisi 1G* dalam penelitian kali ini terdapat perbedaan variasi ampere yaitu:

1. Heat input dengan ampere 80A dan 120A

   Material yang akan dilas menggunakan ampere 80 dan 120 kemudian dicatat nilai ampere aktual menggunakan *amperemeter*, dicatat timing pengelasan setiap layer dan memperhatikan suhu interpass.

2. Material

Material yang digunakan adalah baja plate SS400 dimensi 300 mm x 100 mm dengan tebal 10 mm. yang dapat dilihat pada Gambar 3. berikut ini:

Gambar 3.4 Material plate SS400

3. Elektroda

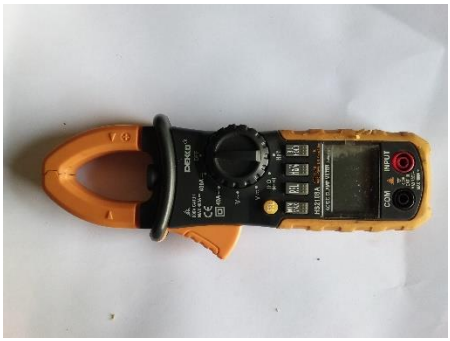
Elektroda yang digunakan pada penelitian ini antara lain elektroda E-7018 dengan merk *ESAB* yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini**:**

Gambar 3.5 Box Elektroda E 7018

4. Amperemeter

Ampermeter dengan merk DEKKO yang berguna untuk melakukan pengukuran besaran arus yang digunakan saat proses pengelasan berlangsung

dan kalibrasi mesin las yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. dibawah ini:



Gambar 3.6 Amperemeter

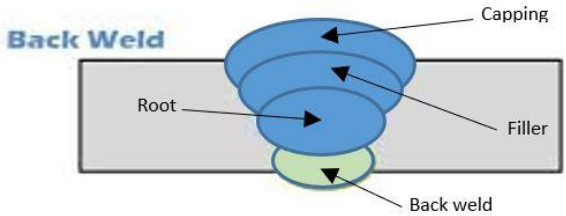
5. Mesin las

Mempersiapkan mesin las yang akan digunakan untuk proses pengelasan yaitu mesin SMAW dengan merk ECHO MMA-205G (DC inverter) yang dapat dilihat pada Gambar 3. dibawah ini:

Gambar 3.7 Mesin las SMAW

3.4.4 Proses Pengelasan

Pada proses kali ini material yang akan dilakukan pengelasan dapat dilihat pada Gambar 3. dibawah ini:



Gambar 3.8 Sketsa Material yang akan Dilas

Pada proses pengelasan kali ini variasi yang digunakan adalah ampere 80A dan 120A.

3.4.5 Persiapan Benda Uji

Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji. Dalam melakukan tes untuk menkan benda uji itu penting dan perlu diperhatikan ketebalanya, itu sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian dan permukaanya, sehingga sesuai dengan aplikasinya.

3.4.6 Pengambilan Test Piece

Untuk pengambilan spesimen, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah Uji Impak (36 spesimen), Kekerasan (2 spesimen) dan Struktur Mikro (2 spesimen).

Gambar 3.9 Spesimen Uji

3.5 Langkah Kerja

Pengujian hasil pengelasan terdiri dari 3 yaitu Uji Impak variasi temperature, uji kekerasan dan uji struktur mikro.

3.5.1 Pengujian Impak

Metode yang digunakan adalah Uji Impak metode Charpy sesuai dengan standard ASTM A370-07a yang merujuk pada ASTM E23. Benda uji yang digunakan di setiap pengujian berjumlah 3.

Gambar 3.10 Alat Uji Impak

Gambar 3.11 Proses Perendaman Spesimen Impak dengan Medium Alkohol dan Dry ice

Gambar 3.12 Proses Pengukuran Temperatur Spesimen Impak Suhu Ruang

Gambar 3.13 Proses Pemanasan Spesimen Impak dengan oven

Langkah-langkah pengujian ini adalah :

1) Membersihkan spesimen dari kerak sisa dari pengelasan.

2) Potong material sesuai standar ASTM E23 55mm x 10mm x 10mm (kedalaman takik 2mm).
3) Beri tanda pada setiap spesimen yang akan di uji agar tidak tertukar.
4) Catat data pada mesin uji impak.
5) Pasang benda kerja pada mesin uji impak.
6) Naikkan pendulum sampai sudut 140°.
7) Tepatkan jarum pada posisi 0°.
8) Ayunkan pendulum.
9) Catat sudut yang ditunjuk oleh jarum penunjuk hasil pengujian.
10) Ambil benda kerja, dan amti jenis patahan yang ada pada benda uji,.

3.5.2 Pengujian Kekerasan.

Dalam pengujian kekerasan, jumlah titik yang diambil ialah 15 titik yaitu pada daerah, *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal. Hardenability Test* yang digunakan adalah kekerasan *Rockwell* skala B dengan acuan standart uji kekerasan ASTM E – 18, yang dinyatakan dalam HRB. Indentor yang digunakan intan dengan sudut 120^{o} dan beban 100 Kg. Dilakukan identasi sebanyak 3 kali di tempat yang berbeda pada setiap benda uji.

Gambar 3.14 Alat Uji Kekerasan *Rockwell*

Merk : AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading : Maximum 100 KP
Minimum 10 KP
Hrb Load : 100 KP
Indentor : Bola Baja 1/16.

Langkah-langkah pengujian ini adalah

1) Permukaan Permukaan (atas dan bawah) specimen harus datar, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, benda asing, maupun cacat.
2) Memasang indentor pada pemegang indentor.
3) Menempatkan indentor pada mesin.
4) Dashpot/pengatur beban diatur pada pembebanan 100 kg (untuk Rockwell B) atau 150 kg (untuk Rockwell C).
5) Putarlah handwheel untuk mengangkat landasan dengan perlahan untuk menaikkan penetrator sampai penunjuk kecilnya berada pada tanda merah dan penunjuk besarnya berputar tiga kali dan berhentilah dengan arah vertical.
6) Putarlah kerangka luar dari indicator untuk mendapatkan garis panjang tertulis di antara garis b dan c sejajar dengan penunjuk besar (diperbolehkan memutar searah jarum jam atau berlawanan jarum jam).
7) Tariklah handle untuk mengaplikasikan gaya uji utama, pada saat itu penunjuk besar dari indicator berputar berlawanan dengan arah jarum jam.
8) Ketika penunjuk indicator berhenti, doronglah handle pelepasnya dengan perlahan untuk melepaskan gaya uji utamanya.
9) Melihat angka kekerasan pada skala dial di mesin (skala merah untuk Rockwell B dan skala hitam untuk Rockwell C).
10) Putarlah handwheel untuk menurunkan dan mengambil benda uji. Apabila ingin mengadakan

pengujian baru, ulangi menurut prosedur nomor 5-9 seperti dijelaskan di atas.

3.5.3 Pengujian Metalography

Untuk proses *Metalography Test* dibagi menjadi 2 yaitu pengamatan makro test dan mikro test.

- Makro test
  Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan (HAZ, Weld Metal dan Base Metal) setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan $HCL+HNO_3+H_2O$., maka bagian *Weld Metal, HAZ*, dan *Base Metal* akan terlihat.
- Mikro test
  Bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik material dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetesan melalui kaca pembesar lensa mikroskop. Sehingga dari permukaan bahan logam yang sangat halus dan bersih akan terlihat bentuk kristal molekul-molekulnya.

Prosedur pengujian *metalography* adalah sebagai beikut:

1. Pemotongan spesimen uji benda kerja di belah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian *metalography* dilakukan pada 2 bidang pada satu spesimen.
2. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan dilakukan menggunakan mesin *grinding* dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 100, 400, 800, 1000, 1500, dan 2000 dengan disertai aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melautkan geram. Setelah menggunakan kertas gosok, spesimen dipoles dengan menggunakan autosol dan kain jeans.

3. Spesimen yang sudah mengkilap disterilkan terlebih dahulu dengan alkohol. Kemudian direndam dalam cairan etsa selama ± 1 menit sampai *weld metal, HAZ,* dan *base metal* terlihat. Kemudian spesimen dikeringkan dengan *hair dryer* dengan cepat. Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan benda uji *(Test piece)*:

Gambar 3.15 Alat dan Bahan untuk Proses Etsa

Gambar 3.16 Larutan Etsa

Gambar 3.17 Kertas Gosok

4. Pengambilan gambar mikro spesimen.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana perbedaan pengaruh heat input dengan ampere 80A dan 120A pada sambungan las baja SS400 yang dilakukan pengelasan SMAW(*Shielded Metal Arc Welding)* melalui 3 pengujian , yaitu *Impact Test, Hardness Test,* Uji Struktur Mikro.

4.1.1 Parameter Pengelasan

Tabel 4.1 Logam Induk SS400

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SS400
Tebal	10 mm
AWS Classification	E 7018
Filler metal diameter	3,2 mm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan 1

Proses	SMAW
Layer number/pass	4
Polaritas	DCEP
Travel speed	341 mm/s
Amperage	80 ampere
Voltage	20 volt
Electrode diameter	3,2 mm

Tabel 4.3 Parameter Pengelasan 2

Proses	SMAW
Layer number/pass	4
Polaritas	DCEP
Travel speed	359 mm/s

Amperage	120 ampere
Voltage	31 volt
Electrode diameter	3,2 mm

Tabel 4.4 Heat Input

Type Elektroda	Arus (I)	Voltase (E)	Travel speed (V)	Heat Input (HI)	Luasan (mm^2)
E 7018 diameter3,2 mm	80 Ampere	20 Volt	341.2 mm/s	3.985J/mm	107,002 mm^2
E 7018 diameter3,2 mm	120 Ampere	31 Volt	359 mm/s	8.808J/mm	157,572 mm^2

Tabel 4.5 Komposisi Kimia Pada Sertifikat Material

Unsur (%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
-	0,12	0,25	1,45	0,03	0,02

4.2 Uji Impak pada HAZ

Pengujian impak ini adalah menggunakan variasi temperature yaitu membandingkan heat input ampere 80A dengan 120A pada bagian HAZ dan Weld Metal. Pengujian impak ini menggunakan variasi temperature (-50ºC, 30ºC dan 400ºC).

4.2.1 Uji Impak HAZ Heat Input 80A & 120A (-50ºC)

Dalam setiap pengujian impak pada material menggunakan sudut α = 140 dan yang perlu diketahui adalah nilai β dan luasan rusak (A).

Tabel 4.6 Spesifikasi Mesin Uji Impak

Mesin Uji	Mesin Uji Impak Charpy
Sudut α (°)	140
W (N)	13.17
R (m)	0.45

Gambar 4.1 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur -50ºC

Dari table pengujian dibawah ini kita dapat mengetahui bahwa baja SS400 memiliki nilai kekuatan impak HAZ pada temperature -50ºC yang rendah karena patahan yang terjadi pada temperature -50ºC adalah patahan granular (kristalin) yaitu ditandai dengan patahan yang datar dan mengkilat.

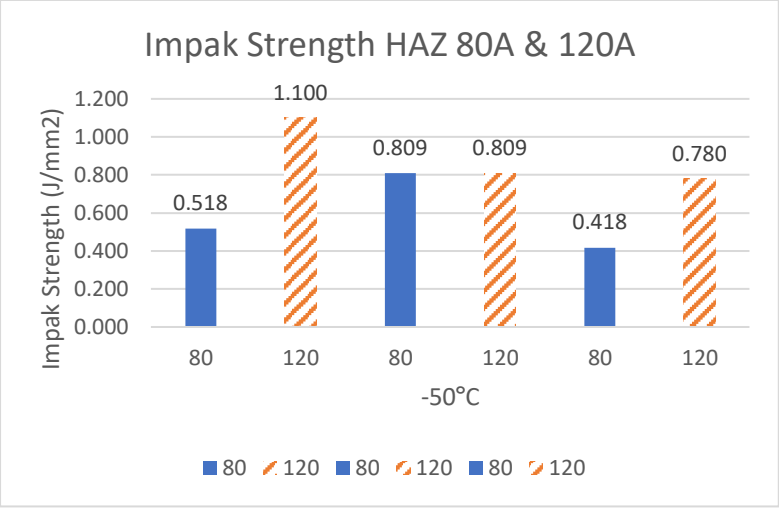
Tabel 4.7 Data Hasil Energi Impak HAZ dengan 80A

Sudut β (º)	A mm²	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
93	80	4.230	41.477	0.053	0.518
78	70	5.772	56.602	0.082	0.809
101	80	3.409	33.430	0.043	0.418
Rata-Rata		4.470	43.836	0.059	0.582

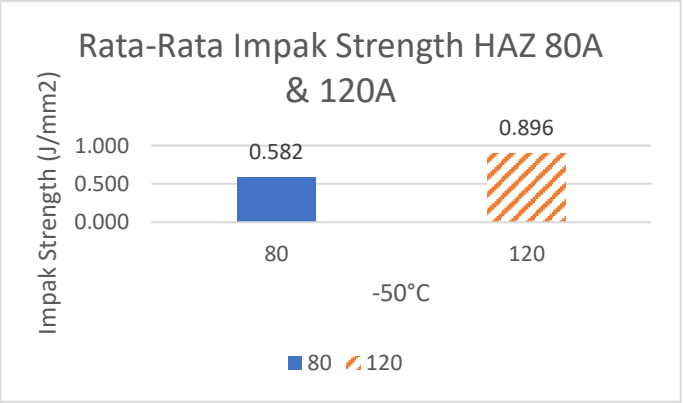
Tabel 4.8 Data Hasil Energi Impak HAZ 120A

Sudut β (°)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
56	70	7.854	77.017	0.112	1.100
78	70	5.772	56.602	0.082	0.809
80	70	5.569	54.610	0.080	0.780
Rata-Rata		6.398	62.743	0.091	0.896

Keterangan :
E = Energi Impak
IS = Kekuatan Impak



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Impak HAZ 80A & 120A Temperatur -50ºC

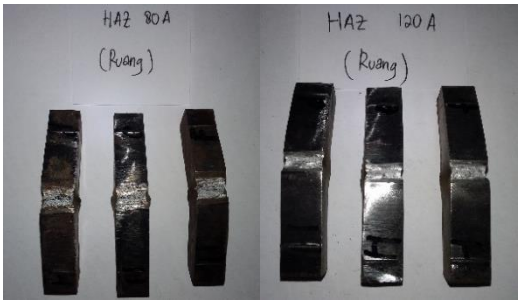


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata - Rata HAZ 80A & 120A Temperatur -50ºC

Kekuatan impak dari material baja S400 pada temperature -50ºC HAZ sangat kecil karena suhu rendah perambatan retak terjadi lebih cepat daripada terjadinya deformasi plastis. Dari gambar grafik kekuatan impak rata-rata 80A & 120A diatas menunjukkan nilai impak HAZ pada heat input dengan ampere 120A lebih besar dari 80A.

4.2.2 Uji Impak HAZ Heat Input 80A & 120A (30ºC)

Dalam pengujian impak ini menggunakan temperature ruang (30ºC) pada HAZ heat input 80A & 120A.



Gambar 4.4 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 30ºC

Dari hasil pengujian kita dapat mengetahui bahwa baja SS400 memiliki nilai kekuatan impak pada temperature 30ºC yang lebih besar dari temperature -50 ºC. Karena patahan yang terjadi adalah patahan berserat yang ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.

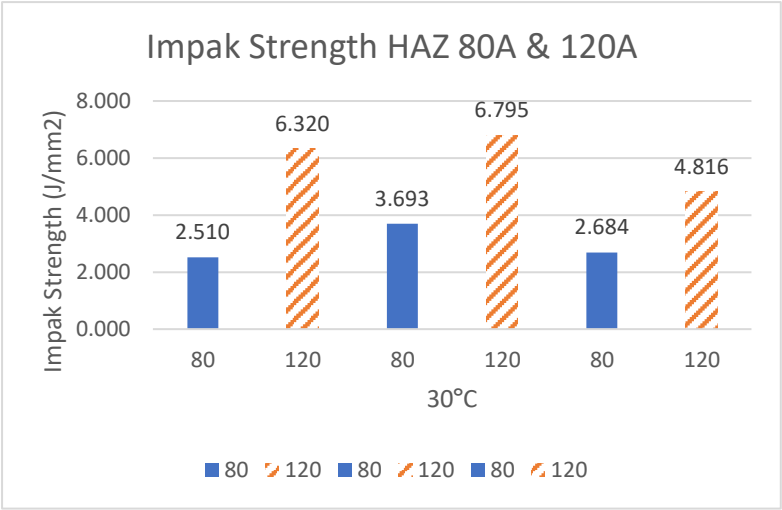
Tabel 4.9 Data Hasil Energi Impak HAZ 80A

Sudut β (º)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
16	40	10.237	100.383	0.256	2.510
11	27.5	10.358	101.566	0.377	3.693
15	37.5	10.265	100.654	0.274	2.684
Rata-Rata		10.286	100.868	0.302	2.962

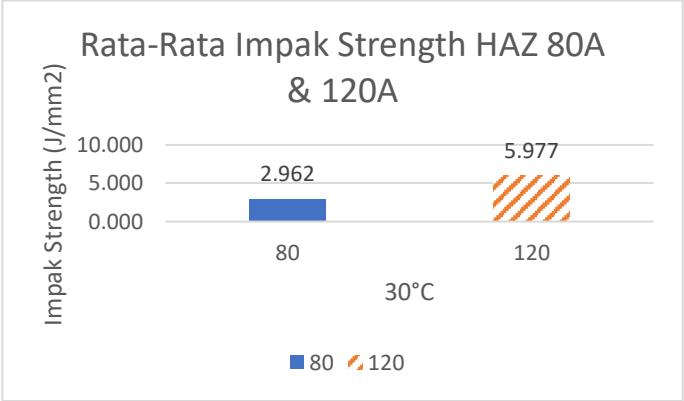
Tabel 4.10 Data Hasil Energi Impak HAZ 120A

Sudut β (º)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
10	14	10.376	101.751	0.644	6.320
9	18	10.393	101.919	0.693	6.795
13	22	10.315	101.145	0.491	4.816
Rata-Rata		10.361	101.605	0.610	5.977

Keterangan :
E = Energi Impak
IS = Kekuatan Impak



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai Impak HAZ 80A & 120A Temperatur 30ºC



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata HAZ 80A & 120A Temperatur 30ºC

Dari data uji impak diatas menunjukan nilai impak rata-rata pada HAZ 120A lebih besar dari pada 80A.

Ketiga repitasi menunjukan bahwa heat input dengan ampere 120 mampu menyerap energi impak lebih baik karena pada daerah HAZ 120A mendapatkan input panas yang lebih tinggi daripada 80A sehingga daerah HAZ 120A menjadi lebih tangguh/ulet.

4.2.3 Uji Impak HAZ Heat Input 80A & 120A (400ºC)

Dalam pengujian impak ini menggunakan temperature ruang (400ºC) pada HAZ 80A & 120A.

Tabel 4.11 Data Proses Pemanasan

Data Pemanasan Spesimen Impak SS400	
Tempat	Furnace
Temperatur Ruang	32ºC
Temperatur Pemanasan	400ºC
Waktu Penahanan	60 Menit

Dari hasil pengujian kita dapat mengetahui bahwa baja SS400 memiliki nilai kekuatan impak pada temperature 400ºC yang lebih besar dari temperature 30ºC. Karena patahan yang terjadi adalah patahan berserat yang ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.

Gambar 4.7 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 400ºC

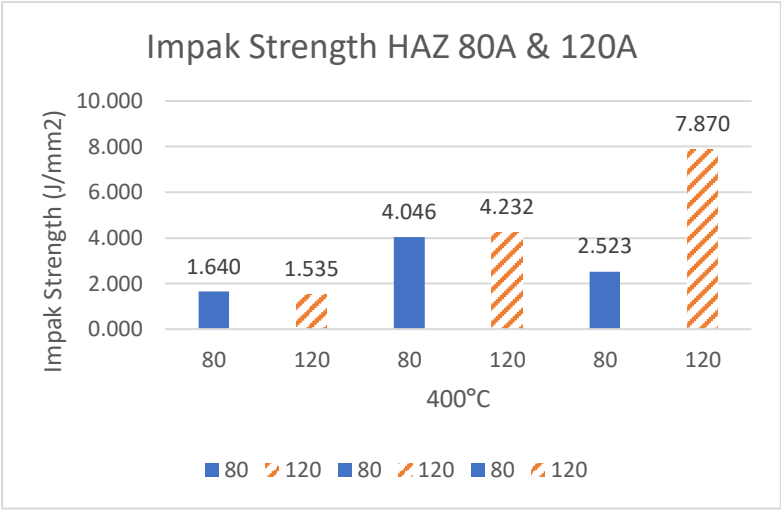
Tabel 4.12 Data Hasil Energi Impak HAZ Heat Input 80A

Sudut β (º)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
22	60	10.035	98.402	0.167	1.640
13	25	10.315	101.145	0.413	4.046
14	40	10.290	100.908	0.257	2.523
Rata-Rata		10.213	100.213	0.279	2.736

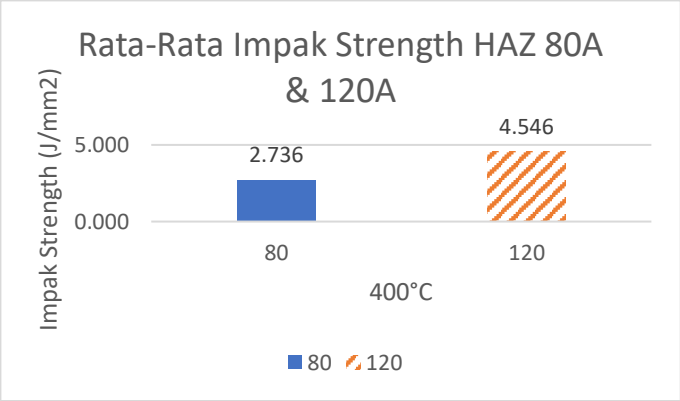
Tabel 4.13 Data Hasil Energi Impak HAZ Heat Input 120A

Sudut β (º)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
35	60	9.395	92.124	0.157	1.535
11	24	10.358	101.566	0.432	4.232
6	13	10.434	102.316	0.803	7.870
Rata-Rata		10.062	98.669	0.464	4.546

Keterangan :
E = Energi Impak
IS = Kekuatan Impak



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Nilai Impak HAZ Heat Input 80A & 120A Temperatur 400ºC



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata HAZ Heat Input 80A & 120A Temperatur 400ºC

Dari data uji impak diatas menunjukan nilai impak rata-rata pada HAZ 120A lebih besar dari pada 80A.

Ketiga repitasi menunjukan bahwa heat input dengan ampere 120 mampu menyerap energi impak lebih baik karena pada daerah HAZ 120A mendapatkan input panas yang lebih tinggi daripada 80A sehingga daerah HAZ 120A menjadi lebih tangguh/ulet.

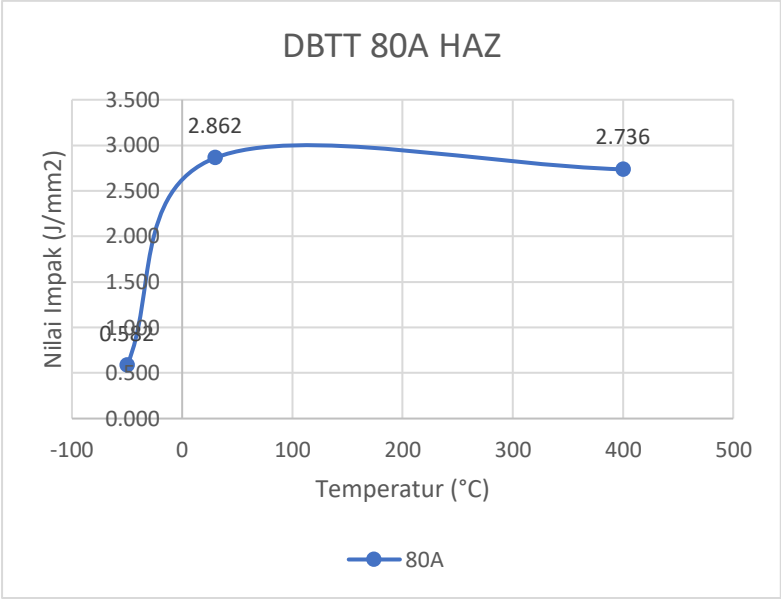
4.2.4 Impak Temperatur HAZ Heat Input 80A & 120A

Pada sub bab ini akan dibahas tentang nilai suhu transisi pada hasil pengelasan SMAW 80A dengan filler E7018 pada HAZ dan Weld Metal.

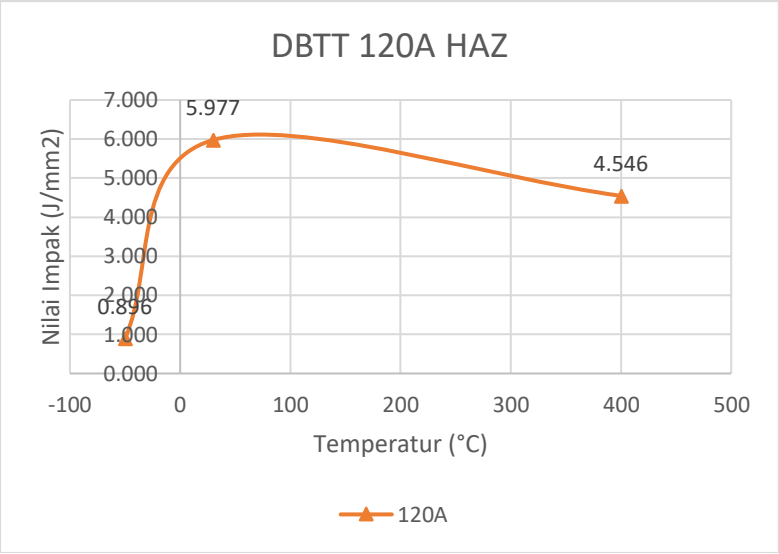
Gambar 4.10 Spesimen Hasil Pengujian Impak

Tabel 4.14 Impak Temperatur HAZ Heat Input 80A & 120A

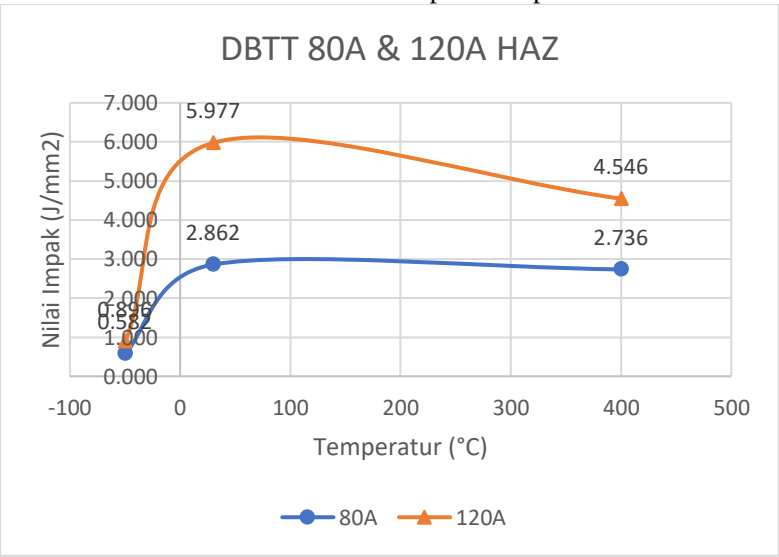
80A	TEMPERATUR	RATA2 IMPAK
	SUHU	IS(J/mm2)
	-50	0.582
	30	2.862
	400	2.736
120A	TEMPERATUR	RATA2 IMPAK
	SUHU	IS(J/mm2)
	-50	0.896
	30	5.977
	400	4.546



Gambar 4.11 Kurva Nilai Impak Temperatur HAZ 80A



Gambar 4.12 Kurva Nilai Impak Temperatur HAZ 120A



Gambar 4.13 Kurva Perbandingan Nilai Impak Temperatur HAZ 80A & 120A

Dari kurva DBTT heat input 80A dan 120A pada HAZ diatas dapat disimpulkan temperature berpengaruh terhadap ketahanan impak. Nilai Is tertinggi kondisi material adalah ductile terdapat pada hasil impak temperature 30ºC. Kemudian temperatur dibawah suhu 30ºC merupakan temperatur transisi dimana patahan yang terjadi adalah patahan campuran (ductile ke brittle). Dan hasil ketahanan impak terendah terdapat pada temperature -50ºC karena patahan yang terjadi adalah brittle. Semakin tinggi suhu yang diterima semakin cenderung material menjadi ductile dan berlaku pula sebaliknya semakin rendah suhu yang diterima material maka semakin cenderung material menjadi brittle. Dan berdasarkan hasil perbandingan nilai impak temperature di HAZ **Gambar 4.13** mendapat hasil bahwa semakin tinggi heat input pada pengelasan SMAW maka semakin tinggi ketahanan impaknya.

4.3 Uji Impact pada Weld Metal

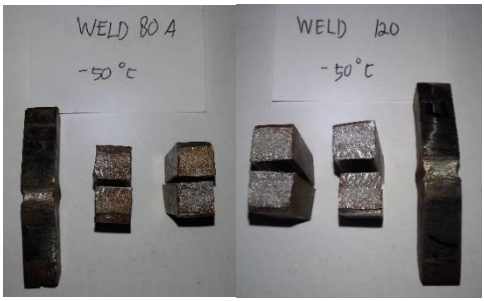
Pengujian impak ini adalah menggunakan variasi temperature yaitu membandingkan heat input dengan ampere 80A dan 120A pada bagian HAZ dan Weld Metal. Pengujian impak ini menggunakan variasi temperature (-50ºC, 30ºC dan 400ºC).

4.3.1 Uji Impak WELD Heat Input 80A & 120A (-50ºC)

Dalam setiap pengujian impak pada material menggunakan sudut α = 140 dan yang perlu diketahui adalah nilai β dan luasan rusak (A).

Tabel 4.15 Spesifikasi Mesin Uji Impak

Mesin Uji	Mesin Uji Impak Charpy
Sudut α (º)	140
W (N)	13.17
R (m)	0.45



Gambar 4.14 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur -50ºC

Dari table pengujian dibawah ini kita dapat mengetahui bahwa baja SS400 memiliki nilai kekuatan impak HAZ pada temperature -50ºC yang rendah karena patahan yang terjadi pada temperature -50ºC adalah patahan granular (kristalin) yaitu ditandai dengan patahan yang datar dan mengkilat.

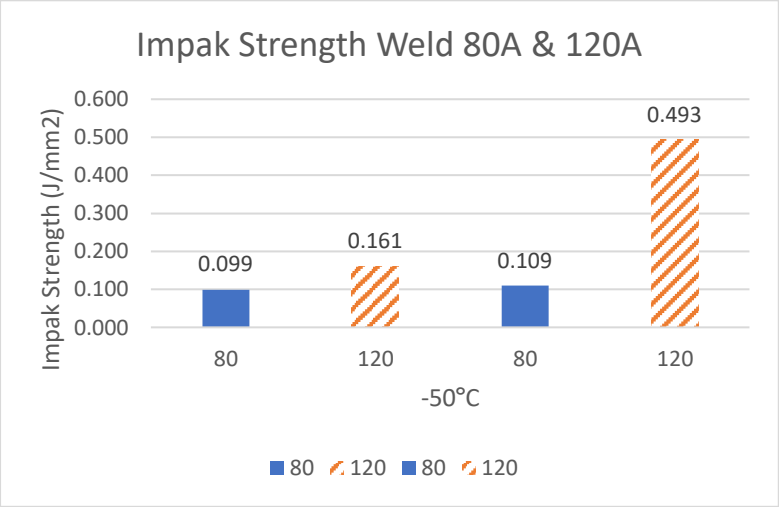
Tabel 4.16 Data Hasil Energi Impak WELD Heat Input 80A

Sudut β (º)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
128	80	0.891	8.740	0.011	0.109
129	80	0.810	7.946	0.010	0.099
Rata-Rata		0.851	8.343	0.011	0.104

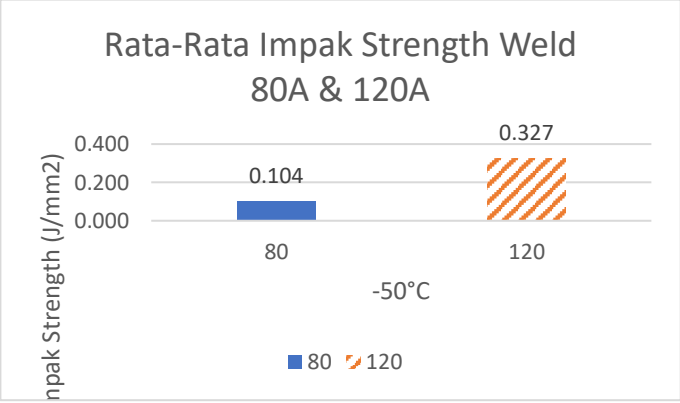
Tabel 4.17 Data Hasil Energi Impak WELD Heat Input 120A

Sudut β (º)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
123	80	1.312	12.867	0.016	0.161
95	80	4.023	39.454	0.050	0.493
Rata-Rata		2.668	26.160	0.033	0.327

Keterangan :
E = Energi Impak
IS = Kekuatan Impak



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai Impak Weld 80A & 120A Temperatur -50ºC



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata Weld 80A & 120A Temperatur -50ºC

Kekuatan impak dari material baja S400 pada temperature -50ºC HAZ sangat kecil karena suhu rendah perambatan retak terjadi lebih cepat daripada terjadinya deformasi plastis. Dari gambar grafik kekuatan impak rata-rata heat input 80A dan 120A diatas menunjukkan nilai impak HAZ pada heat input dengan ampere 120A lebih besar dari 80A.

4.3.2 Uji Impak WELD Heat Input 80A & 120A (30ºC)

Dalam pengujian impak ini menggunakan temperature ruang (30ºC) pada HAZ heat input 80A & 120A.

Gambar 4.17 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 30ºC

Dari hasil pengujian kita dapat mengetahui bahwa baja SS400 memiliki nilai kekuatan impak pada temperature 30ºC yang lebih besar dari temperature -50 ºC. Karena patahan yang terjadi adalah patahan berserat yang ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.

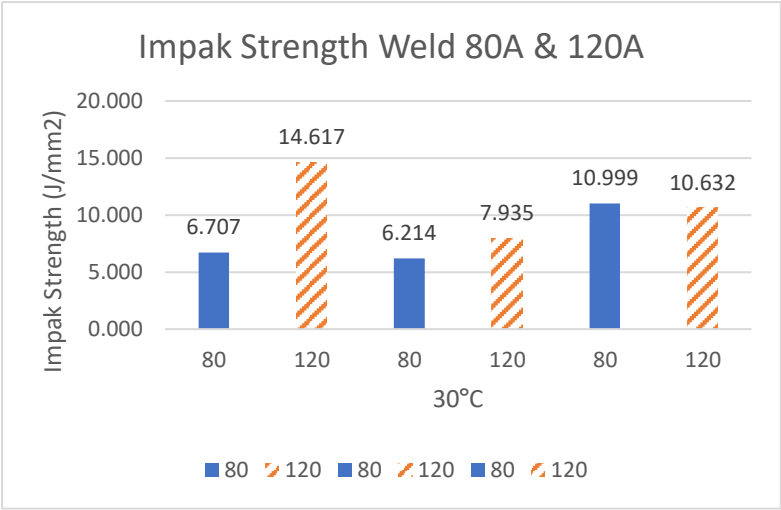
Tabel 4.18 Data Hasil Energi Impak WELD Heat Input 80A

Sudut β (°)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
13	15	10.315	101.145	0.684	6.707
14	16.2	10.290	100.908	0.634	6.214
8	9.2	10.409	102.069	1.122	10.999
Rata-Rata		10.338	101.374	0.813	7.973

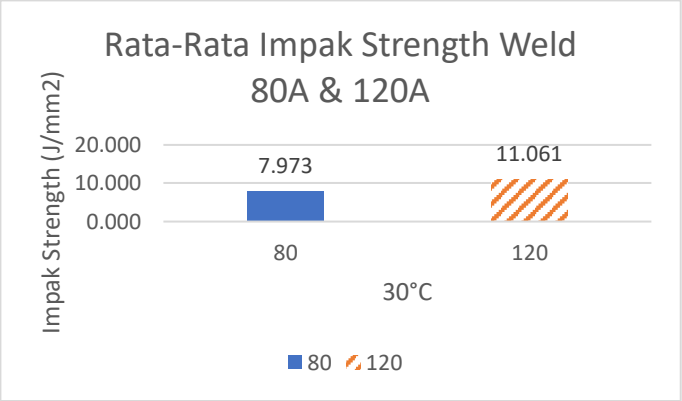
Tabel 4.19 Data Hasil Energi Impak WELD Heat Input 120A

Sudut β (°)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
6	7	10.434	102.316	1.491	14.617
11	12.8	10.358	101.566	0.809	7.935
8	9.6	10.409	102.069	1.084	10.632
Rata-Rata		10.400	101.984	1.128	11.061

Keterangan :
E = Energi Impak
IS = Kekuatan Impak



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai Impak Weld Heat Input 80A & 120A Temperatur 30ºC



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Nilai Impak Rata- Rata Weld Heat Input 80A & 120A Temperatur 30ºC

Dari data uji impak diatas menunjukan nilai impak rata-rata pada HAZ 120A lebih besar dari pada 80A.

Ketiga repitasi menunjukan bahwa heat input dengan ampere 120 mampu menyerap energi impak lebih baik karena pada daerah HAZ 120A mendapatkan input panas yang lebih tinggi daripada 80A sehingga daerah HAZ 120A menjadi lebih tangguh/ulet.

4.3.3 Uji Impak WELD Heat Input 80A & 120A (400^{o}C)

Dalam pengujian impak ini menggunakan temperature ruang (400^{o}C) pada HAZ 80A & 120A.

Tabel 4.20 Data Proses Pemanasan

Data Pemanasan Spesimen Impak SS400	
Tempat	Furnace
Temperatur Ruang	32^{o}C
Temperatur Pemanasan	400^{o}C
Waktu Penahanan	60 Menit

Dari hasil pengujian kita dapat mengetahui bahwa baja SS400 memiliki nilai kekuatan impak pada temperature 400^{o}C yang lebih besar dari temperature 30^{o}C. Karena patahan yang terjadi adalah patahan berserat yang ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.

Gambar 4.20 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 400^{o}C

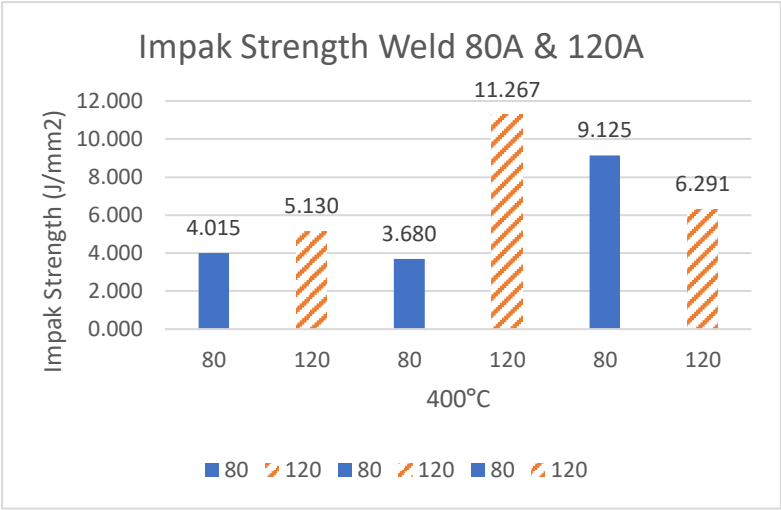
Tabel 4.21 Data Hasil Energi Impak Weld Heat Input 80A

Sudut β (°)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
16	25	10.237	100.383	0.409	4.015
17	27.2	10.208	100.095	0.375	3.680
7	11.2	10.422	102.201	0.931	9.125
Rata-Rata		10.289	100.893	0.572	5.607

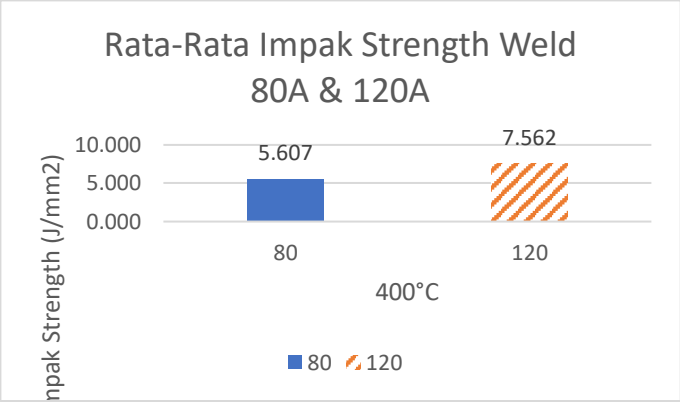
Tabel 4.22 Data Hasil Energi Impak Weld Heat Input 120A

Sudut β (°)	A mm^2	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
11	19.8	10.358	101.566	0.523	5.130
5	9.09	10.444	102.413	1.149	11.267
9	16.2	10.393	101.919	0.642	6.291
Rata-Rata		10.398	101.996	0.771	7.562

Keterangan :
E = Energi Impak
IS = Kekuatan Impak



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai Impak Weld Heat Input 80A & 120A Temperatur 400ºC



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Nilai Impak Weld Rata-Rata Heat Input 80A & 120A Temperatur 400ºC

Dari data uji impak diatas menunjukan nilai impak rata-rata pada HAZ 120A lebih besar dari pada 80A. Ketiga repitasi menunjukan bahwa heat input dengan

ampere 120 mampu menyerap energi impak lebih baik karena pada daerah HAZ 120A mendapatkan input panas yang lebih tinggi daripada 80A sehingga daerah HAZ 120A menjadi lebih tangguh/ulet.

4.3.4 Impak Temperatur WELD Heat Input 80A & 120A

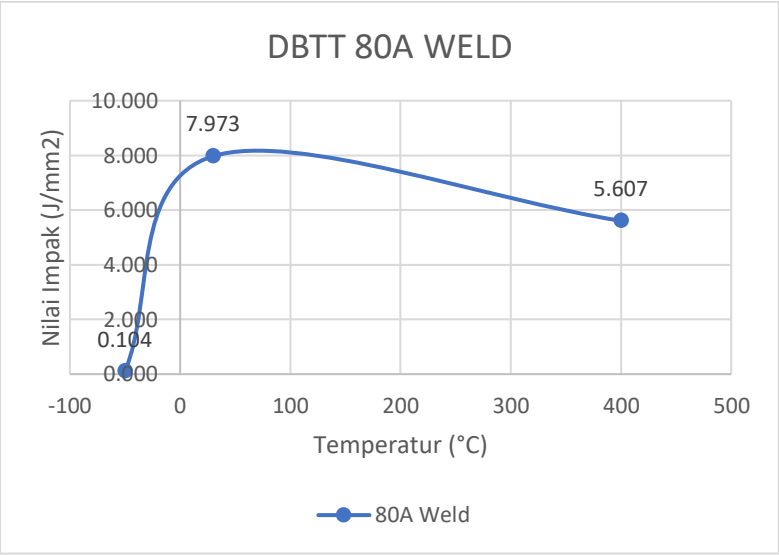
Pada sub bab ini akan dibahas tentang nilai suhu transisi pada hasil pengelasan SMAW 80A dengan filler E7018 pada Weld Metal.

Gambar 4.23 Spesimen Hasil Pengujian Impak Temperatur 30ºC

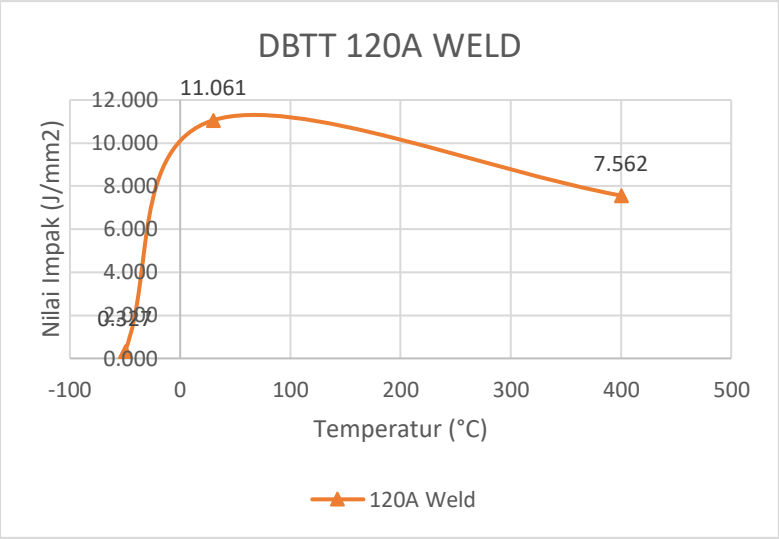
Tabel 4.23 Impak Temperatur Heat Input WELD 80A & 120A

80A	TEMPERATUR	RATA2 IMPAK
	SUHU	IS(J/mm2)
	-50	0.104
	30	7.973
	400	5.607
120A	TEMPERATUR	RATA2 IMPAK
	SUHU	IS(J/mm2)

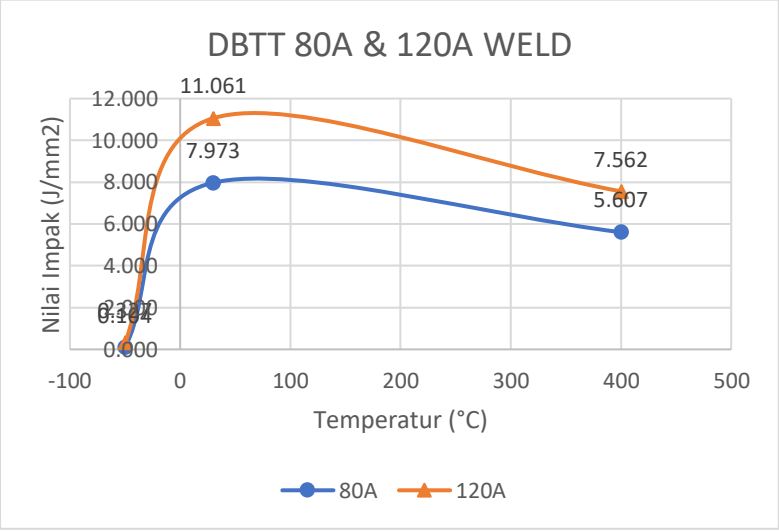
	-50	0.327
	30	11.061
	400	7.562



Gambar 4.24 Kurva Nilai Impak Temperatur Weld 80A



Gambar 4.25 Kurva Nilai Impak Temperatur Weld 120A

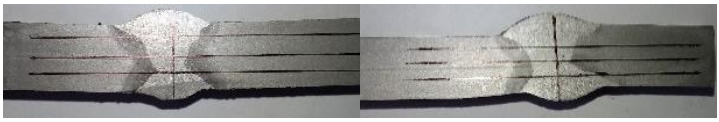


Gambar 4.26 Kurva Perbandingan Nilai Impak Temperatur Weld 80A & 120A

Dari kurva DBTT heat input 80A dan 120A diatas dapat disimpulkan temperature berpengaruh terhadap ketahanan impak. Nilai Is tertinggi kondisi material adalah ductile terdapat pada hasil impak temperature 30ºC. Kemudian temperatur dibawah suhu 30ºC merupakan temperatur transisi dimana patahan yang terjadi adalah patahan campuran (ductile ke brittle). Dan hasil ketahanan impak terendah terdapat pada temperature -50ºC karena patahan yang terjadi adalah brittle. Semakin tinggi suhu yang diterima semakin cenderung material menjadi ductile dan berlaku pula sebaliknya semakin rendah suhu yang diterima material maka semakin cenderung material menjadi brittle. Dan berdasarkan hasil perbandingan nilai impak temperature di weld metal **Gambar 4.26** mendapat hasil bahwa semakin tinggi heat input pada pengelasan SMAW maka semakin tinggi ketahanan impaknya.

4.4 Uji Kekerasan Hasil Pengelasan 80A & 120A

Uji kekerasan pada hasil pengelasan SMAW DCEP E7018 pada material SS400 tebal 10mm variasi pengelasan 80A dan 120A. Pengujian kekerasan untuk mencari nilai kekerasan pada Base Metal, HAZ dan Weld Metal. Pengujian kekerasan sebanyak 3 kali dalam 1 spesimen dengan 20 kali identasi pada 1 layer kekerasan. Pengukuran jarak identasi menggunakan janka sorong dengan ketelitian 0.02mm merk Einhill.

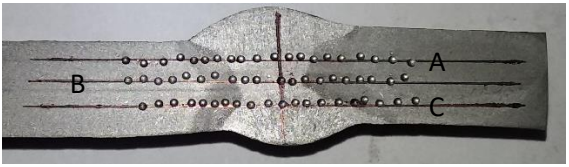


Gambar 4.27 Gambar Sket Uji Kekerasan 80A dan 120A Makro Etsa

Gambar 4.28 Gambar Spesimen Uji Kekerasan 80A Makro Etsa

Tabel 4.24 Hasil Pengujian Kekerasan Hasil Lasan Heat input dengan ampere 80A

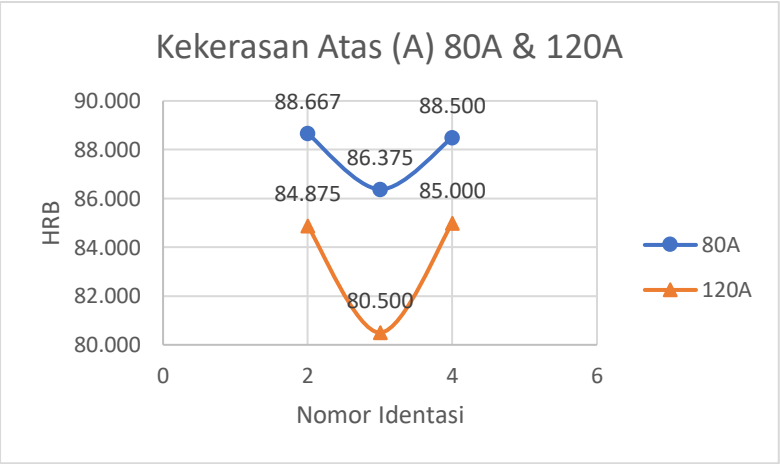
		No	Lebar	Hasil	Rata-Rata		No	Lebar	Hasil	Rata-Rata		No	Lebar	Hasil	Rata-Rata
Kekerasan Atas (A)	80A	1	7.56mm	83		Kekerasan Tengah (B)	80A	1	10.02mm	82.5		Kekerasan Bawah (C)	80A	1	9.02mm	83	
		2		83				2		84				2		83.5	
		3		84.5				3		85				3		83.5	
		4		83				4		83.5				4		84	
		5		84.5				5		84				5		84	
		6	3.82mm	88	88.667			6		83				6		85.5	
		7		89				7	3.08mm	87	87.750			7	3.08mm	89	91.000
		8		89				8		88.5				8		91	
		9	8.04mm	87.5	86.375			9	5.58mm	88	87.500			9		93	
		10		86.5				*10		86.5				10	5.50mm	89.5	89.750
		*11		86				11		88				11		91	
		12		85.5				12	3.00mm	90.5	90.000			*12		90	
		13	3.08mm	88	88.500			13		89.5				13		88.5	
		14		89				14	11.54mm	83.5				14	3.52mm	96	91.000
		15	10.12mm	83				15		84				15		92	
		16		83				16		84				16		85	
		17		81.5				17		83				17	6.14mm	83	
		18		81				18		83				18		81	
		19		81				19		83				19		83	
		20		82				20		83.5				20		84	
Ket:			BM Kiri		HAZ Kiri				Weld Metal		HAZ Kanan				BM Kanan		



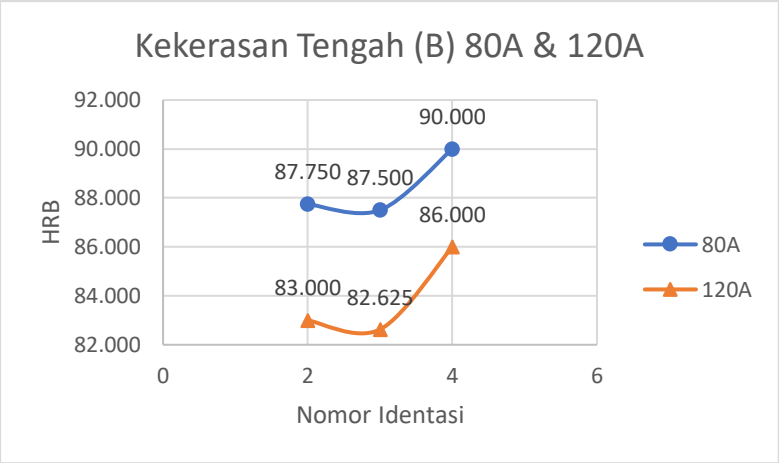
Gambar 4.29 Gambar Spesimen Uji Kekerasan 120A Makro Etsa

Tabel 4.25 Hasil Pengujian Kekerasan Hasil Lasan Heat input dengan ampere 120A

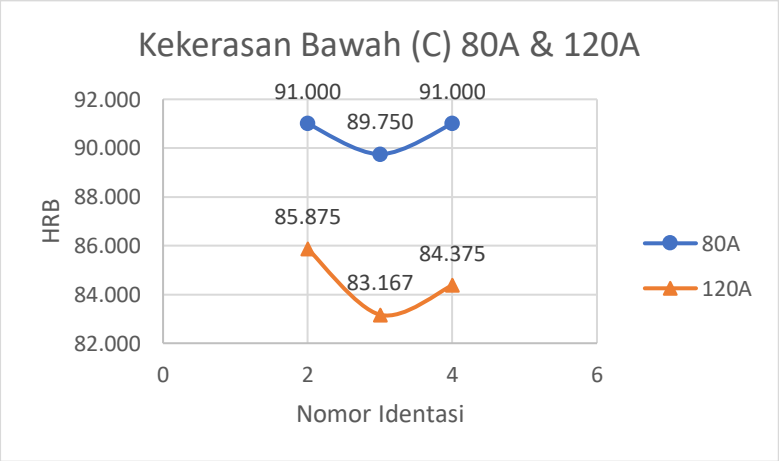
		No	Lebar	Hasil	Rata-Rata		No	Lebar	Hasil	Rata-Rata		No	Lebar	Hasil	Rata-Rata
Kekerasan Atas (A)	120A	1	5.02mm	77		Kekerasan Tengah (B)	1	6.06mm	81		Kekerasan Bawah (C)	1	5.14mm	82.5	
		2		82			2		82			2		81	
		3		80.5			3		83.5			3		82	
		4	4.08mm	84	84.875		4		81			4		80.5	
		5		84.5			5		81			5	4.52mm	85	85.875
		6		85			6	3.50mm	83	83.000		6		86.5	
		7		86			7		82			7		86.5	
		8	8.52mm	83.5	80.500		8		84			8		85.5	
		9		81			9	6.12mm	84	82.625		9	8.06mm	80	83.167
		10		79			10		84			10		84.5	
		*11		79.5			*11		80			*11		83.5	
		12		79			12		82.5			12		83.5	
		13		81			13	5.52mm	87	86.000		13		82.5	
		14	3.24mm	87	85.000		14		87			14		85	
		15		83			15		87			15	4.16mm	83	84.375
		16		85			16		85			16		85.5	
		17	5.08mm	83			17		84			17		86	
		18		82.5			18	4.10mm	83.5			18		83	
		19		81			19		82			19	2.52mm	79.5	
		20		80			20		82			20		80.5	
Ket:			BM Kiri		HAZ Kiri			Weld Metal		HAZ Kanan			BM Kanan		



Gambar 4.30 Kurva Nilai Kekerasan Pengelasan (A) 80A & 120A



Gambar 4.31 Kurva Nilai Kekerasan Pengelasan (B) 80A & 120A

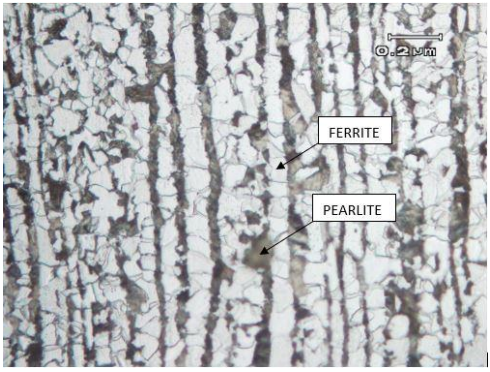


Gambar 4.32 Kurva Nilai Kekerasan Pengelasan (C) 80A & 120A

Dari kurva hasil pengujian kekerasan diatas didapat data bahwa hasil lasan heat input dengan ampere 80 pendinginan lambat (udara) mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 91HRB yaitu pada posisi HAZ kanan dan kiri (kekerasan bawah C). Selanjutnya pada hasil lasan heat input dengan ampere 120 pendinginan lambat (udara) mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 86HRB yaitu pada HAZ Kanan (kekerasan tengah B). Dari hasil tersebut menandakan bahwa semakin rendah heat input yang diberikan pada proses pengelasan semakin keras pula hasil lasannya. Dan dari pengujian diatas didapatkan kekerasan paling tinggi terdapat pada HAZ.

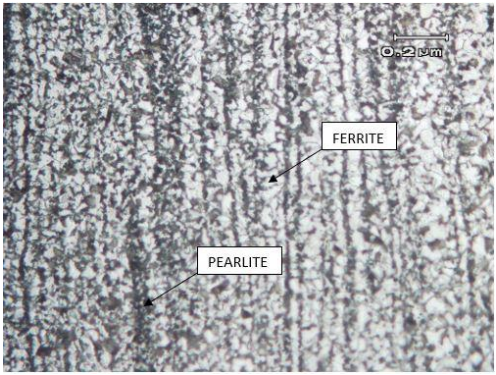
4.5 Uji Struktur Mikro

Pada pengujian metalografi ini yang akan dilihat struktur mikronya yaitu daerah *Base metal, HAZ , Weld metal.* Untuk pengujian ini menggunakan 2 benda kerja yang masing masing terkena variasi heat input dengan ampere 80A dan 120A pengujian ini menggunakan mikroskop perbesaran 500x, dan didapatkan hasil sebagai berikut:



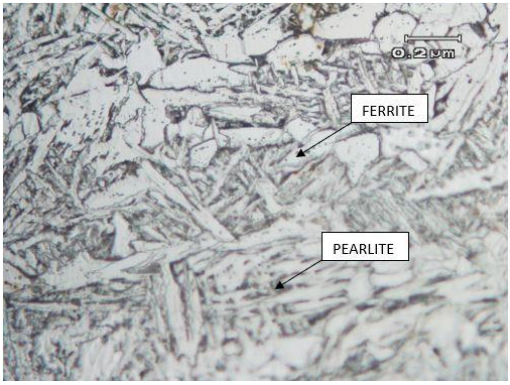
Gambar 4.33 Struktur Mikro *Base Metal* 80A

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* dengan perbandingan 36%:64%.



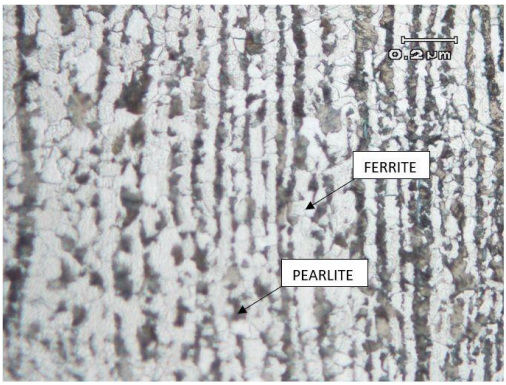
Gambar 4.34 Struktur Mikro Daerah *HAZ* 80A

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* dengan perbandingan 41%:59%.



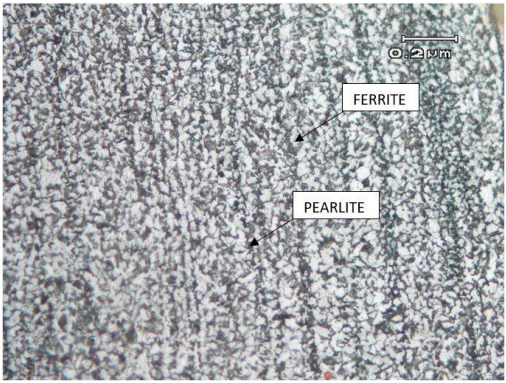
Gambar 4.35 Struktur Mikro Daerah *Weld Metal* 80A

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* dengan perbandingan 33%:67%.



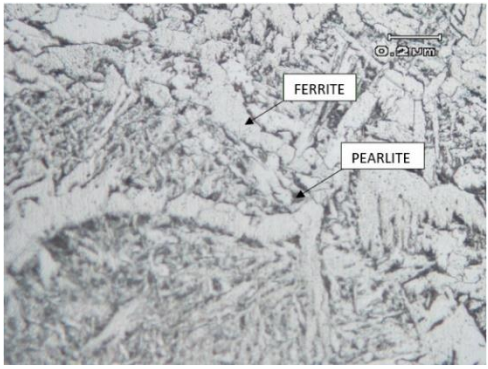
Gambar 4.36 Struktur Mikro Daerah *Base Metal* 120A

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* 35%:65%



Gambar 4.37 Struktur Mikro Daerah *HAZ* 120A

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* dengan perbandingan 44%:56%.



Gambar 4.38 Struktur Mikro Daerah *Weld Metal* 120A

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* 31%:69%

Dari data uji struktur mikro diatas didapatkan 2 struktur mikro yang ditemukan yaitu *ferrite* dan *pearlite* pada Base Metal, HAZ dan Weld Metal. Itu terjadi karena komposisi kimia carbon yang terdapat pada base metal dan filler kurang dari 0.83% sehingga struktur yang akan terbentuk ketika mengalami pendinginan lambat atau ketika dibawah garis A1 adalah *ferrite* dan *pearlite.* Namun karena heat input atau panas yang diterima HAZ dan yang berada di weld metal berbeda maka akan mempengaruhi ukuran butiran struktur mikro.

Berdasarkan hasil pengujian impak temperatur, kekerasan dan metalografi yang hasilnya adalah hasil uji impak meningkat pada hasil pengelasan 120A sedangkan nilai kekerasannya menurun. Hal ini disebabkan karena pendinginan yang dilakukan lambat dan heat input yang diberikan besar dari pada hasil lasan 80A. Hasil uji impak serta kekerasan didukung oleh hasil uji metalografi yang menyatakan struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* dimana kedua struktur mikro ini memiliki sifat mekanik lunak dan ulet. Hal ini dikarenakan komposisi atau kadar karbon dalam base metal dan filler masih dibawah 0,83%C sehingga ketika dikenai laku panas hanya akan menghasilkan 2 struktur mikro *pearlite* dan *ferrite.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh heat input dengan ampere 80A dan 120A terhadap perubahan kekerasan dan keuletan pada pengelasan material SS400 dengan menggunakan metode *SMAW*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan pengujian impak temperatur pengelasan SMAW pada baja SS400 dengan heat input ampere 120 lebih kuat dibandingkan ampere 80 dikarenakan nilai impak strength yang diperoleh dari ampere 120 lebih tinggi pada ketiga jenis temperature pengujian dan pada lokasi takik Weld maupun HAZ. Berdasarkan hasil pengujian, impak strength pada ampere 120 mendapatkan hasil tertinggi pada temperature 30°C posisi takik Weld Metal dengan nilai 11,061 J/mm^2.
2. Berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa spesimen dengan heat input ampere 80A memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada ampere 120A baik pada bagian Weld Metal maupun HAZ. Nilai tertinggi kekerasan terdapat pada spesimen 80A pada bagian HAZ kanan dan kiri (Kekerasan Bawah C) yaitu sebesar 91 HRB. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi heat input pada pengelasan mempengaruhi nilai kekerasan pada bagian Weld Metal maupun HAZ. Semakin tinggi nilai heat input pada pengelasan maka semakin menurun nilai kekerasannya.
3. Berdasarkan pengujian struktur mikro hanya terlihat 2 struktur yang terlihat yaitu *ferrite* dan *pearlite* pada pengelasan ampere 80A dan 120A lokasi Base Metal, HAZ dan Weld Metal. Karena kadar karbon yang digunakan pada proses pengelasan relative sama Base

Metal (0,12%C) maupun filler pengisi (0,05%C) sehingga struktur mikro yang terbentuk berdasarkan diagram Fe_3C hanya *ferrite* dan *pearlite* dan tergolong baja *Hypo Eutectoid* dengan kadar karbon dibawah 0,83%C.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Pada penelitian kali ini metode pengelasan *SMAW* dinilai kurang sempurna dalam prosesnya sehingga terdapat cacat pada spesimen benda kerja, sehingga diharapkan untuk selanjutnya prosedur pengelasannya lebih baik.
2. Pada penelitian kali ini didapatkan banyak kesalahan dalam pemotongan *test piece* dan pembuatan takik benda kerja dikarenakan terbatasnya alat potong yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

Kou, Sindo. 2003. *Welding Metallurgy Second Edition*. America: John Wiley

Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita

Okumura T, Wiryosumarto H. 1994. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : Pradnya Paramita

Dieter, George.E. 1986. *Metalurgi Mekanik Jilid 2*. Diterjemahkan. Jakarta : Penerbit Erlangga

[01]ASTM E 23. 1994. *Standard Test Method for Notched Bar Impact of Metallic Materials*. USA

[02]Samuel, Sisworo dan Muhammad Zaki Prawira. 2015. *Pengaruh Perbedaan Suhu Terhadap Kekeuatan Impact Aluminium 5083 Hasil Pengelasan Tungsten Inert Gas.* Semarang: Universitas Diponegoro

[03]Setyanto, Ignatius Yosef. 2016. *Laporan Praktikum TKI 238 Praktikum Pengetahuan Material.* Jakarta: Atma Jaya

[04]Sakroni, Imam. 2017. *Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Reforming Terhadap Kekuatan Impak dan Kekerasan pada Baja SS400.* Surabaya: ITS

[05]https://eduengineering.wordpress.com/2015/01/10/proses-welding-smaw-shielded-metal-arc-welding/

[06]Supriyanto, Widi. 2016. *Pengaruh Post Heat 700^{0}C Dan 900^{0}C Selama 5 Jam Pada Sambungan Las SMAW, Elektroda E7016, Material SA 36 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan Dan Metalografi*. Surabaya: ITS

[07]Iswanto, Ilman dan Heri Wibowo. 2016. *Analisa Heat Input Pengelasan Terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36.* Yogyakarta: UGM

[08]http://beni-lightning.blogspot.com/2014/02/elektroda.html

[09]http://blog.ub.ac.id/salsabilavelina/2012/03/02/diagram-fasa-fe-fe3c-2/

[10]https://www.slideshare.net/molandibr/carbon-steel

[11]http://weldingproductivity.com/article/detrimental-elements/

[12]http://hima-tl.ppns.ac.id/impact-test-pengujian-takik/

[13]http://vgoinc.com/wp-content/uploads/2015/11/SEM-Image2.jpg

[14]http://vgoinc.com/wp-content/uploads/2015/11/SEM-Image3.jpg

[15]Widiyono, Eddy. 2009. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Surabaya: ITS

Lampiran 1

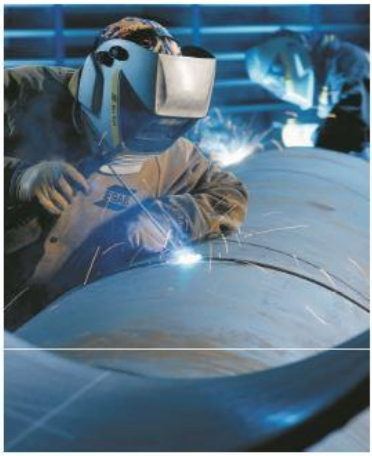
Weld 7018

User friendly low hydrogen electrode for joining steel with minimum tensile strength of 490 MPa

User friendly is an important factor in welding as this features will reduce welding defects like undercut, porosity or irregular bead shape. Weld 7018 is designed to provide you this features. Nice bead appearance and easy slag removal are two of main benefits using this electrodes in your general application jobs.

Weld 7018 also produces good mechanical properties with hydrogen content lesser than 5ml/100g weld metal. Basic flux coating of Weld 7018 gives you excellent weld metal soundness to pass radiography test. It is an electrodes recommended for joining medium strength steel requiring good balance of mechanical properties and productivity.

This electrode is recommended for thin and medium plate thickness on butt and fillet weld. It is suitable for general welding application and a perfect choice to be applied on sheet metal working or any other steel having minimum tensile strength requirement of 490 MPa.



Classifications
SFA/AWS A5.1 E7018

Approvals
American Bureau of Shipping (ABS)

Applications

- General steel fabrication
- Sheet metal working
- Shipyards
- Steel construction

Benefits

- Basic flux coating for better mechanical properties
- Ease of current setting
- Low spatter level
- Smooth running characteristics
- Imprinted product name on the electrode for better traceability

Ordering Information

Please refer to individual electrode technical information available through nearest ESAB representatives or distributors.

ESAB

ESAB Asia/Pacific Pte Ltd
38 Joo Koon Circle
Jurong
Singapore 629063
Phone: +65 6861 4322 Fax +65 6861 3195
E-mail: sales@esabasia.com.sg
www.esabasia.com

ISO 9001:2000

ISO 14001 WORLDWIDE

Lampiran 2

Product Technical Information ESAB

Weld 7018

Weld 7018 is a general-purpose basic DC+ electrode for welding of mild and low alloy steels. The electrode has good welder appeal, thanks to its easy to use characteristic and produce good weld metal mechanical properties. Weld 7018 is an excellent all round performer covering many applications.

Classification

ASME / AWS
SFA / A5.1 E7018

Typical all weld metal chemical composition (wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.06	0.50	1.1	0.016	0.012

Typical all weld metal mechanical properties

ReL (MPa)	Rm (MPa)	A4 (%)	-30°C (Joules)
440	540	29	120

Welding parameters

Diameter (mm)	Current (A)	Voltage (V)	H (Kg/h)	Remarks
2.5 x 350	55 – 105	22	0.94	Voltage will depend on arc length
3.2 x 350	80 – 140	23	1.14	Voltage will depend on arc length
4.0 x 400	110 – 200	24	1.73	Voltage will depend on arc length
5.0 x 400	160 – 260	24	2.46	Voltage will depend on arc length

H: Deposition rate

Ordering Information

Item number	Diameter (mm)	Length (mm)	Outer Box (Kg)	Inner Pack (Kg)
3774253NR0	2.5	350	20	5
3774323NR0	3.2	350	20	5
377440HNR0	4.0	400	20	5
377450HNR0	5.0	400	20	5

ESAB

ESAB Asia/Pacific Pte Ltd
No. 38 Joo Koon Circle
Jurong
Singapore 629063
Phone: +65 6861 4322 Fax +65 6861 3195
E-mail: sales@esabasia.com
www.esabasia.com

ISO 9001:2000

ISO 14001 WORLDWIDE

Las SMAW Variasi Heat Input (material SS400)
Dimensi 300mm x100mm x 10mm
V-Groove 60°

A. Heat Input dengan Ampere 80A

Weld Layer	*Welding Proses*	*Filler Metal*		*Current*		*Voltage*	*Travel Speed*	*Heat Input*
		Class	*Size(mm)*	*Type*	*Ampere*	*(V)*	*(mm/s)*	*(J/Min)*
Root Pass	SMAW	E-7018	3,2	Dcep	80	20	433	3.985 J/mm
Filler	SMAW	E-7018	3,2	Dcep	80	20	321	
Capping	SMAW	E-7018	3,2	Dcep	80	20	315	
Backweld	SMAW	E-7018	3,2	Dcep	80	20	296	

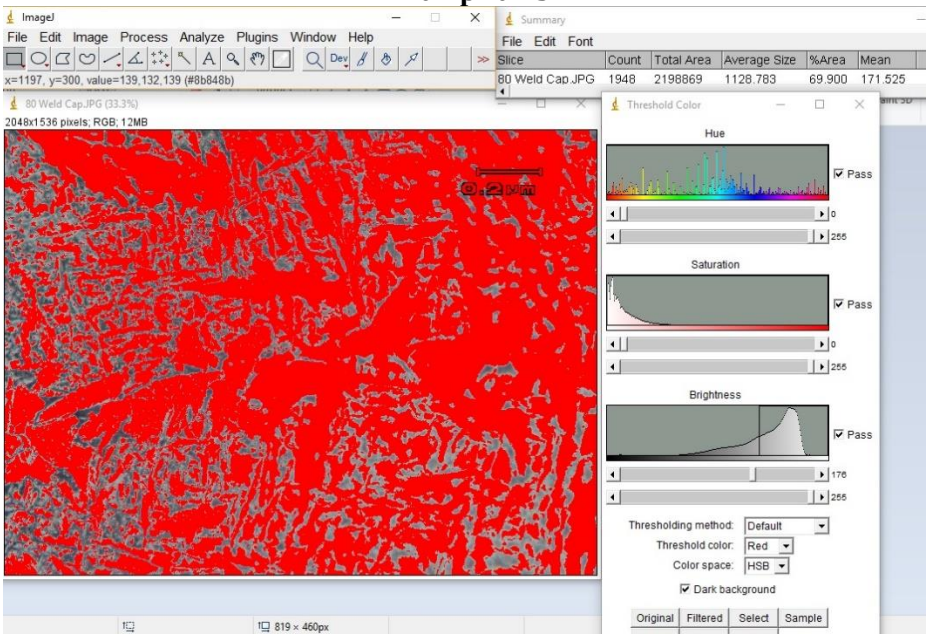
AMPERE: (75-85) A
VOLTAGE: (18-20) Volt
EFFISIENSI PANAS: 0.85

B. Heat Input dengan Ampere 120A

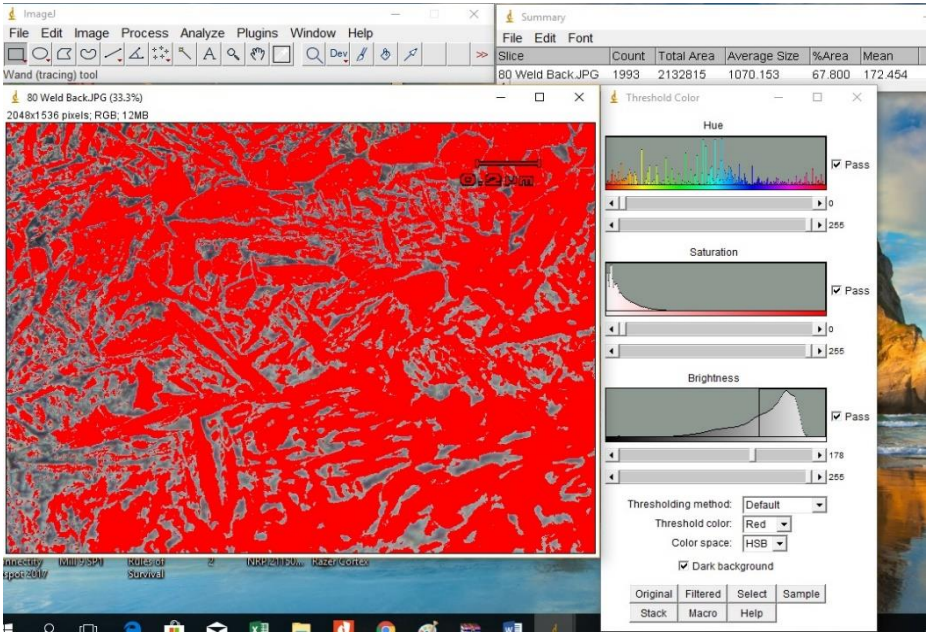
Weld Layer	*Welding Proses*	**Filler Metal**		*Current*		*Voltage*	**Travel Speed**	**Heat Input**
		Class	*Size(mm)*	*Type*	*Ampere*	*(V)*	*(mm/s)*	*(J/Min)*
Root Pass	SMAW	E-7018	3,2	Dcep	120	31	457	8.808 J/mm
Filler	SMAW	E-7018	3,2	Dcep	120	31	339	
Capping	SMAW	E-7018	3,2	Dcep	120	31	328	
Backweld	SMAW	E-7018	3,2	Dcep	120	31	312	

AMPERE : (110-120) A
VOLTAGE : (30-33) Volt
EFFISIENSI PANAS: 0.85

Lampiran 5

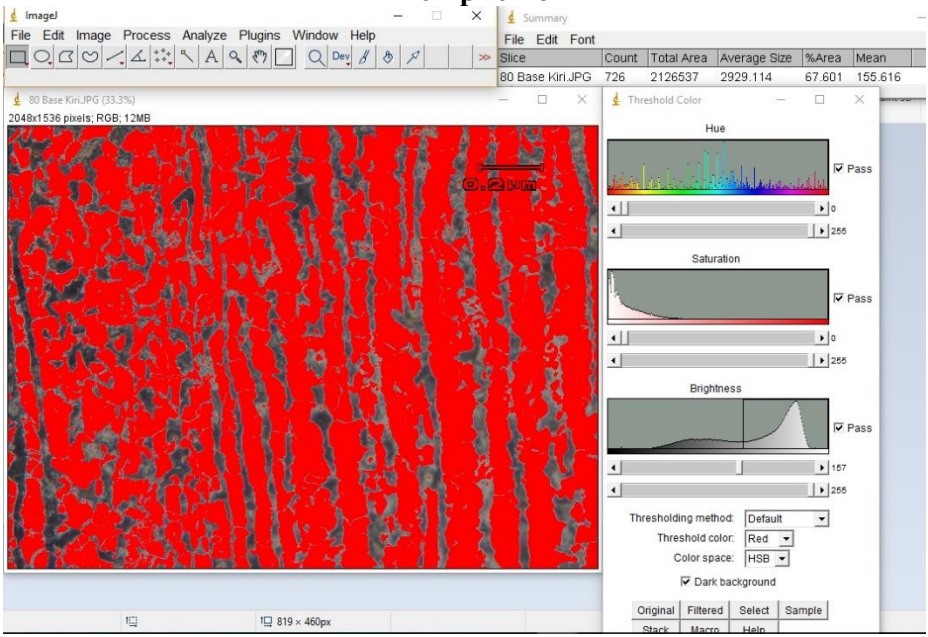


Gambar.1 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (80 Weld Cap)

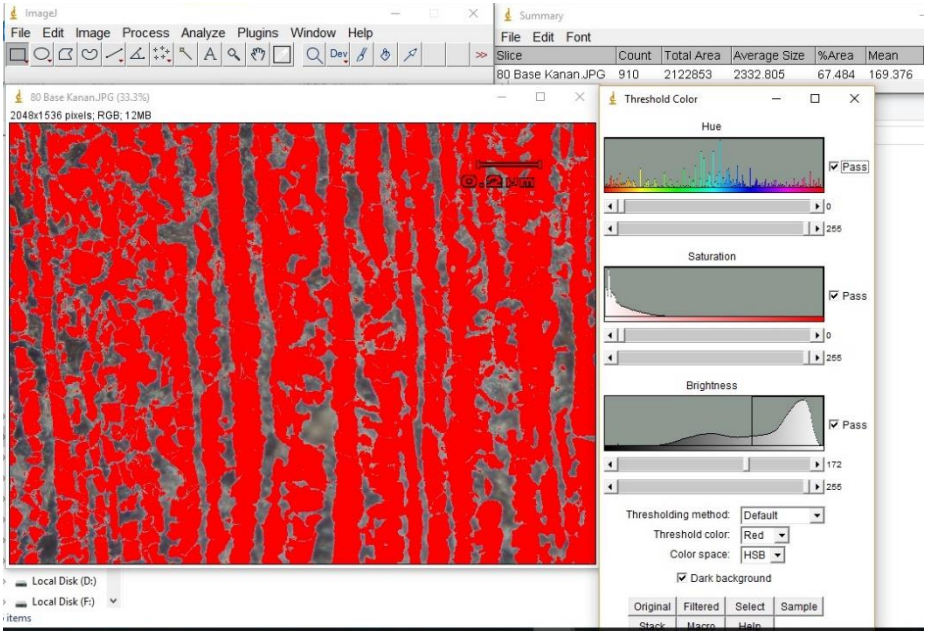


Gambar.2 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (80 Weld Back)

Lampiran 6



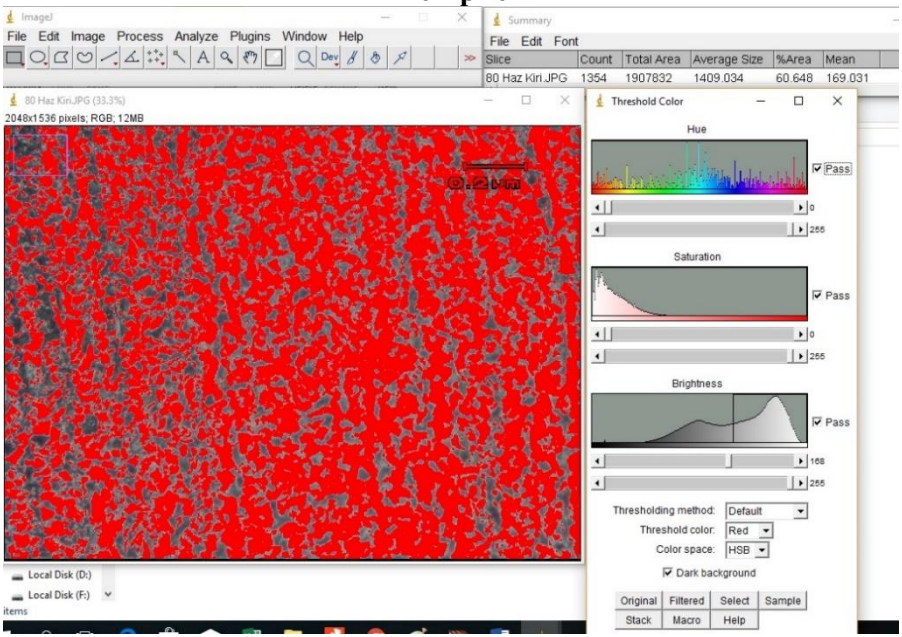
Gambar.3 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (80 Base Kiri)



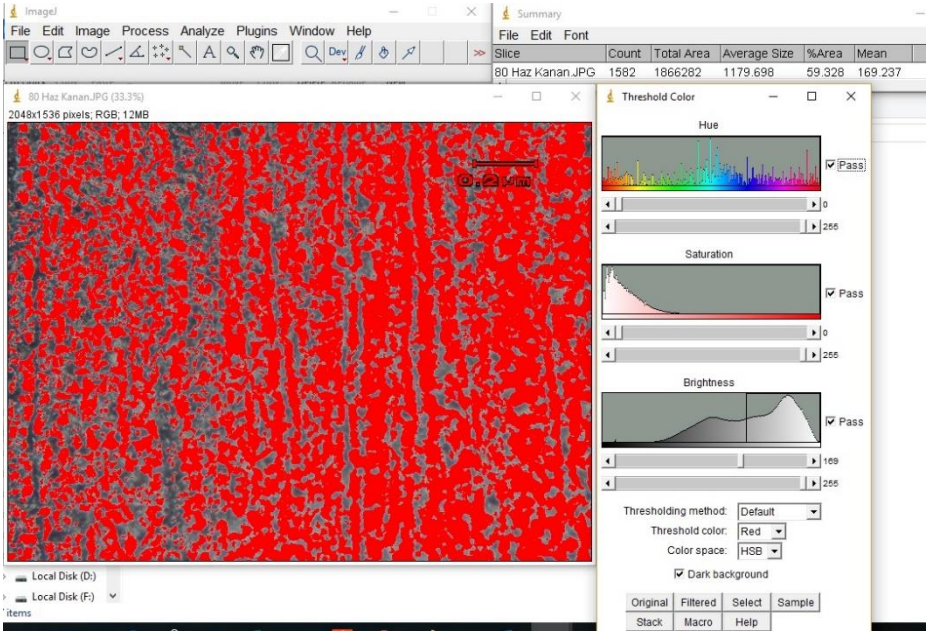
Gambar.4 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (80 Base Kanan)

f

Lampiran 7



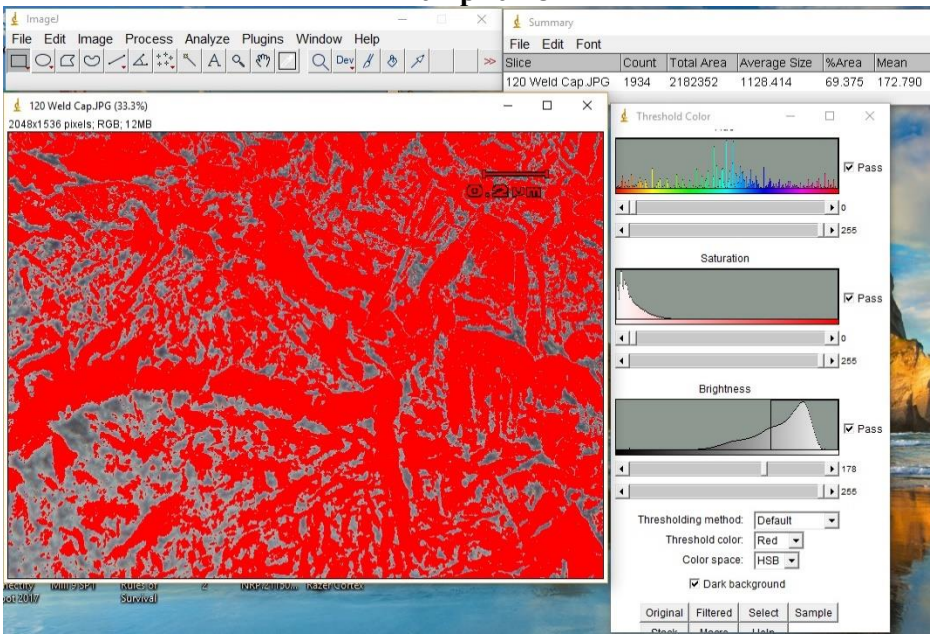
Gambar.5 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (80 HAZ Kiri)



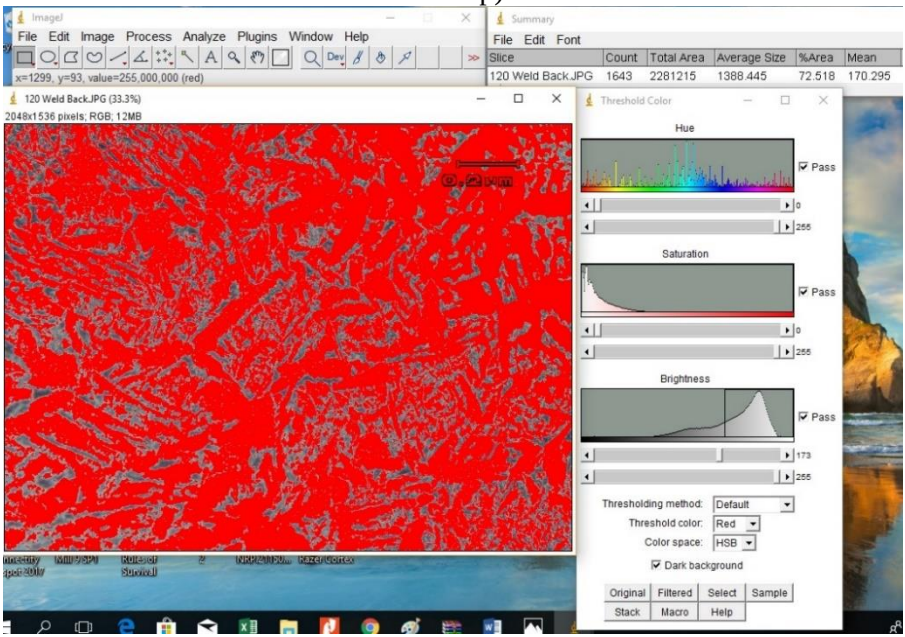
Gambar.6 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (80 HAZ Kanan)

g

Lampiran 8



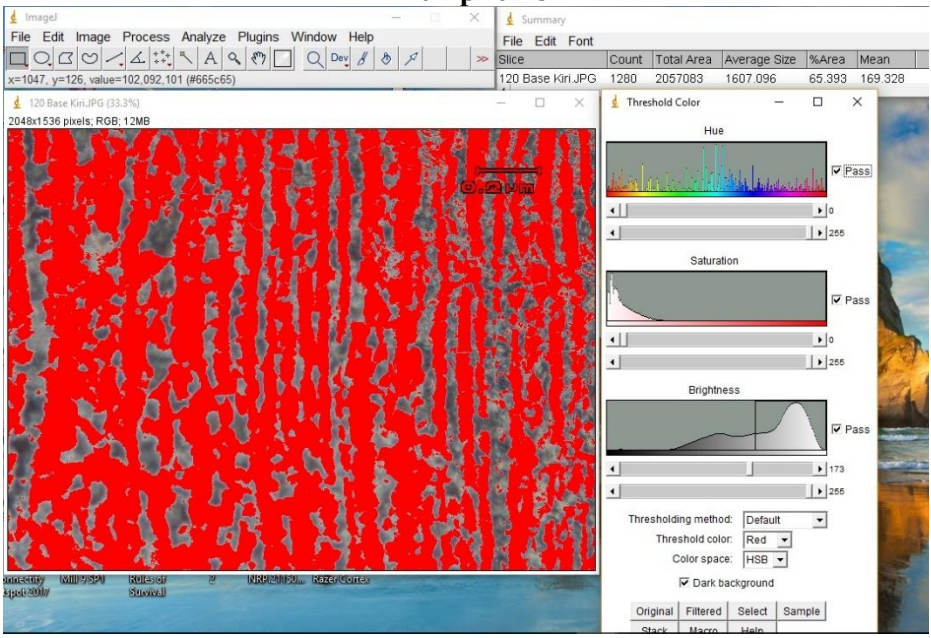
Gambar.1 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (120A Weld Cap)



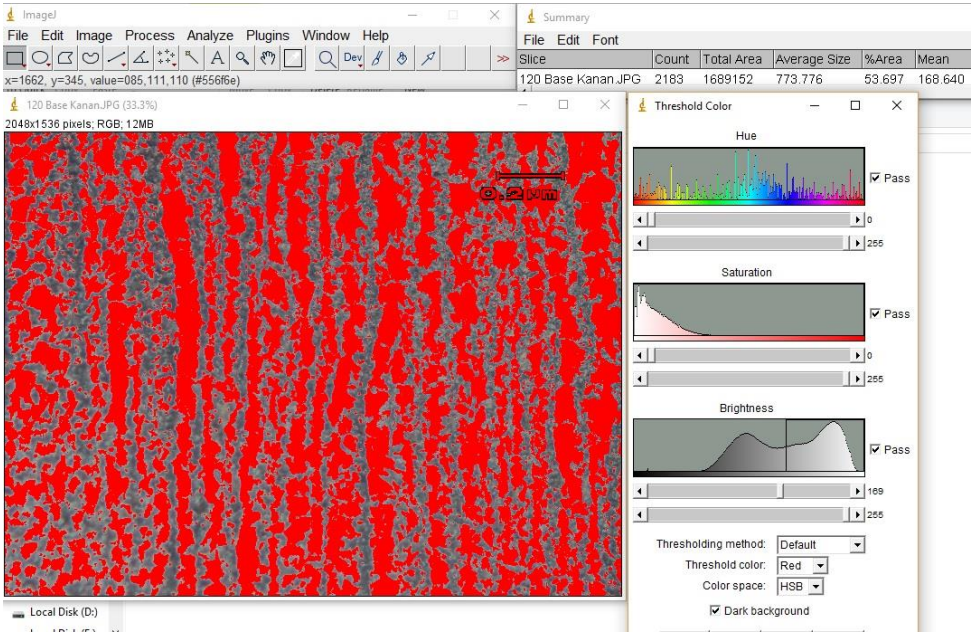
Gambar.2 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (120A Weld Back)

h

Lampiran 9

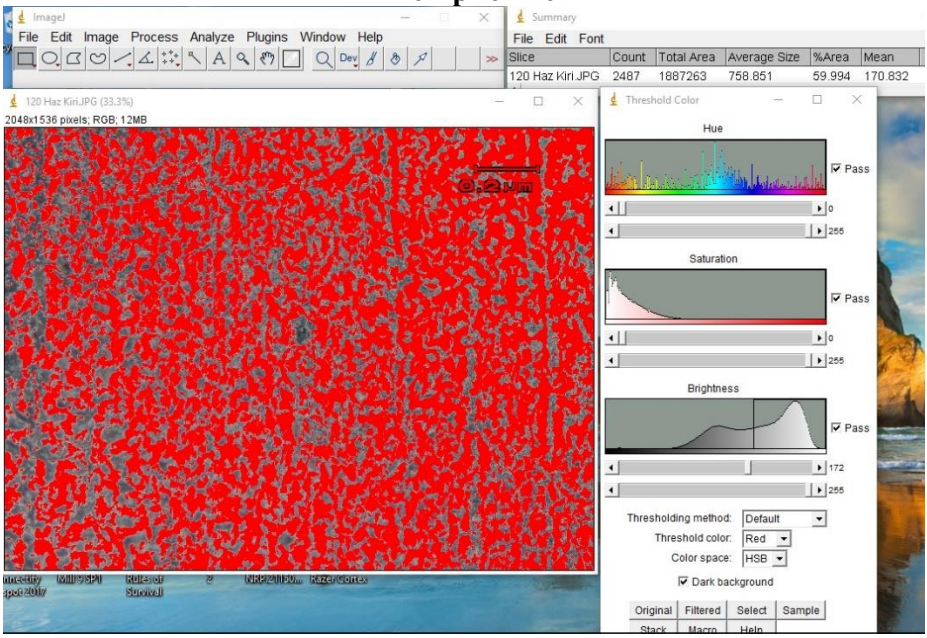


Gambar.3 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (120A Base Kiri)

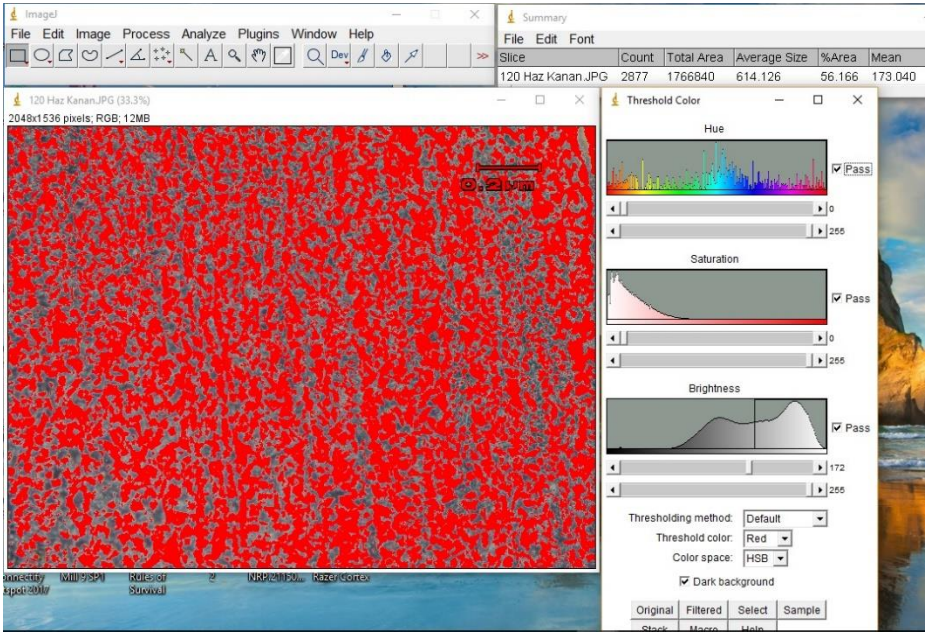


Gambar.4 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (120A Base Kanan)

Lampiran 10



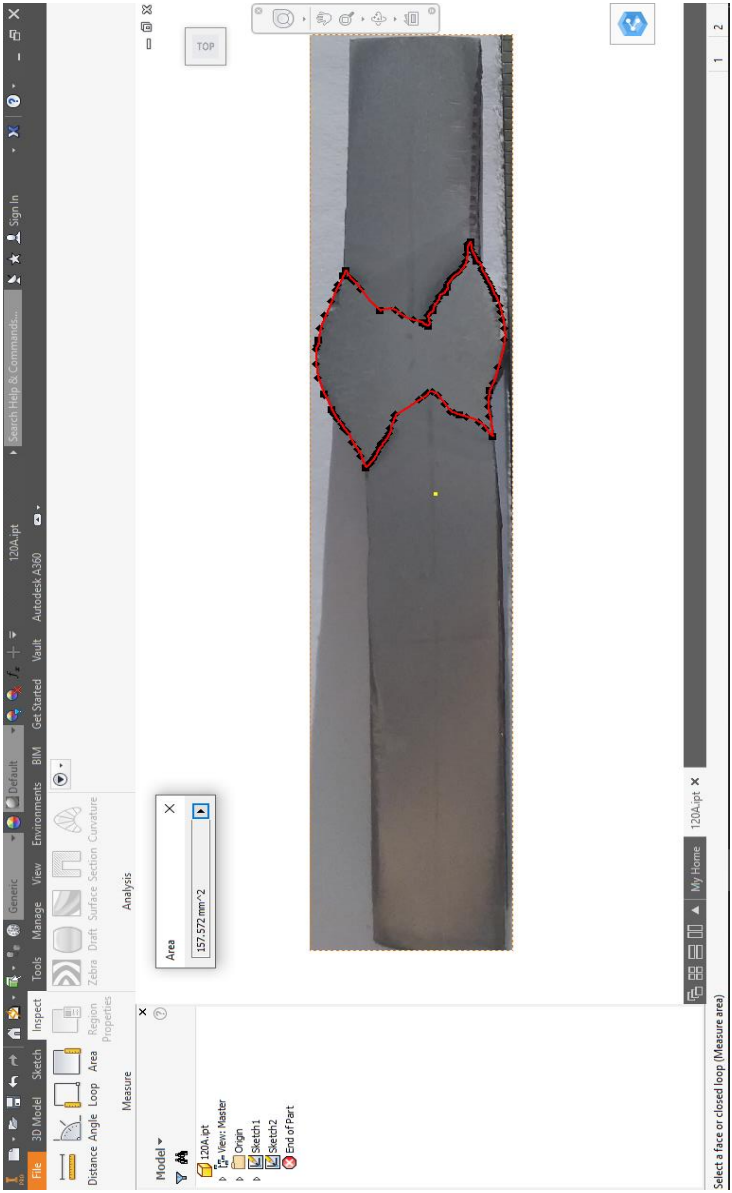
Gambar.5 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (120A HAZ Kiri)



Gambar.6 Analisa *ferrite & pearlite* menggunakan imageJ (120A HAZ Kanan)

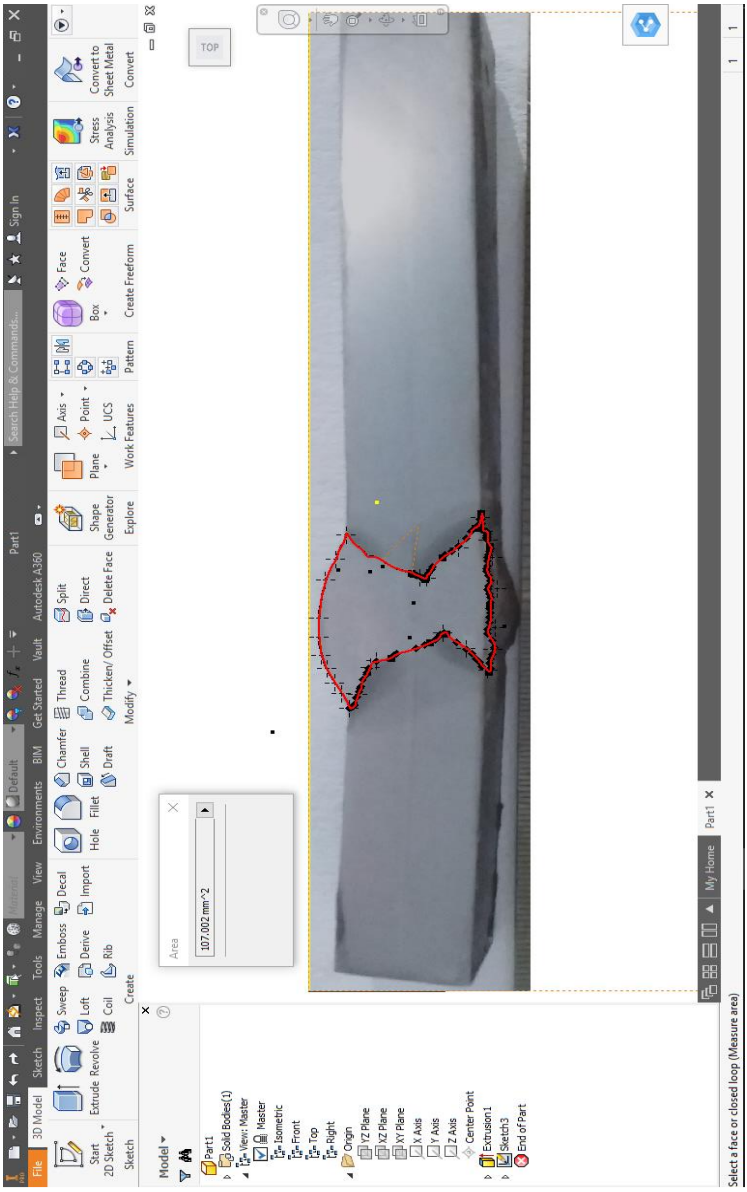
j

Lampiran 11



Gambar.1 Perhitungan Luasan Las dengan Solidwork (Hasil Lasan 80A)

Lampiran 12



Gambar.2 Perhitungan Luasan Las dengan Solidwork (Hasil Lasan 120A)

BIODATA PENULIS

Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 18 Desember 1995 di Ngawi, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuhmeliputi SDN 2 Ngrambe , SMPN 1 Widodaren, SMAN 1 Ngawi. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil bidang studi Manufaktur.

Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT CNC Controller Indonesia Bekasi yang ditempatkan pada divisi *quality control.*

Selama masa pendidikan di perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan di kampus, terutama kegiatan yang berhubungan dengan keprofesian bengkel. Penulis ikut bergabung dengan BSO Bengkel yang dimiliki oleh D3 Teknik Mesin Industri. Disana penulis menjabat sebagai direktur BSO Bengkel. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih lanjut dapat menghubungi :

E-mail: jaya.dendy1@gmail.com