



TUGAS AKHIR - TM 145502

**ANALISA HASIL REPAIR SAMBUNGAN
LAS BAJA SA36 PASCA TERBAKAR
METODE PENGELASAN SMAW FILLER
E7016 DIAMETER 2,6 mm DENGAN
VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN
TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL**

**BAGAS MARCELYAN SANGSAKA
NRP.2112 030 088**

**Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, MSc.
196006231988031002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



TUGAS AKHIR - TM 145502

**ANALYSIS REPAIR WELD JOINT OF SA 36
STEEL AFTER BURNED IN SMAW
WELDING METHOD FILLER E7016
DIAMETER 2.6 mm WITH HEATING
VARIATION OF TEMPERATURE ON
MECHANICAL PROPERTIES MATERIAL**

**BAGAS MARCELYAN SANGSAKA
NRP.2112 030 088**

**Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, MSc.
196006231988031002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**“ANALISA HASIL REPAIR SAMBUNGAN LAS BAJA
SA36 PASCA TERBAKAR METODE PENGELASAN
SMAW FILLER E7016 DIAMETER 2,6 mm DENGAN
VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP
SIFAT MEKANIK MATERIAL”**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya

Pada

Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BAGAS MARCELYAN SANGSAKA
NRP. 2112 030 088

Mengetahui, dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



Ir. Hari Subiyanto, Msc.
19600623 198803 1 002

SURABAYA, MARET 2016

**ANALISA HASIL REPAIR SAMBUNGAN LAS BAJA SA36
PASCA TERBAKAR METODE PENGELASAN SMAW
FILLER E7016 DIAMETER 2,6 mm DENGAN VARIASI
TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP SIFAT
MEKANIK MATERIAL**

Nama : Bagas Marcelyan Sangsaka
NRP : 2112 030 088
Jurusan : Diploma III Teknik Mesin FTI - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Subiyanto, MSc

Abstrak

Resiko akibat terjadinya kebakaran sangat besar. Karena adanya kebakaran, terjadi proses pemanasan di material dan sambungan las pada konstruksi baja bangunan. Karena terjadi proses pemanasan, perubahan sifat mekanik akan terjadi. Maka dari itu, proses repair pada sambungan las diperlukan.

Pada penelitian kali ini, akan dilakukan proses *repair* SMAW dengan filler E7016 diameter 2,6 mm 90 ampere. yang di beri variasi temperatur pemanasan 700°C dan 900°C sebagai simulasi kebakaran. Menganalisa sifat mekanik dari hasil *repair* dilakukan dengan melakukan 3 macam pengujian. Uji tarik untuk mengetahui tegangan tarik, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah logam induk, HAZ dan logam las. Uji metalografi untuk mengetahui struktur mikro pada daerah logam induk, HAZ, dan logam las.

Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa nilai uji tarik pada spesimen 700°C dan 900°C sebesar 479,74 MPa dan 463,20 MPa. Dari hasil pengujian kekerasan, nilai paling besar pada daerah daerah logam las pada spesimen 900°C di daerah logam las di titik indentasi ke-9 memiliki nilai rata – rata 89,7 HRB. Lebar HAZ dari spesimen 700°C lebih besar daripada spesimen 900°C yaitu sebesar 2,97mm dan dari uji metalografi didapat struktur mikro yang terbentuk hanya *ferrit* dan *pearlite*.

Kata-kata kunci : *Pengelasan SMAW, Uji Tarik, Uji Kekerasan Rockwell dan Uji Metalografi etsa mikro, makro.*

**ANALYSIS REPAIR WELD JOINT OF SA 36 STEEL
AFTER BURNED IN SMAW WELDING METHOD
FILLER E7016 2.6 mm DIAMETER WITH HEATING
VARIATION OF TEMPERATURE ON MECHANICAL
PROPERTIES MATERIAL**

Name : Bagas Marceyan Sangsaka
NRP : 2112 030 088
Major : D III Mechanical Engineering FTI - ITS
Advisor : Ir. Hari Subiyanto, MSc

Abstract

At this time the risk of fire is very large. When fire occurs in the heating process materials and welded joints in steel construction buildings. Because of the heating process, the mechanical properties change will occur. Therefore, the process required to repair the weld joint.

In the present study, SMAW repair process will be conducted in the given variation of heating temperature 700oC and 900oC as a simulated fire. Analyze the mechanical properties of the results of repair done by three kinds of testing. Tensile tests to determine tensile, hardness tests to determine hardness on the metal stem, border parent metal to HAZ, the HAZ to the weld metal, and the metal area weld and metallographic test to determine the microstructure in the area of the parent metal, HAZ and weld metal.

From the research, it is known that the value lies in the highest tensile test specimens with a value of 479.74 MPa 700 °C. From the results of hardness testing, the highest value in the border area with the metal weld HAZ at 900 °C on the border HAZ specimen with weld metal in the 9th indents point has value - average 89.7 HRB. and from the obtained metallographic test microstructure formed only ferrite and pearlite.

Key word: SMAW welding joint, tensile test, hardness test, and metallography test.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul :

“ANALISA HASIL REPAIR SAMBUNGAN LAS BAJA SA36 PASCA TERBAKAR METODE PENGELASAN SMAW FILLER E7016 DIAMETER 2,6 mm DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL”

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hari Subiyanto, MSc. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku kaprodi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Ibu Liza Rusdiyana, ST, MT selaku koordinator Tugas Akhir D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T. selaku Dosen Wali selama di D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
6. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Tugas Akhir ini.
7. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. Yogik, Bangkit, Izal, Andy, dan Rudy yang telah berbagi rasa suka, duka dan pengalaman dalam tim ini.
9. Teman – teman angkatan 2011, 2012, 2013 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
10. Pak Ali, Pak Sajidin, dan Pak Narto yang telah memberikan kesempatan penulis menggunakan tempat kerja untuk melakukan praktikum pengelasan

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS dan D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

Surabaya, Februari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Material	5
2.2 Sifat Mekanik	6
2.3 Definisi Pengelasan	6
2.3.1 SMAW	7
2.3.2 Posisi Pengelasan	8
2.3.3 Kodefikasi Elektroda.....	10
2.3.4 Repair Welding.....	10
2.3.5 Heat Input.....	11
2.4 Tensile Test	11
2.5 Hardness Test	14
2.5.1 Pengujian kekerasan Rockwell.....	14
2.6 Metalography test.....	16
2.7 Baja Karbon.....	20
2.8 Siklus Termal daerah Las	25
2.9 Pengaruh Layer.....	27
2.9.1 Single Layer.....	27

2.9.2 Multilayer	28
------------------------	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart Penelitian	31
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian	33
3.3 Tempat	33
3.4 Langkah kerja	33
3.4.1 Studi literatur	33
3.4.2 Persiapan Material	33
3.4.3 Pengelasan	34
3.4.4 Pemanasan Simulasi Kebakaran	37
3.4.5 Repair SMAW	37
3.4.6 Pengambilan Test Piece	38

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Heat Input	45
4.2 Tensile Test	45
4.3 Hardness Test	52
4.3 Analisa Pengujian Metalography	61
4.3.1 Pengujian Makro	61
4.3.2 Pengujian Mikro	66

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

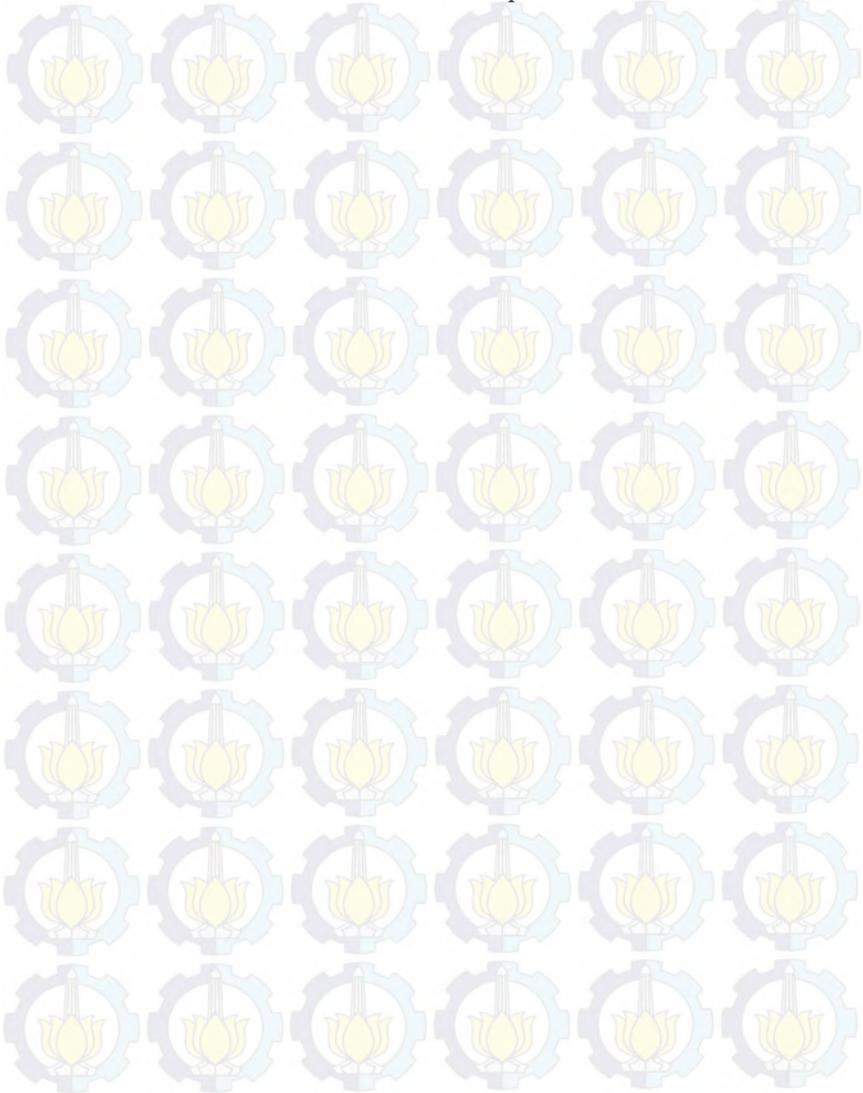
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW.....	7
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G.....	8
Gambar 2.3 Posisi pengealasan 2G.....	8
Gambar 2.4 Posisi pengelasan 3G.....	9
Gambar 2.5 Posisi pengelasan 4G.....	9
Gambar 2.6 Kurva tegang-regang teknik.....	13
Gambar 2.7 Prinsip Kerja <i>Rockwell</i>	15
Gambar 2.8 Sketsa Daerah HAZ.....	17
Gambar 2.9 Jajar genjang.....	17
Gambar 2.10 Pantulan Sinar Pada <i>Metalograph Test</i>	19
Gambar 2.11 Diagram fasa besi karbon.....	21
Gambar 2.12 Struktur mikro <i>ferrit</i>	22
Gambar 2.13 Struktur mikro <i>cementit</i>	22
Gambar 2.14 Struktur mikro <i>perlit</i>	23
Gambar 2.15 Struktur mikro <i>martensit</i>	24
Gambar 2.16 Transformasi fasa pada daerah pengelasan.....	25
Gambar 2.17 Daerah Las.....	26
Gambar 2.18 Siklus termal daerah las.....	26
Gambar 2.19 Karakteristik sambungan las Fe – Fe ₃ C.....	27
Gambar 2.20 Typical Heat Cycles 5 Δ t 8/5 (Temperatur 800 ^o – 500 ^o / 300 ^o C) Multi Layer.....	28
Gambar 2.21 Grafik Kekuatan Material Hasil Multi Layer.....	29
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Diagram.....	31
Gambar 3.2 <i>Flow Chart</i> Diagram (Lanjutan).....	31
Gambar 3.3 Sudut Bevel Yang Digunakan.....	34
Gambar 3.4 Material Dengan Kampuh 30 ^o	34
Gambar 3.5 Proses Pengelasan.....	36
Gambar 3.6 Tang Ampere.....	36
Gambar 3.7 Hasil Repair untuk 700 ^o C.....	37
Gambar 3.8 Hasil repair untuk 900 ^o C.....	38
Gambar 3.9 Dimensi Specimen tarik.....	39
Gambar 3.10 Spesimen pengujian tarik 700 ^o C.....	39
Gambar 3.11 Spesimen pengujian tarik 900 ^o C.....	40
Gambar 3.13 Lokasi Indentasi Uji Kekerasan.....	41

Gambar 3.14 Spesimen sebelum di etsa	43
Gambar 3.15 Alat dan bahan untuk proses etsa	43
Gambar 3.16 Larutan Etsa	44
Gambar 4.1 Grafik nilai tegangan tarik	47
Gambar 4.2 Panjang Lo dan panjang L1 suhu 700°C	48
Gambar 4.3 Panjang Lo dan panjang L1 suhu 900°C	48
Gambar 4.4 Contoh Bentuk Patahan	50
Gambar 4.5 Bentuk Patahan Spesimen Temperatur 700°C Tampak Samping	50
Gambar 4.6 Bentuk Patahan Spesimen Temperatur 900°C Tampak Samping	51
Gambar 4.7 Daerah Patahan Temperatur 700°C Tampak Muka	51
Gambar 4.8 Daerah Patahan Temperatur 900°C Tampak Muka	52
Gambar 4.9 Daerah Acuan Titik Indentasi Uji Kekerasan	53
Gambar 4.10 Daerah titik indentasi uji kekerasan	53
Gambar 4.11 Uji kekerasan bidang 1 temperatur 700°C	54
Gambar 4.12 Uji kekerasan bidang 2 temperatur 700°C	54
Gambar 4.13 Uji kekerasan bidang 3 temperatur 700°C	54
Gambar 4.14 Nilai Uji Kekerasan Temperatur 700°C	55
Gambar 4.15 Acuan Titik Indentasi Uji Kekerasan	56
Gambar 4.16 Daerah Titik Indentasi Pada Spesimen	56
Gambar 4.17 Uji kekerasan bidang 1 temperatur 900°C	57
Gambar 4.18 Uji kekerasan bidang 2 temperatur 900°C	57
Gambar 4.19 Uji kekerasan bidang 3 temperatur 900°C	57
Gambar 4.20 Nilai Uji Kekerasan Temperatur 900°C	58
Gambar 4.21 Grafik nilai kekerasan rata rata	60
Gambar 4.22 Lebar HAZ Temperatur 700°C	61
Gambar 4.22 Lebar HAZ Temperatur 900°C	62
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Lebar HAZ	65
Gambar 4.24 Titik pengambilan foto mikro	66
Gambar 4.25 Foto mikro <i>base metal</i> pembesaran 100X	66
Gambar 4.26 Foto mikro <i>HAZ</i> pembesaran 500X	67
Gambar 4.27 Foto mikro <i>WeldMetal</i> pembesaran 500X	67

Gambar 4.28 Foto mikro *Base Metal* pembesaran 500X 68
Gambar 4.29 Foto mikro *HAZ* pembesaran 500X68
Gambar 4.30 Foto mikro *Weldmetal* pembesaran 500X 69



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai <i>Chemical Composition</i>	5
Tabel 2.2 Sifat Mekanik SA 36	5
Tabel 3.1 Logam induk dan pengisi E 7016.....	35
Tabel 3.2 Parameter Pengelasan	35
Tabel 4.1 <i>Heat input</i> pengelasan.....	45
Tabel 4.2 Data hasil uji tarik tanpa pemanasan	45
Tabel 4.3 Data Hasil Uji Tarik.....	46
Tabel 4.4 Data Hasil Regangan	49
Tabel 4.5 Nilai indentasi untuk temperatur 700°C	55
Tabel 4.6 Nilai indentasi untuk temperatur 900°C	58
Tabel 4.7 Nilai kekerasan rata rata	59
Tabel 4.8 HAZ temperatur 700°C	61
Tabel 4.9 HAZ temperatur 900°C	62
Tabel 4.10 Lebar HAZ aktual dan teoritis	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pembangunan gedung ada beberapa jenis material yang dapat digunakan, salah satunya adalah dengan menggunakan material baja. Material konstruksi atap pada bangunan yang digunakan pada umumnya terbuat dari baja karbon rendah SA36. Proses penyambungan dengan proses pengelasan sangat perlu diperhatikan, karena hasil dari proses pengelasan itu sendiri berpengaruh pada sifat mekanis seperti ketangguhan, kekuatan, dan kekerasan baik dari material maupun sambungannya.

Pada saat ini resiko terjadinya kebakaran sangat besar. Terutama di dunia industri kebakaran pada bangunan sering terjadi. Kebakaran mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Pada penelitian kali ini, kebakaran yang terjadi sama sekali tidak mengalami proses pendinginan dengan disemprot air. Dengan kata lain, terbakar sampai api tersebut mati dengan sendirinya. Kebakaran dapat menimbulkan kerusakan tidak hanya pada barang – barang saja, namun juga kerusakan di bagian sambungan las pada konstruksi. Saat kebakaran, terjadi proses pemanasan di sambungan las pada konstruksi baja bangunan, kemungkinan akan terjadi perubahan kualitas sifat mekanik pasca terbakar. Maka dari itu, proses repair pada sambungan las diperlukan. Hal ini dilakukan guna meningkatkan kualitas sambungan setelah terjadinya kebakaran. Akibat dari repair yang dilakukan akan berpengaruh besar terhadap daerah *HAZ (Heat Affected Zone)* dari *base metal* itu sendiri.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa hasil repair *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)* pasca kebakaran yang disimulasikan dengan variasi temperatur pemanasan terhadap sifat mekanis sambungan las. Sifat mekanis tersebut, didapat dari data 3 macam pengujian yaitu: uji tarik, uji kekerasan, dan uji metalografi mikro dan makro.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh hasil *repair SMAW* yang telah mengalami proses variasi temperatur pemanasan 700°C dan 900°C?
2. Bagaimana pengaruh *repair* pengelasan *SMAW* terhadap sifat mekanis material?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Variasi pemansan dilakukan pada temperatur 700°C dan 900°C, kampuh yang digunakan adalah single V groove 30°,
2. Menggunakan proses *SMAW* dengan posisi *IG* .
3. Material *SA 36* dengan dimensi 110 x 150 mm (4 buah) dan tebal 10 mm dengan elektroda *E7016* dengan diameter 2,6 mm, dan dengan parameter arus 90 *ampere*.
4. Pengujian yang dilakukan adalah *Hardness Rockwell*, *metalography (Makroetsa)*, dan uji tarik untuk *HAZ* dan *Weld Metal*.
5. Pengujian dilakukan pada bagian *Base Metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal*.
6. Hasil pengelasan dianggap baik.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dilakukanya penelitiannya ini adalah untuk:

1. Mengetahui variasi nilai *Max stress* yang dihasilkan dari variasi temperatur pemanasan 700°C dan 900°C.
2. Mengetahui variasi nilai kekerasan yang dihasilkan dari variasi temperatur pemanasan 700°C dan 900°C.
3. Mengetahui perbedaan struktur mikro yang terjadi dari variasi temperatur pemanasan 700°C dan 900°C.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Memperkaya khasanah keilmuan teknik terutama dalam bidang pengujian logam, pengelasan, dan bahan teknik. Sehingga dapat meningkatkan pengetahuan baik untuk masyarakat umum maupun bagi juru las.
2. Memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh repair SMAW terhadap sifat mekanik dari material SA36 di daerah *base metal*, *weld metal*, dan *HAZ*.

1.6 Metodologi Penelitian

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

1. Studi Literatur
Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian *destructive test* berupa uji kekerasan, makro etsa, mikro etsa, dan uji tarik atau karya ilmiah yang berhubungan dengan masalah yang dihadapi.
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 kekerasan, struktur mikro dan makro, dan tarik yang terjadi pada bagian logam hasil las, HAZ, dan Base Metal setelah dilakukan repair

dengan variasi temperatur pemanasan 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

Agar hasil pemikiran penulis dapat dimengerti dan dipahami secara keseluruhan, maka penulisan penelitian ini akan ditulis menurut sistematika penulisan secara umum yaitu:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Pada Bab I menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TOERI**

Pada Bab II ini menjelaskan tentang teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian.

- **BAB III METODOLOGI**

Pada Bab III menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi, dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

- **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Pada Bab IV akan dibahas mengenai hasil pengujian kekerasan yang diambil pada base metal, weld metal, dan HAZ dengan titik-titik yang berbeda.

- **BAB V KESIMPULAN**

Pada Bab V berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-sarankonstruktif untuk penelitian selanjutnya.

- **DAFTAR PUSTAKA**

- **LAMPIRAN**

BAB II DASAR TEORI

2.1 Material

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA36 dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukkan pada tabel 2.1- tabel 2.2.

Tabel 2.1 Nilai *Chemical Composition*

Product	Shapes ^a	Plates ^b				
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], Incl	Over 1½ to 2 ½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All					
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel 2.2 Sifat Mekanik SA 36

Tensile Strength	
Tensile Strength (MPa)	Yield Point (MPa)
400 - 550	250

2.2. Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (tentunya juga komponen bahan tersebut) untuk menerima beban/gaya/energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan atau komponen tersebut. Sifat logam dapat diketahui dengan cara melakukan pengujian terhadap logam tersebut. Pengujian biasanya dilakukan terhadap spesimen/batang uji dengan bentuk dan ukuran yang standard, demikian juga prosedur pengujian yang dilakukan. Sering kali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan berbagai cara. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

- Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis bahan yang bekerja, yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi dan kekuatan lengkung.
- Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*).

2.3 Definisi Pengelasan

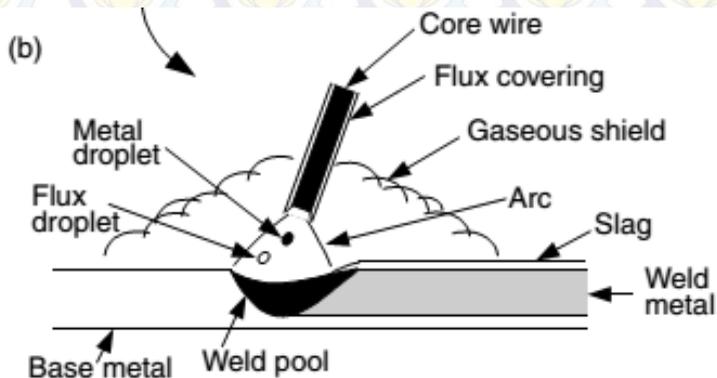
Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa tambahan logam lain. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan sebagian logam, logam pengisi, dan tekanan.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaannya 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 $450^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari 450°C .

2.3.1 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

SMAW adalah proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda terumpan berpelindung *flux* 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. *Filler* metal 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. Gambar 2.1 memperlihatkan prinsip dasar proses SMAW.

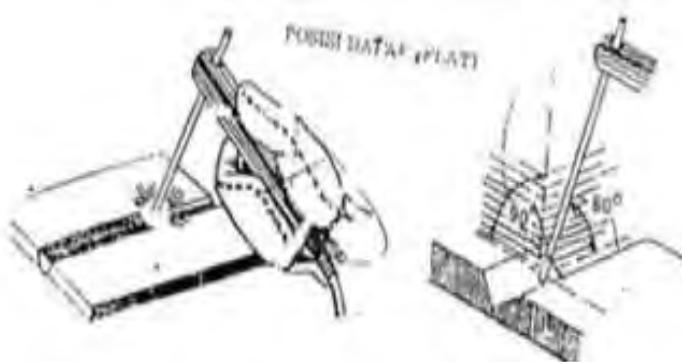


Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW

2.3.2 Posisi Pada Pengelasan

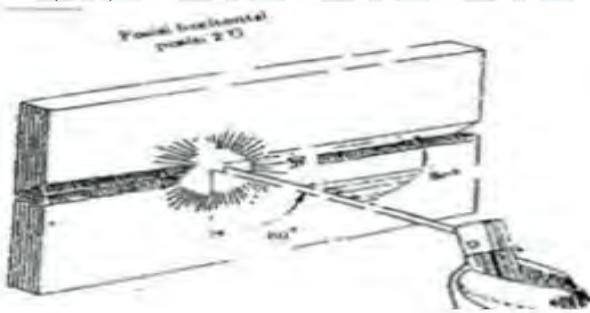
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam yaitu:

- Posisi (1G)



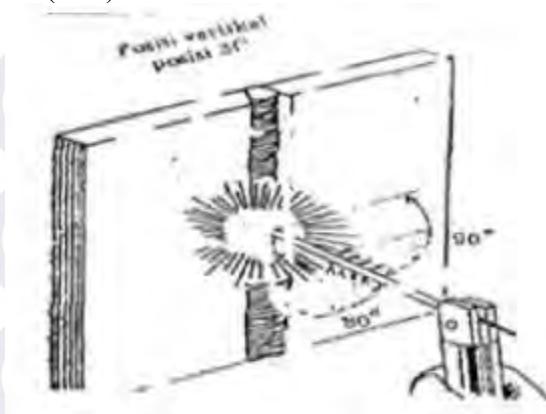
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G

- Posisi (2G)



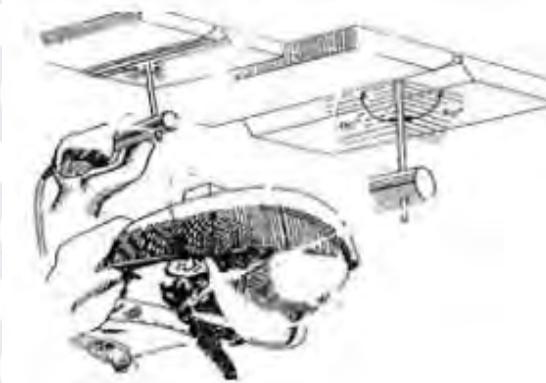
Gambar 2.3 Posisi pengelasan 2G

- Posisi (3G)



Gambar 2.4 Posisi pengelasan 3G

- Posisi (4G)



Gambar 2.5 Posisi pengelasan 4G

2.3.3 Kodefikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*fluks*) dan tidak bersalut yang merupakan pakal untuk menjepitkan tang las. Fungsi *fluks* 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

Seperti : E 7016

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

70 : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las X 1000 psi.

1 : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

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

2.3.4 Repair Welding

Proses pengelasan adalah proses penyambungan dua buah atau lebih material logam menjadi satu kesatuan dengan adanya energi panas. Energi panas yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengelasan dapat berasal dari pembakaran gas, sinar elektron, gesekan, gelombang ultrasonik, tahanan listrik, atau busur listrik. Sedangkan *repair welding* merupakan perbaikan dengan menggunakan teknik pengelasan. Tujuan dari *repair welding* adalah untuk memperbaiki bentuk satu konstruksi yang mengalami kerusakan agar menjadi sama seperti bentuk dan fungsi benda asalnya dan memiliki sifat yang sama sebagai mana logam dasarnya. Berbeda halnya dengan *product welding*, yaitu

pembuatan produk dari bahan mentah atau logam dasar (*wrought metal*) menjadi satu bentuk konstruksi yang baru, sehingga memiliki fungsi baru yang berbeda dari bahan asal sebelum dilakukan pengelasan. Kegiatan *welding* atau pengelasan, umumnya digunakan pada logam dasar (*wrought metal*) yang sudah melalui proses *rolling*, tempa maupun proses lainnya. Akan tetapi, dalam aplikasinya proses *welding* dapat juga dilakukan pada *cast metal* atau *cast metal alloy*. Proses *welding* yang dilakukan pada *cast metal* sering dilakukan pada produk hasil pemesinan yang mengalami cacat akibat kesalahan proses pemesinan (*machining*) dengan mesin perkakas. Seperti kesalahan pada letak lubang pengeboran, kesalahan penyayatan dan kesalahan akibat benturan maupun yang disebabkan kesalahan manusia itu sendiri. Untuk menghindari terjadinya retak pada las maka logam yang akan dilas dapat diberikan pemanasan mula (*preheat*), sedangkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, seperti kekuatan (*strength*), kelunakan (*softness*), memperhalus ukuran butir logam lasan dapat diberikan proses pemanasan lanjut.

2.3.5 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).

Masukan panas : $HI = EI/V$

Dimana: $HI = \text{masukan panas atau energi (J/mm)}$

$I = \text{Arus (Ampere)}$

$E = \text{Voltase (Volt)}$

$V = \text{Jarak/Waktu (mm/s)}$

2.4 Tensile Test

Pengujian untuk mengetahui kekuatan yang terjadi pada sambungan logam hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui

kekuatan sambungan logam hasil pengelasan, yang salah satunya dapat dilakukan suatu uji tarik yang telah distandarisasi. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan. Untuk melaksanakan pengujian tarik dibutuhkan batang tarik. Batang tarik, dengan ukuran-ukuran yang dinormalisasikan, dibubut dari spesimen yang akan diuji. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Dalam bentuk yang sederhana, uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua ujung spesimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Gaya tarik terhadap spesimen uji tarik diberikan oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) yang menyebabkan terjadinya pemanjangan spesimen uji dan sampai terjadi patah. Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan :

Tegangan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

Dimana: F = beban (kg)

A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

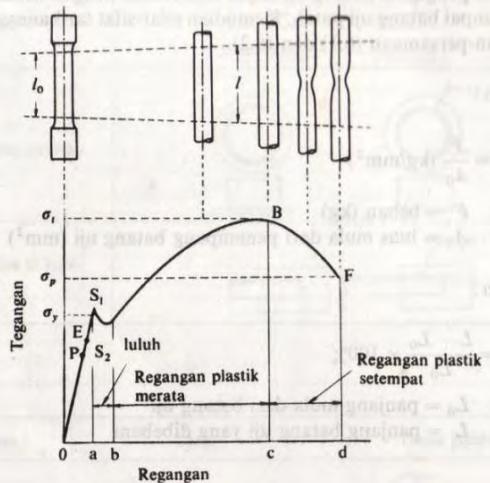
Regangan:

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana: L_0 = panjang mula dari batang uji (mm)

L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat dalam gambar 2.17. Titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastic. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastic dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S1 disebut titik luluh atas dan titik S2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2%.



Gambar 2.6 Kurva tegang-regang teknik

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine*. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban static dinaikkan secara bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (Mpa) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh (σ_{ys}) tegangan *ultimate* (σ_{ult}), modulus elastisitas bahan (E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik.

2.5 Hardness Test

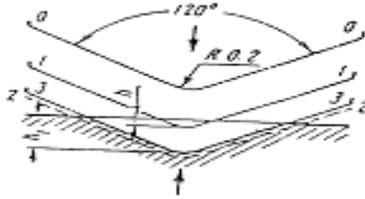
Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap indentasi, tahan terhadap penggoresan, tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan (abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strength (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*.

2.5.1 Pengujian 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 indenter, 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 indenter, seperti tercantum pada tabel 2.1. pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaannya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.7 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

- 0-0 Posisi sebelum indentasi
- 1-1 Penetrasi pada saat beban awal P1
- 2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh (P1+P)
- 3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P1

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.

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

Langkah-langkah pengujian kekerasan:

- a) Pemasangan landasan untuk benda kerja
- b) Pemasangan inventori
- c) Pengaturan beban sesuai standar pengujian

- d) Putar handle landasan sampai jarum minor (jarum kecil) ke titik merah dan jarum mayor (jarum besar) ke posisi nol.
- e) Tarik beban handle sampai jarum indikator berubah
- f) Tarik handle indikator
- g) Kembalikan handle indikator kemudian data dapat dibaca.

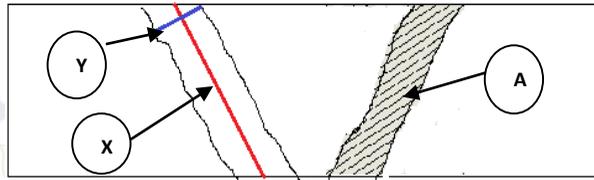
2.6 Metalography Test

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, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

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

Pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro

- Pengujian makro
Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu



Gambar 2.8 Sketsa Daerah HAZ

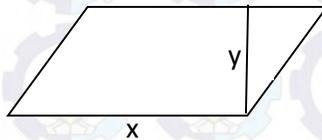
Keterangan :

A = Luas HAZ (daerah yang diarsir)

X = Panjang Acuan HAZ (garis warna merah)

Y = Lebar rata-rata HAZ (garis biru)

Untuk mengetahui lebar dari HAZ, Luasan dari HAZ harus dicari terlebih dahulu lalu dimasukkan rumus jajar genjang sebagai acuan untuk menghitung dari lebar HAZ.



Gambar 2.9 Jajar genjang

Luas = Panjang X Tinggi

x = panjang

y = tinggi

Maka ketika luas dari HAZ sudah diketahui, maka acuan dari panjang bidang harus diketahui untuk mencari lebar dari keseluruhan HAZ dalam satu bidang.

$$\text{Maka : } y = \frac{\text{Luas}}{x}$$

Perhitungan Lebar HAZ

Lebar HAZ tergantung dari beberapa factor salah satunya *heat input*

Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar HAZ maka data akan diolah terlebih dahulu melalui rumus berikut.

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13 \cdot \rho C \cdot t \cdot y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

Y = Lebar HAZ

Keterangan:

H_{net} = $H_{input} \times f$ (efisiensi perpindahan kalor)

T_0 = Temperatur awal pengelasan

T_p = Temperatur batas HAZ dan Base Metal

T_m = Temperatur Melting

ρC = $0,0044 \text{ J/mm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

t = tebal plat

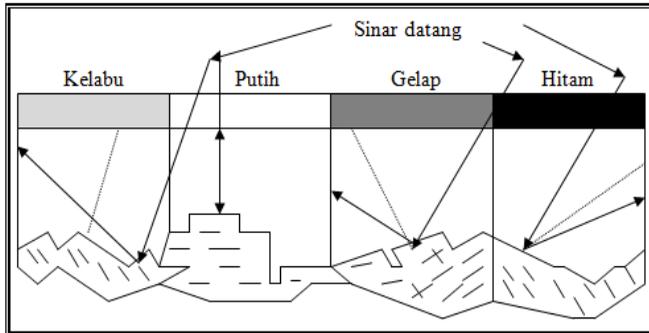
y = Lebar HAZ

f_1 = 0,9

f_2 = 0,3

dimana f_1 adalah efisiensi perpindahan kalor untuk las busur electrode, dan f_2 adalah panas busur minimum teoritis yang dibutuhkan logam untuk meleleh, dibagi dengan energi input.

- Pengujian mikro
Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.



Gambar 2.10 Pantulan Sinar Pada *Metalograph Test*

Langkah-langkah pengujian struktur mikro:

- a) Sebelumnya spesimen yang akan dilakukan pengujian dihaluskan dan diratakan permukaannya terlebih dahulu agar kemudian dapat dilihat struktur mikronya.
- b) Setelah itu permukaan yang telah selesai dihaluskan dan diratakan kemudian di etsa dengan menggunakan alkohol 95% dan HNO_3 (*nitric Acid*) benda di celupkan selama kurang lebih 5 menit kemudian di bilas dengan menggunakan alkohol dan dikeringkan.
- c) Benda uji yang telah di etsa diletakkan diatas landasan (*anvil*) tegak lurus dengan lensa mikroskop.
- d) Pembesaran yang dipakai 500 X dan 1000X
- e) Menaikkan landasan atau digeser sampai benda uji terfokus ke lensa dan mendapatkan hasil gambar yang bagus, setelah fokus kemudian dilakukan pemotretan
- f) Pemotretan (pengambilan gambar) dilakukan pada tiga lokasi berbeda pada satu permukaan saja yaitu logam induk, *HAZ*, dan daerah las.
- g) Setelah selesai pemotretan benda kerja dilepas dari landasan.

2.7 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. *American Iron And Steel Institute* (AISI) memakai sistem penomoran baja dengan empat digit angka: 10xx, 10 mengindikasikan bahwa baja tersebut adalah baja karbon, dua angka terakhir mengindikasikan persentase karbon. Sebagai contoh, angka 1020 mengindikasikan bahwa baja tersebut adalah baja karbon dengan kadar karbon 0,20%.

Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk.

1. Baja Karbon Rendah

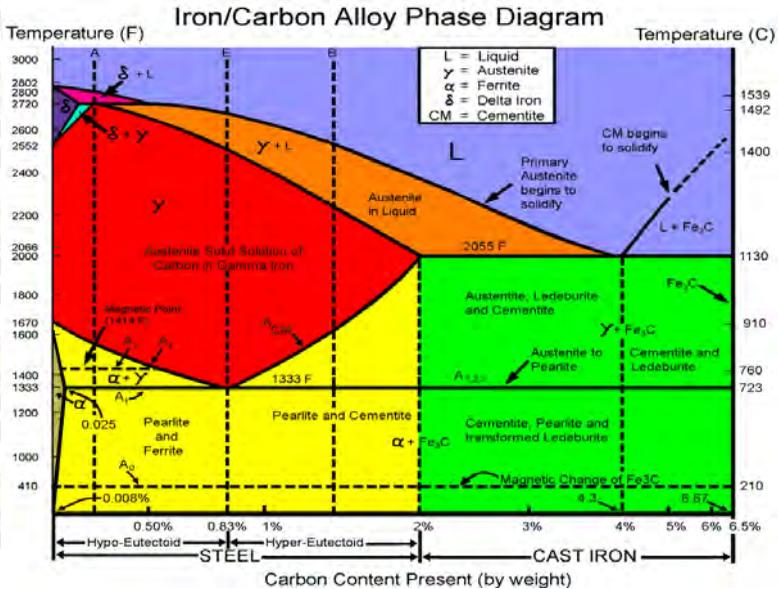
Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis *cold roll steel* dengan kandungan karbon 0,08% – 0,30% yang biasa digunakan untuk *body* kendaraan.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,30% - 0,60%. Baja karbon sedang mempunyai kekuatan yang lebih dari baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon sedang bisa dilas dengan las busur listrik elektrode terlindung dan proses pengelasan yang lain. Untuk hasil yang terbaik maka dilakukan pemanasan mula sebelum pengelasan dan normalizing setelah pengelasan.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon yang lain yakni 0,60% - 1,7%. Kebanyakan baja karbon tinggi sukar untuk dilas jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang. Karena memiliki banyak kandungan karbon dan unsur pengelas baja yang lain maka pada daerah pengaruh panas (HAZ) mudah terjadi pengelasan. Sifat yang mudah menjadi keras ini ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Pemanasan mula sebelum pengelasan dan perlakuan panas setelah dilas baik untuk mengurangi retak las pada baja karbon tinggi. Siklus *thermal* akan terjadi pada saat dilakukannya proses pengelasan baja karbon. Siklus *thermal* las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi di daerah pengelasan. Gambar 2.11 menunjukkan diagram fasa besi karbon yang menampilkan hubungan antara temperatur dengan perubahan fasa selama proses pemanasan dan pendinginan yang lambat.

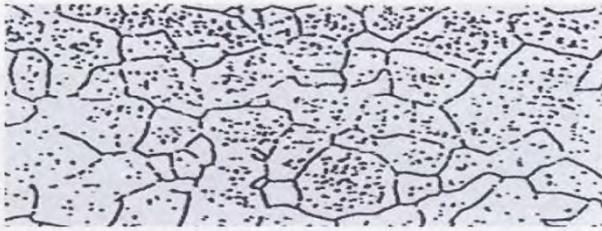


Gambar 2.11 Fase Diagram Fe₃-C

Fasa-fasa yang ada pada diagram fasa besi karbon dapat dijelaskan sebagai berikut:

A. *Ferrit* (disimbolkan dengan α)

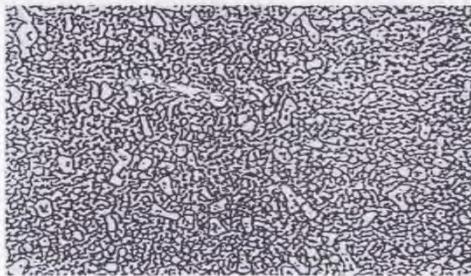
Memiliki bentuk sel satuan BCC, terbentuk pada proses pendinginan lambat dari *austenite* baja *hipoeuctoid* (baja dengan kandungan karbon $< 0,8\%$), bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktivitas thermalnya tinggi.



Gambar 2.12 Struktur mikro *ferrit*

B. *Cementit* (disimbolkan dengan Fe_3C)

Adalah senyawa besi dengan karbon, umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia Fe_3C , bentuk sel satuannya *ortorombik*, dan bersifat keras (65-68) HRC.



Gambar 2.13 Struktur mikro *cementit*

C. *Perlit* (disimbolkan dengan $\alpha + Fe_3C$)

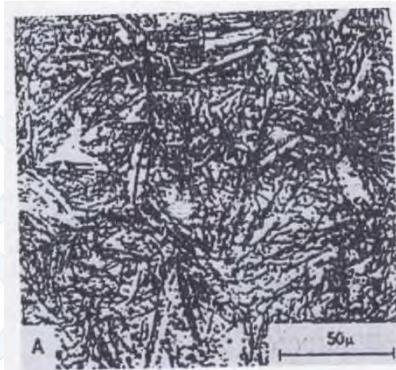
Adalah campuran *ferit* dan *cementit* berlapis dalam suatu struktur butir, memiliki nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan lambat menghasilkan *perlit* kasar, sedangkan struktur mikro *perlit* halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *perlit* kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro *perlit* halus.



Gambar 2.14 Struktur mikro *perlit*

D. *Martensit*

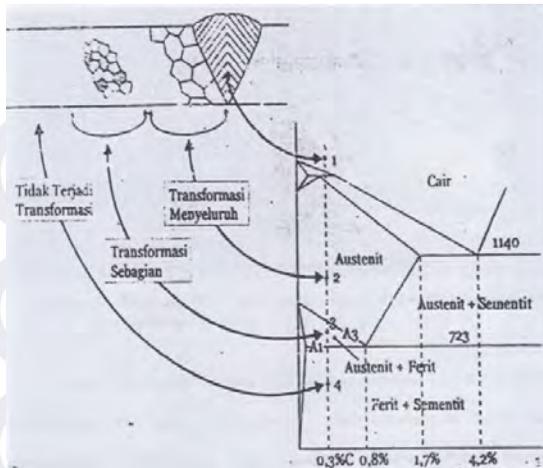
Terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenite* sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC, unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro *martensit* seperti bentuk jarum-jarum halus, bersifat keras (20-67) HRC, dan getas.



Gambar 2.15 Struktur mikro *martensit*

E. *Austenite* (disimbolkan dengan γ)

Memiliki bentuk sel satuan FCC yang mengandung unsur karbon hingga maksimum 1,7%. Transformasi fasa pada daerah pengelasan, dapat dianalisa secara eksperimental dengan menggunakan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*), karena kecepatan pendinginan dari temperatur *austenite* sampai ke temperatur ruangan berlangsung secara cepat. Kecepatan pendinginan tersebut berpengaruh pada kekuatan sambungan las, karena akan menentukan fasa akhir yang terbentuk

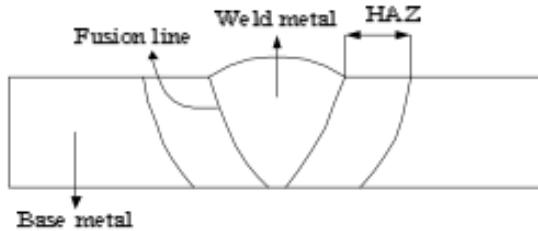


Gambar 2.16 Transformasi fasa pada daerah pengelasan

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.

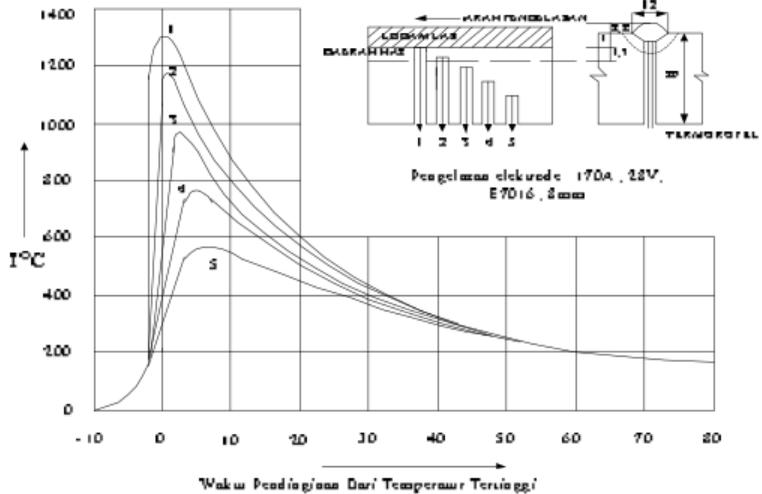
2.8 Siklus Termal Daerah Las

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas atau daerah *HAZ* dan logam induk yang tidak terpengaruh proses las. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah *HAZ* adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk adalah bagian dasar Diana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Kemudian ada lagi satu daerah khusus dari daerah lasan yaitu daerah batas las yang membatasi antara logam las dengan daerah *HAZ* atau disebut *fusion line*.



Gambar 2.17 Daerah Las

Siklus termal adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Lamanya pendinginan dalam satu daerah temperatur tertentu dari satu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Contoh siklus termal pada daerah las dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.18 Siklus termal daerah las

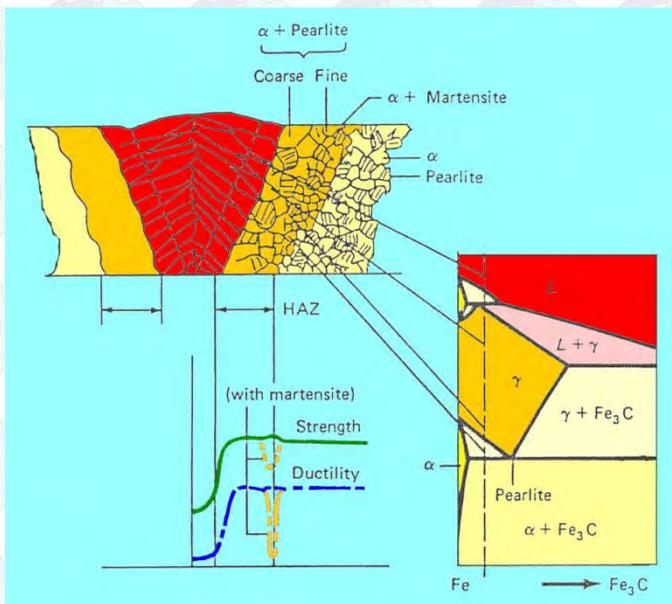
Dari grafik diatas dapat dilihat

1. Temperatur puncak semakin turun dengan bertambahnya jarak pengukuran dari pusat lasan
2. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur puncak semakin lama dengan semakin jauhnya jarak dari pusat lasan
3. Laju pemanasan dan pendinginan semakin lambat dengan bertambahnya jarak dari pusat lasan

Siklus termal dipengaruhi oleh input panas karena menunjukkan temperatur puncak laju pendinginan dan waktu pendinginan. Selain itu siklus termal juga dipengaruhi oleh jenis material, tebal, dan jenis elektrode.

2.7 Pengaruh Layer

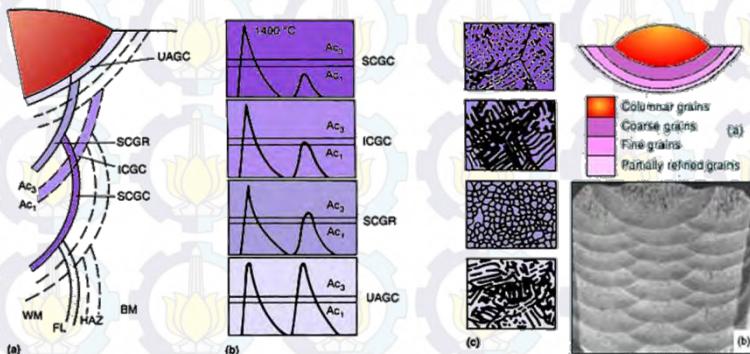
2.7.1 Single Layer



Gambar 2.19 Karakteristik sambungan las pada logam murni Fe – Fe₃C.

Gambar diatas merupakan struktur dari hasil pengelasan *single layer*. Dapat dilihat bahwa kekuatan pada daerah *weld metal* lebih rendah daripada daerah HAZ maupun *base metal*. Sehingga apabila dilakukan pengujian tarik , maka daerah patahan akan berada pada *weld metal* tersebut. Untuk menghindari patahan pada daerah *weld metal* maka diperlukan perbaikan pada WPS pengelasan, sehingga nantinya apabila dilakukan pengujian tarik maka daerah patahan akan bergeser ke daerah HAZ. Sehingga dapat dikatakan sambungan las lolos uji, karena tidak patah pada daerah *weld metal*.

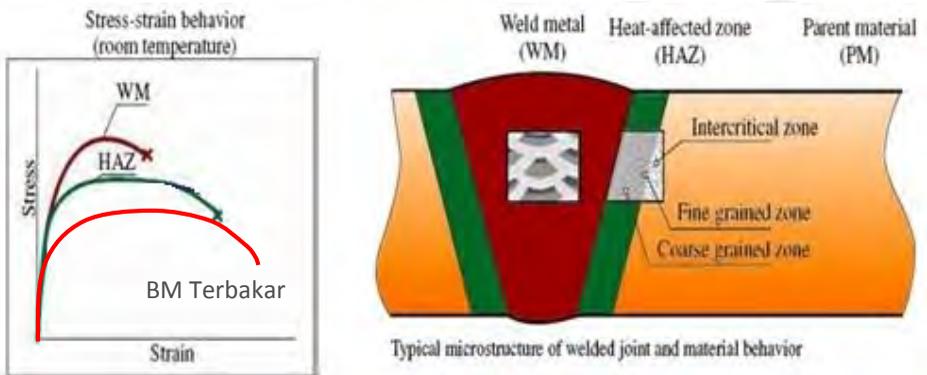
2.7.2 Multilayer



Gambar 2.20 Typical Heat Cycles 5 Δt 8/5 (Temperatur 800^o – 500^o / 300^o C) Multi Layer

Pengelasan bertumpuk (Multilayer) yaitu proses dimana *layer* kedua memberikan efek *postheat* pada *layer* sebelumnya dan *preheat* bagi *layer* sesudahnya. Pengelasan *multilayer* memberikan efek tempering pada daerah HAZ. Efek *preheat* dan *postheat* dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las. Sedangkan untuk daerah *Weld Metal* sendiri memiliki kekuatan tarik lebih besar daripada *Base Metal* karena parameter pengelasan yang benar sehingga dari WPS (*Welding*

Prosedure System) sudah terpenuhi dan hasil dari pengelasan tidak mengalami cacat las pada sambungan di logam induk. Perlakuan pengelasan multilayer memberikan sifat mekanis yang berbeda. Pemanasan awal memberikan efek menurunkan kekerasan tetapi menambah keuletan material. Karakteristik HAZ yang terbentuk dari pengelasan multilayer ini sangat berbeda, dimana luas HAZ yang terbentuk ketika pengelasan *fill cover* lebih luas daripada ketika pengelasan *root* sebagai tembusan. Hal ini jugalah yang mempengaruhi sifat mekanis material pengelasan.

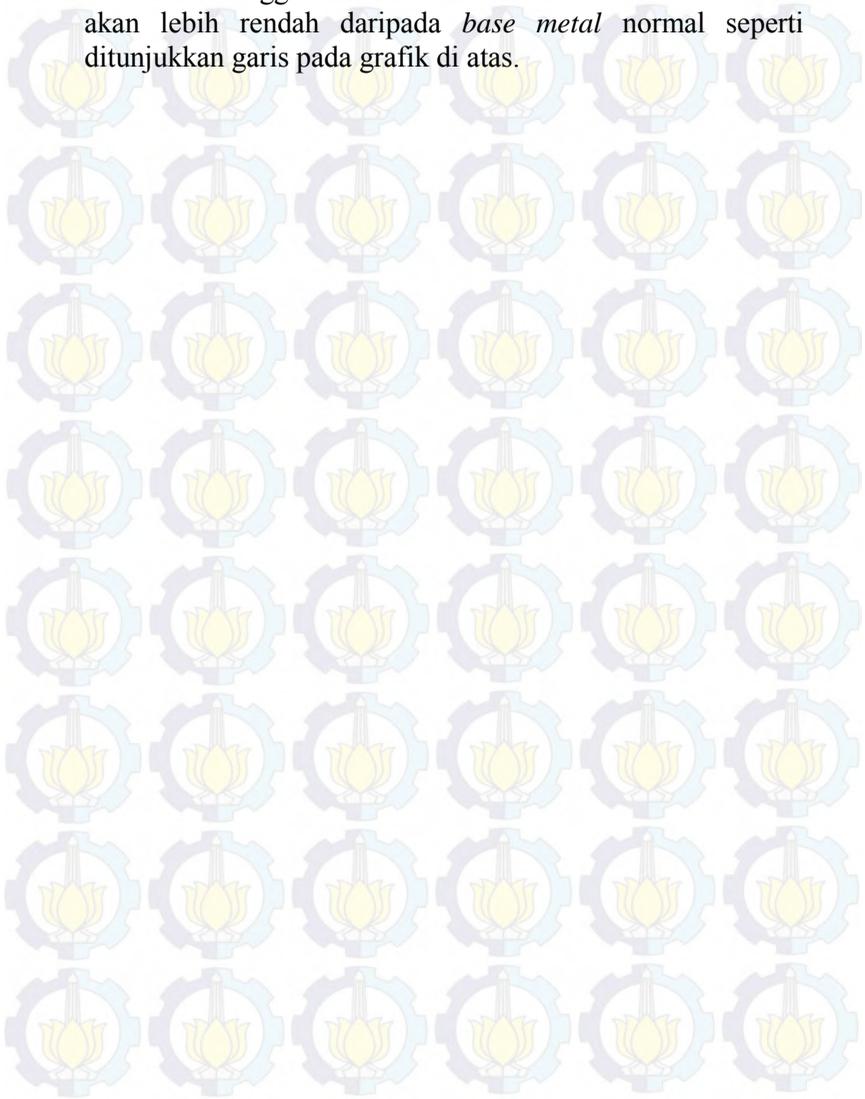


Gambar 2.21 Grafik Kekuatan Material Hasil Multi Layer

Pada grafik dapat dilihat bahwa kekuatan material pada daerah *weld metal* paling tinggi daripada HAZ dan *base metal*. Hal ini merupakan efek dari multi layer yang menyebabkan efek *preheat* dan *postheat* pada pengelasan. Jika pada single layer patahan antara weld metal dan HAZ, maka pada multi layer ini *weld metal* daerah terkuat sehingga patahan akan berada pada daerah HAZ, dan bisa memungkinkan akan patah pada daerah *base metal*.

Apabila dilakukan pengelasan dengan penggunaan filler yang nilainya sama nilai kekuatan base metal, maka patahan berada pada daerah HAZ. Tetapi jika penggunaan filler yang

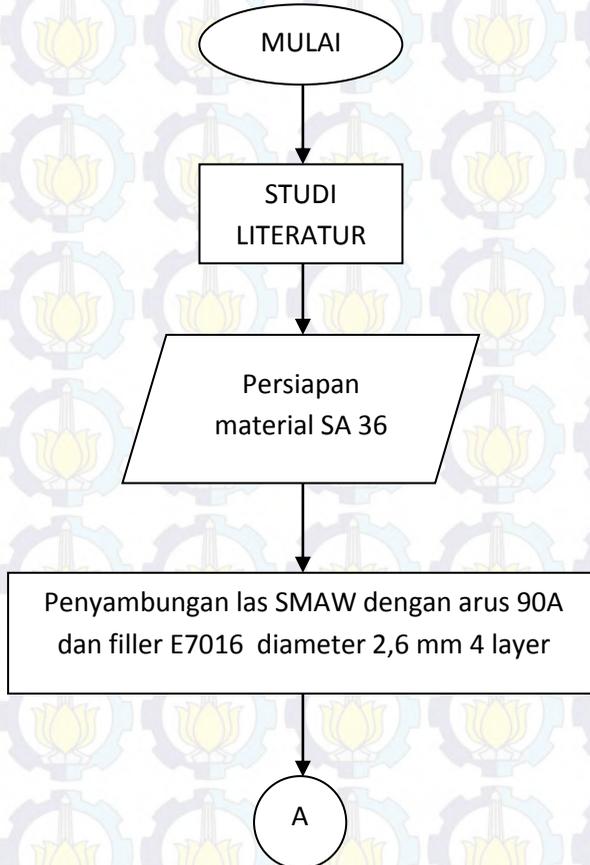
nilainya diatas *base metal* maka patah akan bergeser ke daerah *base metal*, ditambah lagi jika *base metal*nya pernah terbakar sehingga kekuatan material *base metal* terbakar akan lebih rendah daripada *base metal* normal seperti ditunjukkan garis pada grafik di atas.



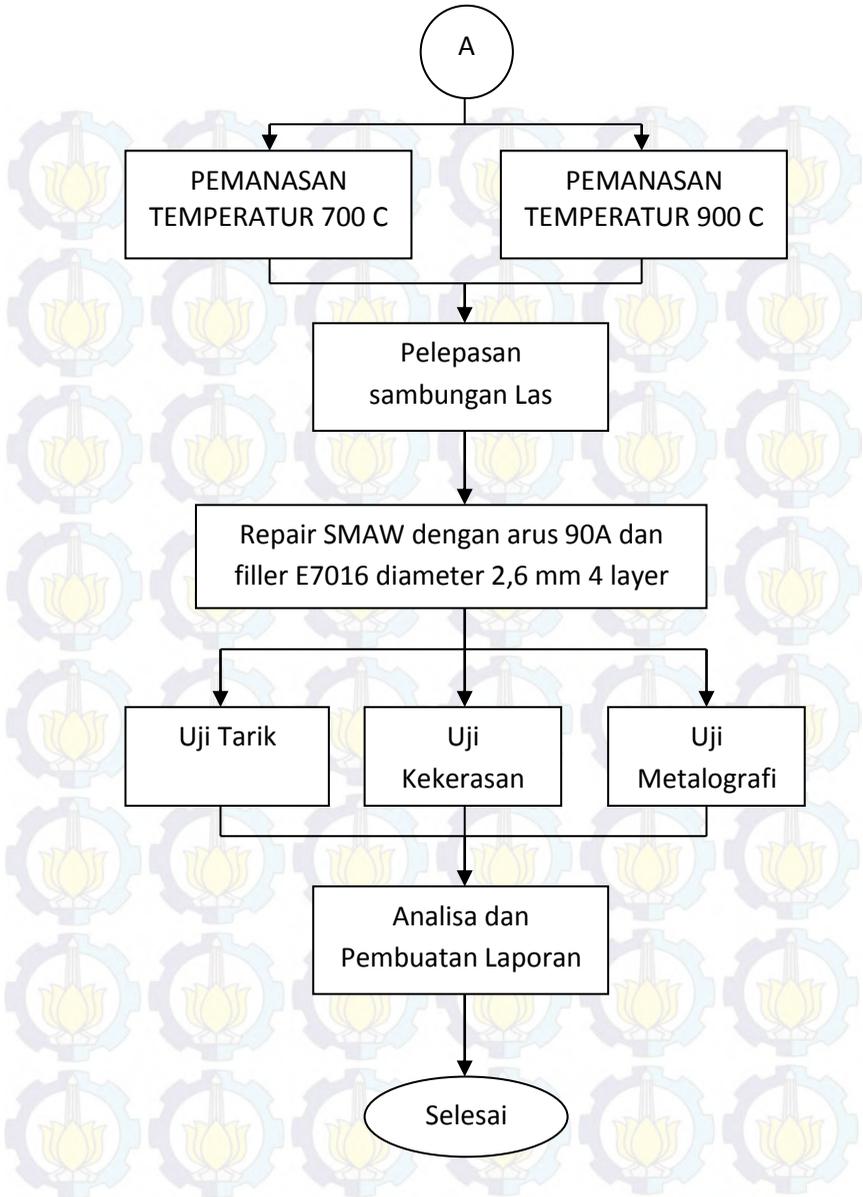
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flow Chart* Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2 pada diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart* Diagram



Gambar 3.2 *Flow Chart* Diagram (Lanjutan)

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester ganjil tahun ajaran 2015/2016 yaitu pada bulan November sampai dengan Desember 2015.

3.3 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di lab uji bahan dan bengkel pengelasan D3 Teknik Mesin FTI-ITS

3.4 Langkah Kerja

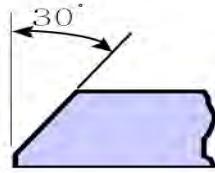
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang pengelasan SMAW serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhannya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan.

3.4.1 Studi Literatur

Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.4.2 Persiapan dan pemotongan material

Material yang digunakan adalah SA 36 dengan dimensi 110 mm x 150 mm dan tebal 10 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh single V *groove* menggunakan sudut 30^0 seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.3 Sudut Bevel Yang Digunakan



Gambar 3.4 Material Dengan Kampuh 30°

3.4.3 Pengelasan

Pengelasan dilakukan menggunakan SMAW ($DC+$, $DC-$) posisi 1G. Pengelasan pada plat menggunakan jenis elektroda, yaitu E 7016 dengan diameter filler 2,6 mm untuk penetrasi yang baik. Arus yang digunakan pada saat pengelasan SMAW adalah 90 A dengan 4 layer.

Tabel 3.1 logam induk dan pengisi E 7016

NAMA	KETERANGAN
Material Specification	SA 36
Tebal	10 mm
AWS Classification	E 7016
Filler metal Dia, mm	2,6mm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

Parameter	Layer	
	Number/pass	<i>1(Root)</i>
Proses	SMAW	SMAW
Travel speed,mm/s	1.5	1.3
Polaritas AC / DC	DC +	DC -
Amperage	80-90	80-90
Voltage	24 – 27	24 – 27
Electrode diameter,mm	2.6	2.6



Gambar 3.5 Proses Pengelasan



Gambar 3.6 Tang Ampere

3.4.4 Pemanasan Simulasi Kebakaran

Proses Pemanasan dilakukan sebagai simulasi temperatur kebakaran pada benda kerja yang telah disambung menggunakan proses pengelasan SMAW dengan temperatur 700°C dan 900°C pendinginan lambat.

3.4.5 Repair SMAW

Benda kerja yang telah mengalami proses pemanasan di dinginkan sampai pada temperatur ruangan, kemudian sambungan las dilepas. Setelah dilepas, benda kerja dilas ulang dengan parameter yang sama.



Gambar 3.7 Hasil Repair untuk 700°C



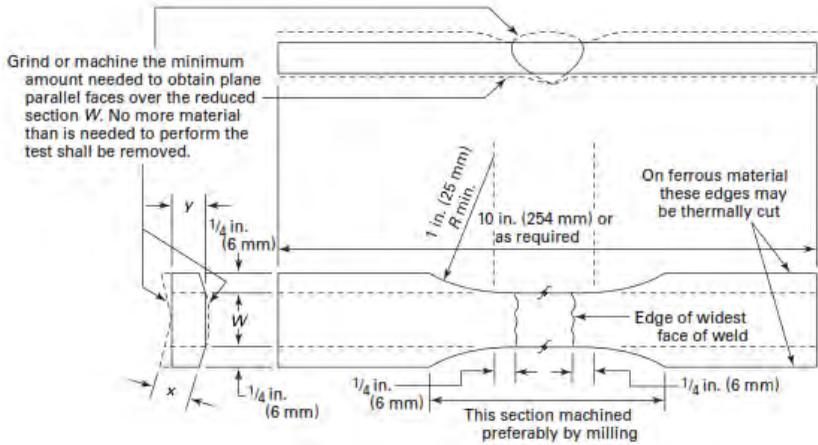
Gambar 3.8 Hasil repair untuk 900°C

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 Tarik (*Tensile*), kekerasan (*Hardness*), dan *Metalography* (*Makro dan Mikro ETSA*). Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji, namun sampling harus sebagian besar sesuai dengan standard.

A. Pengujian Tarik

Tujuan uji tarik ini untuk mengetahui sifat mekanis kekuatan tarik, kekuatan elastis dan keuletan atau mungkin sifat mekanis yang lain yang bisa dihasilkan. Untuk pengujian tarik dilakukan pengambilan spesimen total 6 spesimen. Yaitu sambungan pengelasan dengan pemansan 700°C, dan 900°C. Untuk dimensi spesimen disesuaikan dengan *ASME Section 9* untuk pengujian *tarik*.



Gambar 3.9 Dimensi Specimen tarik



Gambar 3.10 Spesimen pengujian tarik 700°C



Gambar 3.11 Spesimen pengujian tarik 900°C

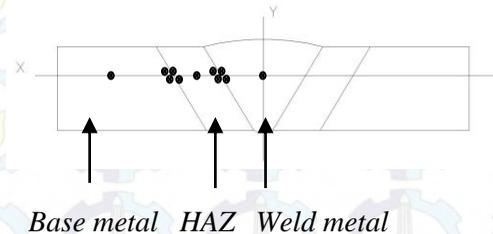
B. Pengujian Kekerasan.

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan untuk menentukan kekerasan satu material dalam bentuk daya tahan material terhadap inventar berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan benda kerja. Dalam pengujian kekerasan, jumlah bidang spesimen yang diuji adalah 3 bidang masing masing spesimen diambil 10 titik yaitu, 1 titik di *base metal*, 1 titik di *HAZ*, 1 titik di *weld Metal*, 4 titik di perbatasan antara *base metal* dan *HAZ*, dan 4 titik di perbatasan antara *HAZ* dan *base metal*.



Gambar 3.12 Alat Uji Kekerasan Rockwell

Merk : AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
 Loading : Maximum 150 KP
 : Minimum 60 KP
 Hrc Load : 150 KP
 Indentor : Kerucut intan 120°
 Hrb Load : 100 KP
 Indentor : Kerucut Intan 120°



Gambar 3.13 Lokasi Indentasi Uji Kekerasan

C. Makro dan Mikro ETZA

Pengamatan mikro struktur dilakukan dengan mengetahui titik pasti hasil dari pengujian kekerasan. Untuk proses Metalography test dibagi menjadi 2 yaitu pengamatan *Makro test* dan *Mikro test*.

A. Makro test

Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan alkohol 95% 95ml dan HCl 5ml, maka bagian Weld Metal, HAZ, dan Base metal akan terlihat.

B. Mikro test

Bertujuan untuk melihat struktur kristal logam

Prosedur pengujian metalografi adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji
Benda kerja di belah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian metalografi dilakukan pada 2 bidang pada satu spesimen.
2. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan dilakukan menggunakan mesin gerinding dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 180, 220, 500, 800, 1000, 1500 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 ± 5 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 3.14 Spesimen sebelum di etsa



Gambar 3.15 Alat dan bahan untuk proses etsa



Gambar 3.16 Larutan Etsa

4. Pengambilan gambar makro dan mikro pada spesimen.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh perbedaan variasi temperatur pemanasan sambungan las baja SA36 yang dilakukan pengelasan ulang / *repair*, melalui 3 pengujian , yaitu *Tensile Test* , *Hardness Test* , *Metalography Test*.

4.1 Heat Input

Berdasarkan data hasil pengelasan yang didapatkan, nilai dari *heat input* pada pengelasan adalah :

Tabel 4.1 *Heat input* pengelasan

Layer	Ampere (I)	Voltase (E)	Travel speed (mm/s)	HI (J/mm)
1 (<i>root</i>)	80-90	24-27	1,5	1445
2-4 (<i>fill</i>)	80-90	24-27	1,3	1667,3

4.2 Tensile Test (Uji Tarik)

Tabel 4.2 Data hasil uji tarik tanpa pemanasan

Spesimen	Yield Force (kN)	Yield Stress (MPa)	Max Force (kN)	Luas Area (mm ²)	Max Stress (MPa)
Sebelum kebakaran	63.94	399.94	82.67	159.88	517.05
	73.54	407.02	95.07	180.69	526.13
	70.02	389.97	94.34	179.55	525.42
Rata - rata	71.78	398.495	94.705	180.12	525.775

Data diatas didapat dari Fahrudy Dwi W. :2016. "Pengaruh Variasi Ampere 90 Dan 110 Terhadap Sifat

Mekanik Material SA36 Yang Disambung Dengan Metode Pengelasan SMAW Arus DC”.

Pada pengujian tarik digunakan 6 spesimen berdasarkan variasi temperatur , yaitu 3 spesimen untuk temperatur 700°C dan 3 spesimen untuk temperatur 900°C didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Tarik

Suhu	NO	Yield Force (kN)	Yield Stress (Mpa)	Max Force (kN)	Luas Area (mm ²)	Max Stress (Mpa)
700°C	1	64,13	352,3	86,9	163,02	477,43
	2	80,83	411,44	94,82	163,21	482,64
	3	80,79	412,44	93,86	179,17	479,16
Rata rata		75,25	392,06	91,86	168,47	479,74
900°C	1	60,02	368,19	76,13	182,02	467,01
	2	55,24	338,46	73,43	196,46	449,9
	3	68,81	384,02	84,69	195,89	472,68
Rata rata		61,36	363,56	78,08	191,46	463,20

Berdasarkan tabel diatas, maka didapat grafik hasil uji tarik material tanpa pemanasan, dengan pemanasan 700°C dan 900°C.



Gambar 4.1 Grafik nilai tegangan tarik

Dari data diatas, nilai *max stress* rata – rata pada temperatur 900°C adalah 463.20 N/mm². Sedangkan pada temperatur 700°C memiliki nilai *max stress* rata – rata 479.74 N/mm² dan pada spesimen tanpa pemanasan memiliki nilai *max stress* rata – rata 525.77 N/mm². Dengan kata lain, nilai *max stress* pada spesimen tanpa pemanasan lebih tinggi daripada spesimen dengan temperatur 700°C dan 900°C.

Untuk mencari regangan maka dapat dilihat pada gambar di bawah

Temperatur 700°C





Gambar 4.2 panjang L_0 dan panjang L_1 temperatur 700°C

Temperatur 900°C



Gambar 4.3 panjang L_0 dan panjang L_1 temperatur 900°C

- Regangan

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \%$$

Dimana

ϵ = Regangan (%)

ΔL = Perpanjangan (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

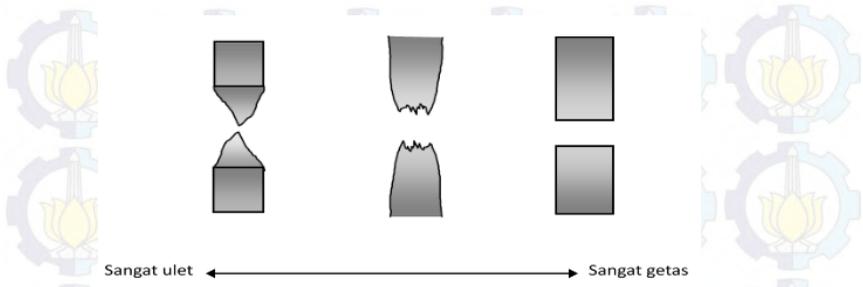
Tabel 4.4 Data Hasil Regangan

Suhu	NO.	L0 (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	ϵ (%)
Sebelum Terbakar	1	27	32,48	5,4	20,31
	2	27	31,84	4,8	17,95
	3	27	31,33	4,33	16,06
Rata rata					17,00
700°C	1	27	31,02	4,02	14,91
	2	27	30,5	3,5	13,66
	3	27	29,16	2,16	8,87
Rata rata					12,48
900°C	1	27	32,68	5,68	21,57
	2	27	32,56	5,56	20,66
	3	27	32,52	5,52	20,45
Rata rata					20,89

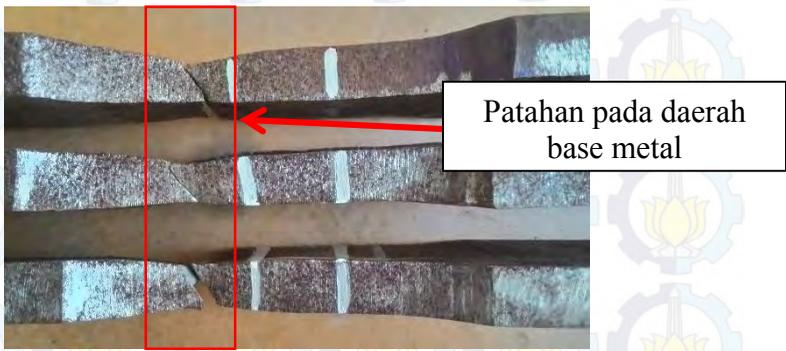
Berdasarkan data dari tabel diatas, maka didapat grafik persentase regangan antara spesimen material yang belum terbakar, pemanasan temperatur 700°C dan 900°C

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa regangan rata rata pada temperatur 900°C dengan nilai 20,89%. Sedangkan pada temperatur 700°C memiliki nilai regangan rata rata 12,48% dan pada spesimen tanpa pemanasan memiliki nilai 17 %.

Dilihat dari specimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari specimen dapat dilihat sebagai berikut



Gambar 4.4 Contoh Bentuk Patahan

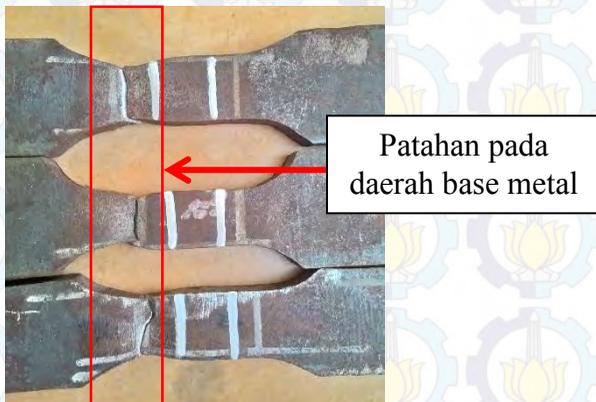


Gambar 4.5 Bentuk Patahan Spesimen Temperatur 700°C
Tampak Samping

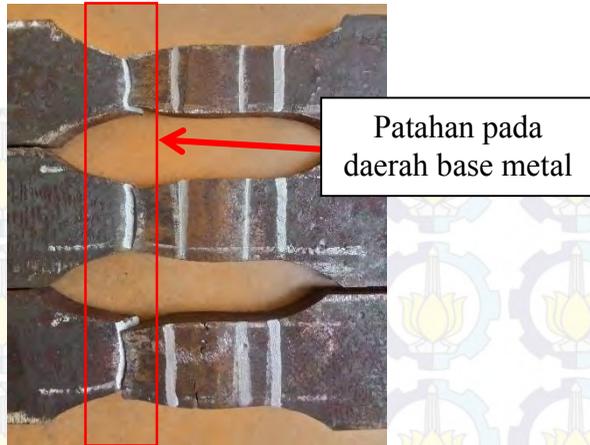


Gambar 4.6 Bentuk Patahan Spesimen Temperatur 900°C
Tampak Samping

Dari 2 gambar diatas, dilihat dari bentuk putusnya dapat dikatakan bahwa material SA36 bersifat *ductile*.



Gambar 4.7 Daerah Patahan Temperatur 700°C Tampak Muka



Gambar 4.8 Daerah Patahan Temperatur 900°C Tampak Muka

Pada pengujian tarik, hasil patahan terletak pada base metal. Hal ini terjadi karena kekuatan tarik pada *base metal* lebih rendah daripada *HAZ* dan *weld metal*. Pada *weld metal*, kekuatan tariknya lebih tinggi karena *filler* dipilih yang memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada *base metal*. Sedangkan pada daerah *HAZ*, terpengaruh oleh dampak *preheat* dan *postheat* pada pengelasan *multilayer*.

4.3 Hardness Test (Uji Kekerasan)

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen sebanyak 3x pengujian di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang spesimen yang berguna untuk mencari kepastian nilai kekerasan. Selain itu hasil patahan dari uji tarik akan diamati juga.

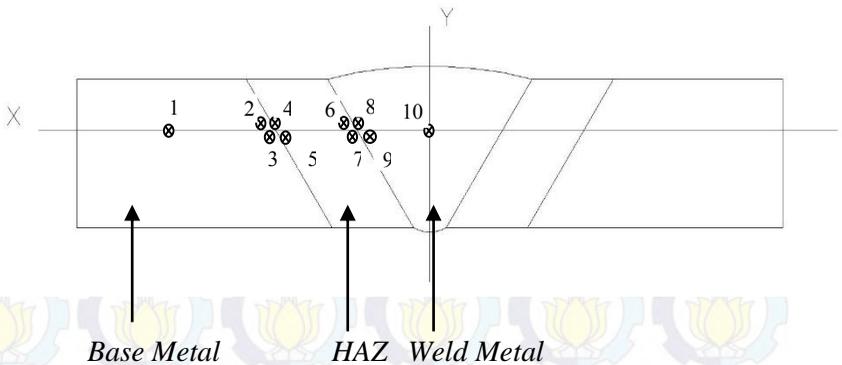
Bentuk spesimen patahan hasil uji tarik sebagai acuan untuk uji kekerasan seperti gambar di bawah

Letak indentasi untuk temperatur 700



Gambar 4.9 Daerah Acuan Titik Indentasi Uji Kekerasan

Bentuk pengujian kekerasan pada spesimen menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah



Gambar 4.10 Daerah titik indentasi uji kekerasan
Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah

Bidang 1



Gambar 4.11 Uji kekerasan bidang 1 temperatur 700°C

Gambar uji kekerasan pada bidang ke-1 dengan temperatur pemanasan 700°C dengan jumlah indentasi sebanyak 10 titik.

Bidang 2



Gambar 4.12 Uji kekerasan bidang 2 temperatur 700°C

Gambar uji kekerasan pada bidang ke-2 dengan temperatur pemanasan 700°C dengan jumlah indentasi sebanyak 10 titik.

Bidang 3



Gambar 4.13 Uji kekerasan bidang 3 temperatur 700°C

Gambar uji kekerasan pada bidang ke-3 dengan temperatur pemanasan 700°C dengan jumlah indentasi sebanyak 10 titik.

Dari pengujian kekerasan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.5 Nilai indentasi untuk temperatur 700°C

Titik Indentasi		Bidang			Rata rata
		1	2	3	
BM	1	73,5	73	74	73,50
	2	75,4	76,5	80	77,30
	3	74,5	75	77,5	75,67
HAZ	4	83,5	80,5	82	82,00
	5	82	87	84,5	84,50
	6	83,5	87	88,5	86,33
	7	79	86	88	84,33
WM	8	88,8	87,5	92	89,43
	9	88	89	89	88,67
	10	85	87,5	86,5	86,33

Berdasarkan data dari tabel di atas maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut

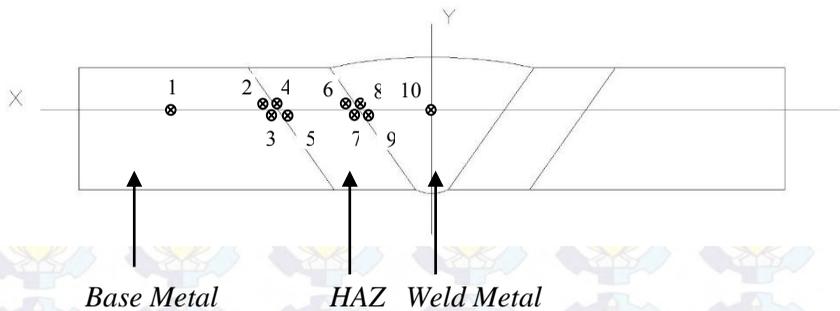


Gambar 4.15 Nilai Uji Kekerasan Temperatur 700°C Letak indentasi untuk temperatur 900



Gambar 4.16 Daerah Acuan Titik Indentasi Uji Kekerasan

Dari acuan diatas maka bentuk pengujian kekerasan pada spesimen menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah



Gambar 4.17 Daerah Titik Indentasi Pada Spesimen

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada specimen dapat dilihat di gambar di bawah

Bidang 1



Gambar 4.17 Uji kekerasan bidang 1 temperatur 900°C

Gambar uji kekerasan pada bidang ke-1 dengan temperatur pemanasan 900°C dengan jumlah indentasi sebanyak 10 titik.

Bidang 2



Gambar 4.18 Uji kekerasan bidang 2 temperatur 900°C

Gambar uji kekerasan pada bidang ke-2 dengan temperatur pemanasan 900°C dengan jumlah indentasi sebanyak 10 titik.

Bidang 3



Gambar 4.19 Uji kekerasan bidang 3 temperatur 900°C

Gambar uji kekerasan pada bidang ke-3 dengan temperatur pemanasan 900°C dengan jumlah indentasi sebanyak 10 titik.

Tabel 4.6 Nilai indentasi untuk temperatur 900°C

Titik Indentasi		Bidang			Rata rata
		1	2	3	
BM	1	71	71	70	70,67
	2	76,5	82,5	78	79,00
	3	80,5	82,6	86	83,03
HAZ	4	85,5	87	84	85,50
	5	83,5	91	87	87,17
	6	84	87	86,5	85,83
	7	84	90	88,5	87,50
WM	8	89	90	88	89,00
	9	88,6	90,5	90	89,70
	10	86	88	86	86,67

Berdasarkan data dari tabel di atas maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut



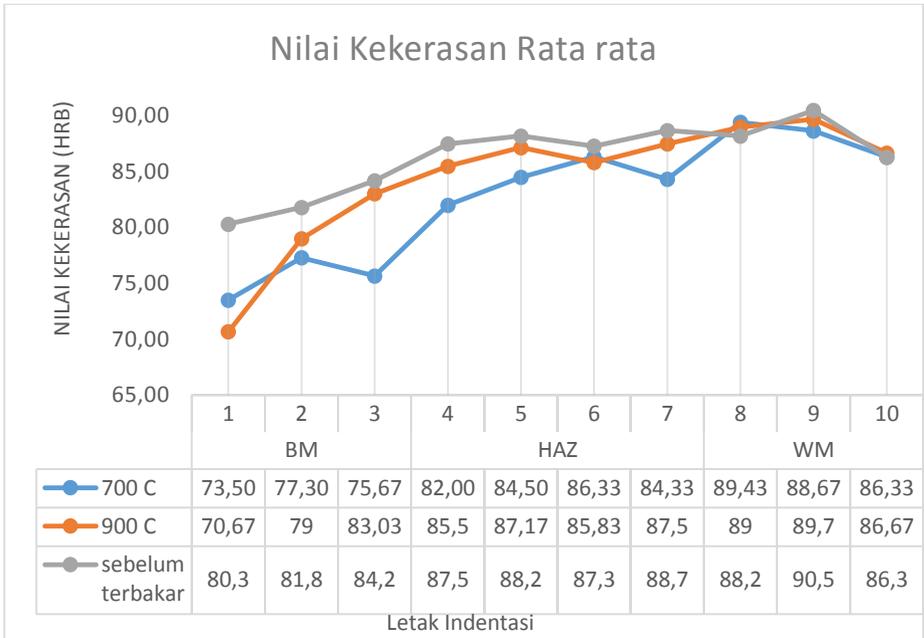
Gambar 4.20 Nilai Uji Kekerasan Temperatur 900°C

Dari data hasil pengujian kekerasan temperatur 700°C dan 900°C didapatkan hasil kekerasan rata rata sebagai berikut:

Tabel 4.7 Nilai kekerasan rata rata

Titik Indentasi		700°C	900°C	Sebelum terbakar
BM	1	73,50	70,67	80,3
	2	77,30	79	81,8
	3	75,67	83,03	84,2
HAZ	4	82,00	85,5	87,5
	5	84,50	87,17	88,2
	6	86,33	85,83	87,3
	7	84,33	87,5	88,7
WM	8	89,43	89	88,2
	9	88,67	89,7	90,5
	10	86,33	86,67	86,3

Berdasarkan data dari tabel di atas maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut



Gambar 4.21 Grafik nilai kekerasan rata rata

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan, yang memiliki nilai rata – rata tertinggi pada hasil pengelasan tanpa proses pemanasan di daerah *Weld Metal* di titik ke-9 dengan nilai kekerasan 90,5 HRB. Pada temperatur 700°C di daerah *Weld Metal* di titik indentasi ke-8 dengan nilai rata - rata 89,43 HRB. Sedangkan hasil pengelasan dengan temperatur 900°C di daerah *Weld Metal* di titik indentasi ke-9 memiliki nilai rata – rata 89,7 HRB. Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan, yang memiliki nilai tertinggi pada hasil pengelasan di daerah *Weld Metal*. Hal ini dapat terjadi karena proses laju pendinginan paling cepat terjadi pada daerah tersebut.

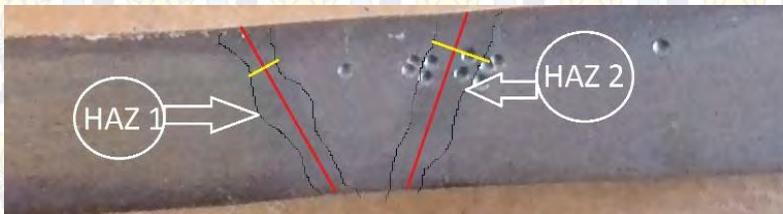
4.3 Metallography Test (Uji Metalografi)

Pada pengujian metalografi ini yang akan dilihat struktur mikronya yaitu daerah perbatasan antara *base metal*, *HAZ*, *weld metal* serta ditambah masing masing daerah *base metal*, *HAZ*, *weld metal*.

4.3.1 Pengujian Makro

Hasil pengujian makro dapat dilihat pada gambar di bawah. Maka untuk mengetahui lebar dari masing-masing HAZ dilakukan permisalan yang akan dijelaskan pada gambar berikut.

BIDANG HAZ 700°C



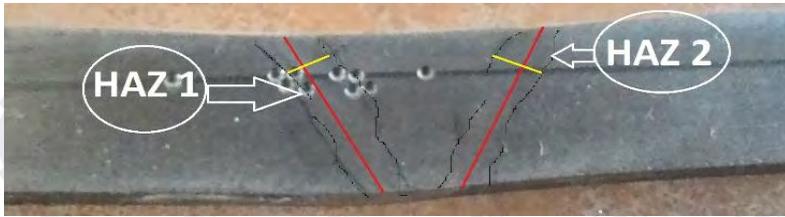
Gambar 4.22 Lebar HAZ Temperatur 700°C

Untuk lebih jelasnya akan ditampilkan hasil dari lebar rata rata keseluruhan dari HAZ dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.8 HAZ temperatur 700°C

TEST PIECE	HAZ						Lebar rata rata HAZ
	HAZ 1			HAZ 2			
	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	Y1 dan Y2 (mm)
Bidang	27	9	3	27,31	9,5	2,87	2,92
Keterangan : A (Luas HAZ), X(Panjang Acuan HAZ), Y(Lebar rata-rata HAZ pada satu bidang)							

BIDANG HAZ 900°C



Gambar 4.23 Lebar HAZ Temperatur 900°C

Untuk lebih jelasnya akan ditampilkan hasil dari lebar rata rata keseluruhan dari HAZ dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.9 HAZ temperatur 900°C

TEST PIECE	HAZ						Lebar rata rata HAZ
	HAZ 1			HAZ 2			
	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	Y1 dan Y2 (mm)
Bidang	23,75	9,5	2,5	23,75	9,5	2,5	2,72
Keterangan : A (Luas HAZ), X(Panjang Acuan HAZ), Y(Lebar rata-rata HAZ pada satu bidang)							

Rumus Perhitungan Lebar HAZ

Lebar HAZ tergantung dari beberapa factor salah satunya *heat input*. Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar HAZ maka data akan diolah terlebih dahulu melalui rumus berikut.

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13 \cdot \rho C \cdot t \cdot y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

Y = Lebar HAZ

Keterangan:

H_{net} = $H_{input} \times f$ (efisiensi perpindahan kalor)

T_0 = Temperatur awal pengelasan

T_p = Temperatur batas Haz dan Base Metal

T_m = Temperatur Melting

ρC = $0,0044 \text{ J/mm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

t = tebal plat

y = Lebar HAZ

f_1 = 0,9

f_2 = 0,3

dimana f_1 adalah efisiensi perpindahan kalor untuk las busur electrode, dan f_2 adalah panas busur minimum teoritis yang dibutuhkan logam untuk meleleh, dibagi dengan energi input.

Diketahui :

$F_1 = 0,9$

$F_2 = 0,3$

Parameter pengelasan

- $E = 27 \text{ volt}$
- Arus = 90 A
- $V = 1,3 \text{ mm/s}$
- T_p = diasumsikan 730°C

$$H_{\text{nett}} = \frac{f1.E.I}{V} = \frac{0,9,27.90}{1,3} = 1682,3 \text{ joule/mm}$$

Lebar HAZ :

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13(0,0044) \cdot 10 \cdot Y}{1682,3} + \frac{1}{1510 - 25}$$

$$\frac{1}{730 - 25} = \frac{4,13(0,0044) \cdot 10 \cdot Y}{1682,3} + \frac{1}{1510 - 25}$$

$$\frac{1}{705} = \frac{0,181 \cdot Y}{1682,3} + \frac{1}{1485}$$

$$\frac{1}{705} = \frac{0,181 Y(1485) + 1682,3}{2498215,5}$$

$$\frac{1}{705} = \frac{268,785 \cdot Y + 1682,3}{2498215,5}$$

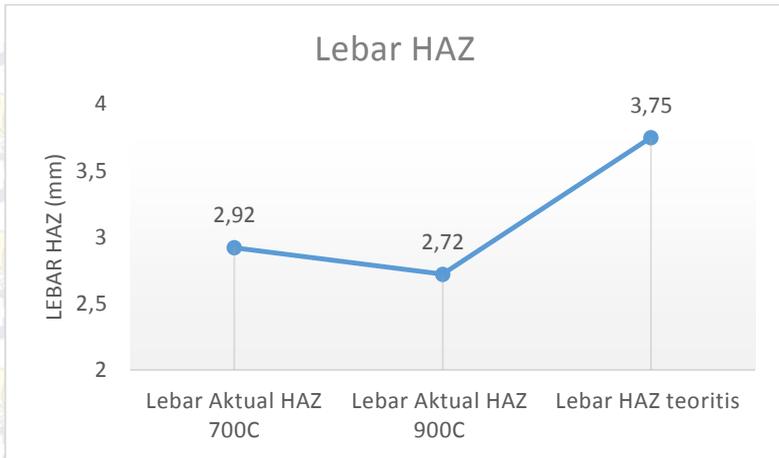
$$2498215,5 = 705 (268,785 \cdot Y + 1682,5)$$

$$2498215,5 = 189493,42 Y + 1186021,5$$

$$Y = \frac{712193}{189493,42} = 3,75 \text{ mm}$$

Tabel 4.10 Lebar HAZ aktual dan teoritis

TEST PIECE	Lebar Aktual HAZ 700C (mm)	Lebar Aktual HAZ 900C (mm)	Lebar HAZ teoritis (mm)
Lebar	2,92	2,72	3,75

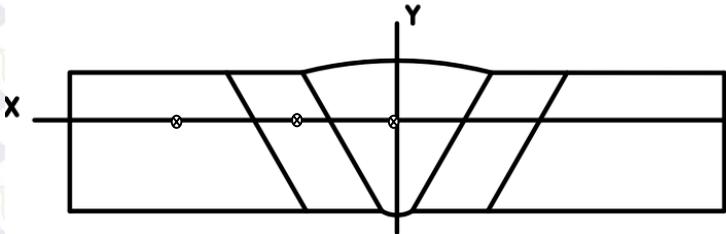


Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Lebar HAZ

Pada hasil makro etsa didapatkan bahwa lebar *HAZ* pada temperatur 700°C yaitu 4,3 mm. sedangkan pada hasil temperatur 900°C yaitu 2,5mm, dan lebar *HAZ* menurut perhitungan adalah 3,5mm.

4.3.2 Pengujian Mikro

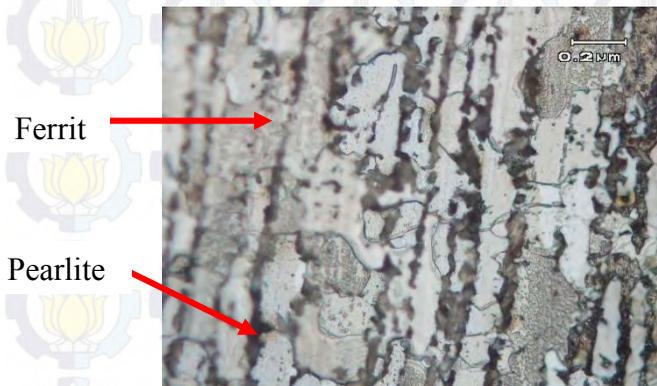
Untuk pengujian mikro daerah yang di foto mikro adalah sebagai berikut:



Gambar 4.24 Titik pengambilan foto mikro

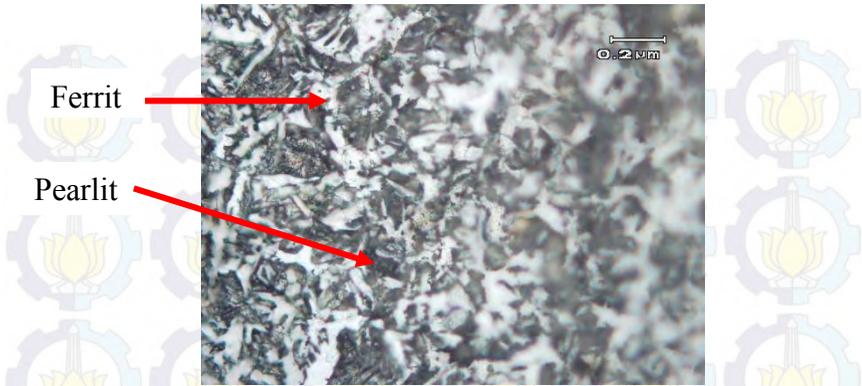
Temperatur 700°C

1. *Base Metal*



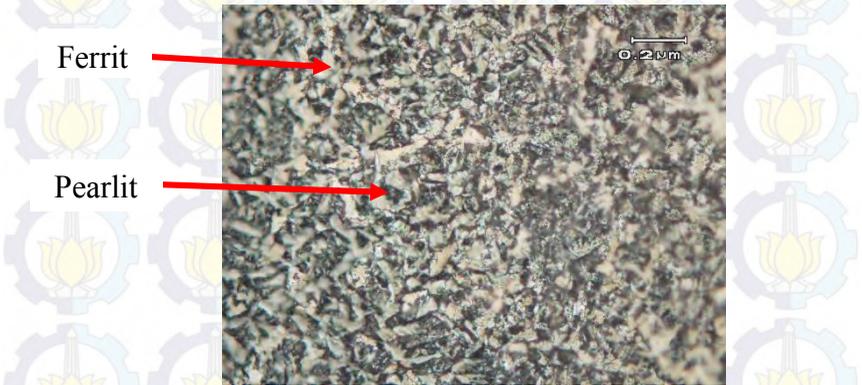
Gambar 4.25 Foto mikro *base metal* dengan pembesaran 100X

2. HAZ



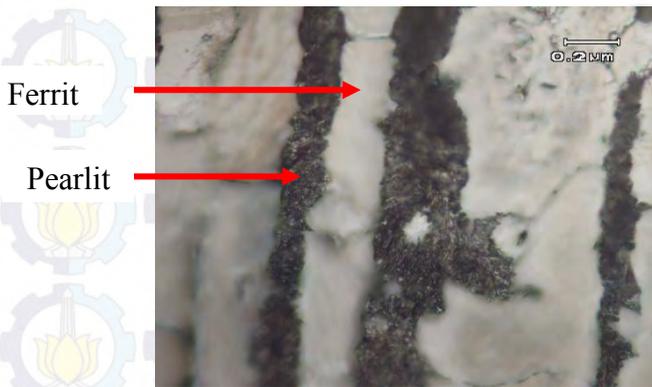
Gambar 4.26 Foto mikro *HAZ* dengan pembesaran 500X

3. *Weld Metal*



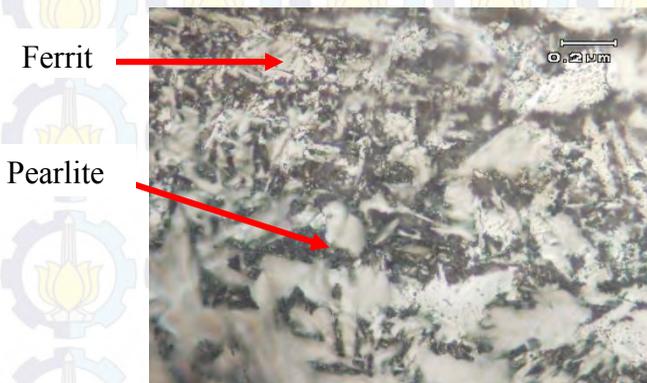
Gambar 4.27 Foto mikro *Weld Metal* dengan pembesaran 500X

Temperatur 900°C
1. *Base Metal*



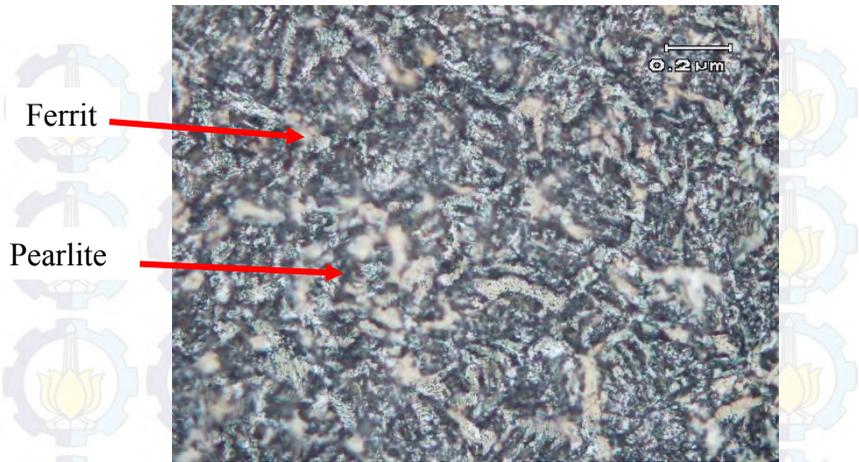
Gambar 4.28 Foto mikro *Base Metal* dengan pembesaran 500X

2. *HAZ*

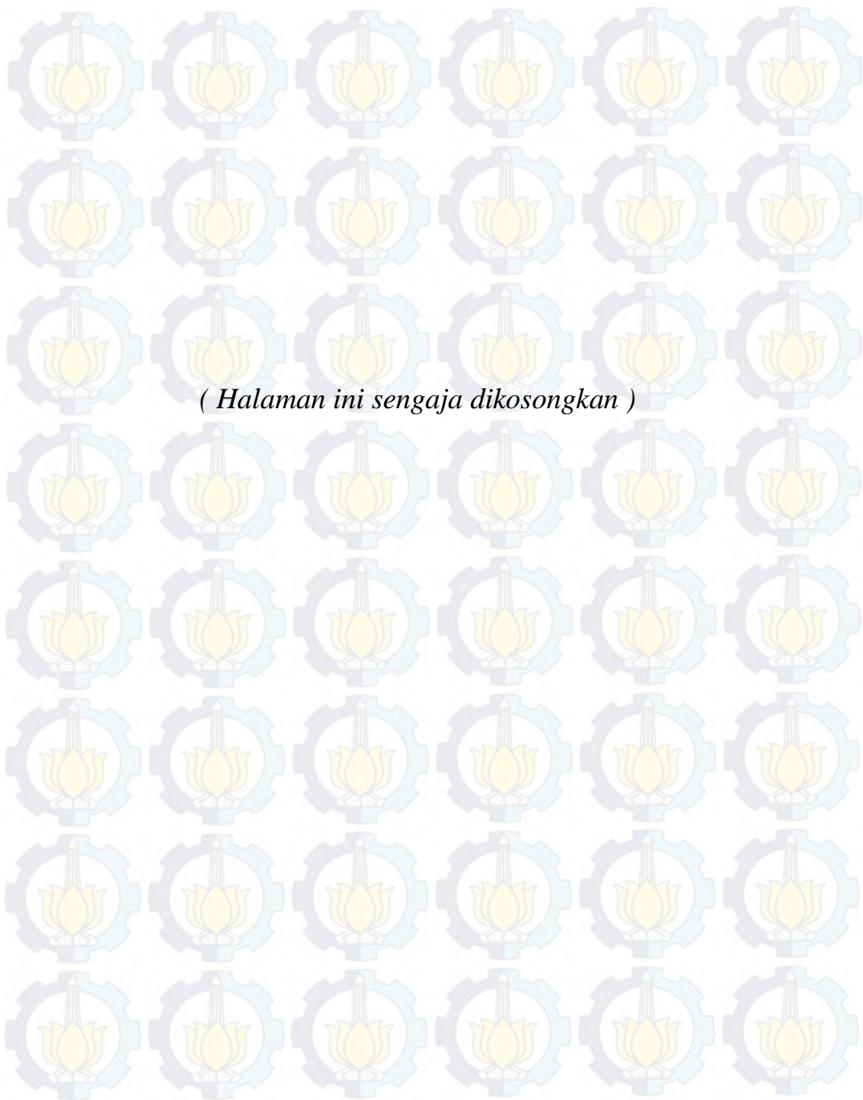


Gambar 4.29 Foto mikro *HAZ* dengan pembesaran 500X

3. *Weld Metal*



Gambar 4.30 Foto mikro *Weld metal* dengan pembesaran 500X



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dari hasil uji tarik , uji kekerasan , uji metalografi dapat disimpulkan bahwa material baja SA36 ini setelah di *repair* / dilakukan pengelasan ulang dengan terlebih dahulu dilakukan simulasi kebakaran dengan variasi temperatur 700 °C dan 900 °C bahwa :

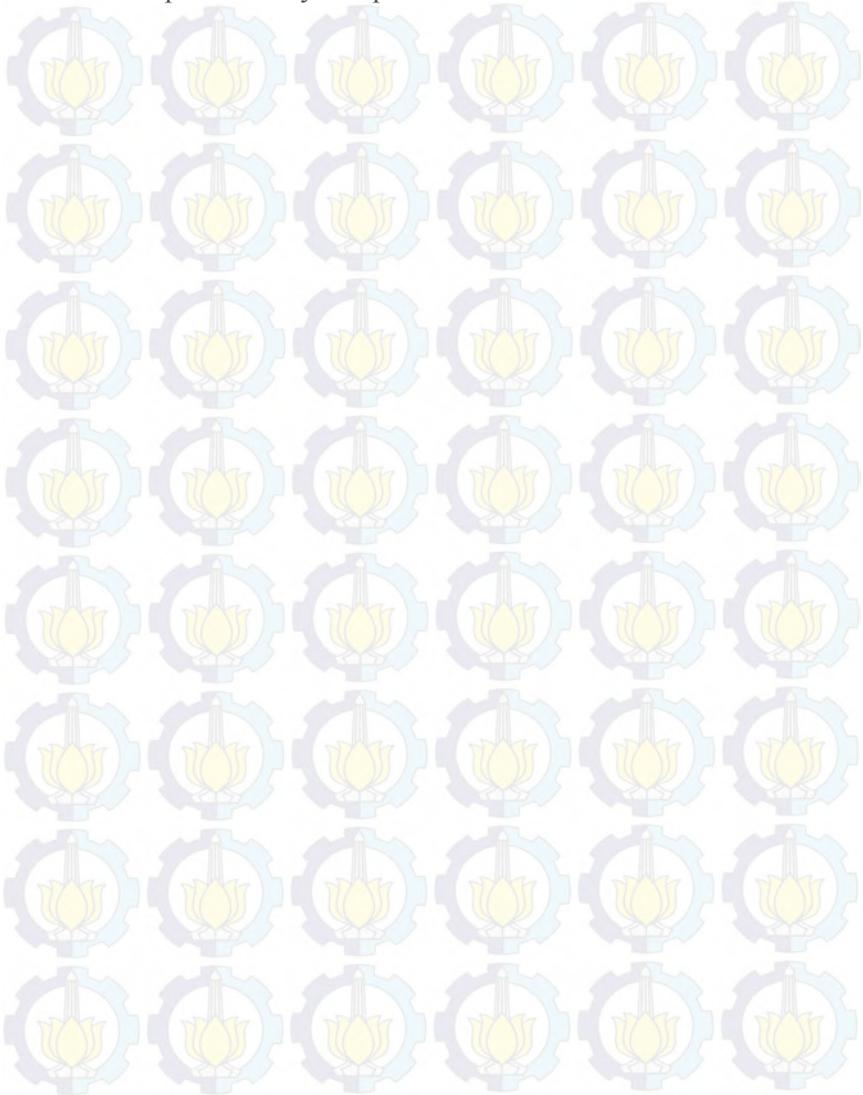
1. Nilai *max stress* pada temperatur 900°C adalah 463.20 N/mm², pada temperatur 700°C memiliki nilai *max stress* 479.74 N/mm². Daerah patahan terdapat pada *base metal*. Sedangkan dilihat dari hasil patahan pada spesimen, dapat disimpulkan bahwa material bersifat *ductile*.
2. Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Didapat data nilai kekerasan paling besar pada temperatur 700°C di daerah *Weld Metal* dengan nilai 89,43 HRB. Sedangkan pada temperatur 900°C di daerah *Weld Metal* memiliki nilai 89,7 HRB.
3. Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan, nilai tertinggi ada di daerah *Weld Metal*. Pada hasil makro etsa didapatkan bahwa lebar *HAZ* pada hasil temperatur 700°C yaitu 2,92 mm. Sedangkan pada hasil temperatur 900°C yaitu 2,72 mm. Hasil perhitungan lebar secara teoritis sebesar 3,75 mm. Hasil struktur mikro pada material terdapat *ferrit* dan *pearlit*.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Pada penelitian kali ini pengujian yang dilakukan hanya sebatas mengetahui nilai kekerasan dan kekuatan tarik dari material, untuk selanjutnya bisa dilakukan dengan pengujian *Impact Test* dan *Bend Test*.

2. Pada penelitian ini suhu antar pass atau layer tidak terkontrol, pada penelitian selanjutnya pengontrolan suhu antar pass atau layer dapat dilakukan.



Lampiran 1

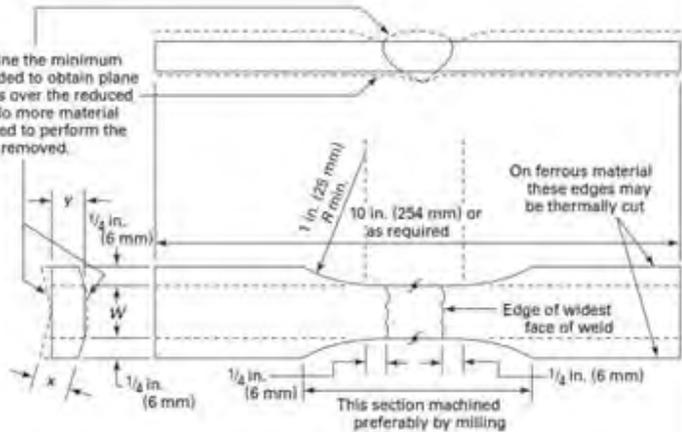
Tabel: skala kekerasan *rockwell b*

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

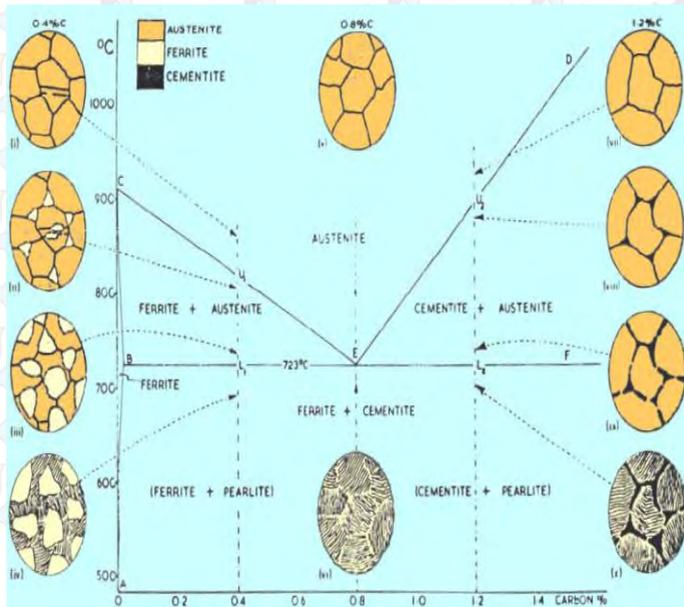
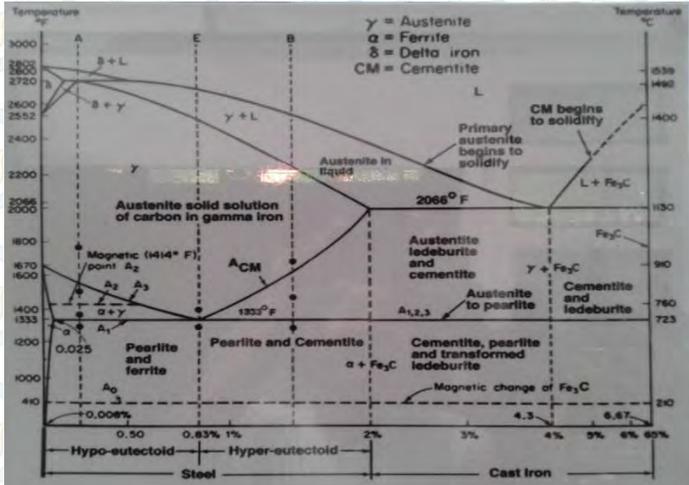
Lampiran 2

Tensile- Reduced Section – Plate

Grind or machine the minimum amount needed to obtain plane parallel faces over the reduced section W . No more material than is needed to perform the test shall be removed.



Lampiran 3 Diagram Fe_3C



Lampiran 4

Hasil uji tarik spesimen 700

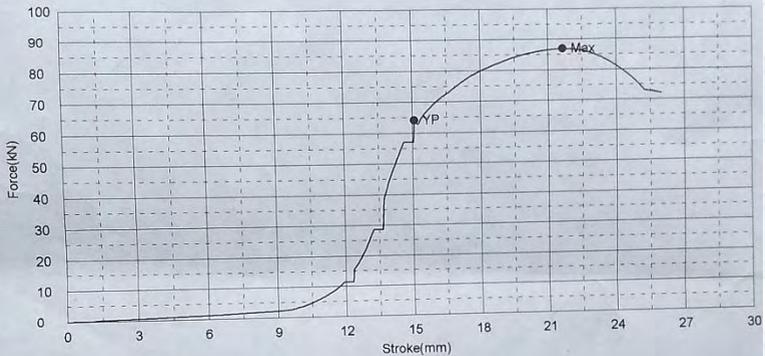
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
BG-700-I	9.5000	19.1600	62.9000

Name	Area	Yield_Force	Yield_Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BG-700-I	182.02	64.13	352.30	86.90	477.43

Name	Elongation
Units	%
BG-700-I	14.91



Comment

Hasil uji tarik spesimen 700 (lanjutan)

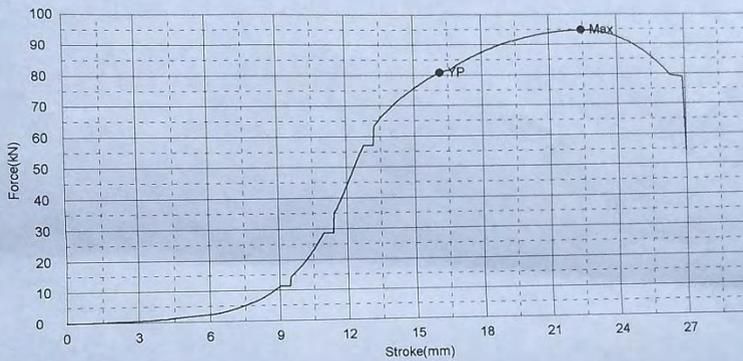
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
BG-700-II	9.5000	20.6800	58.8200

Name	Area	Yield Force	Yield Stress	Max Force	Max Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BG-700-II	196.46	80.83	411.44	94.82	482.64

Name	Elongation
Units	%
BG-700-II	20.66



Comment

Hasil uji tarik spesimen 700 (lanjutan)

LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
BG-700-III	9.5000	20.6200	58.8200

Name	Area	Yield_Force	Yield_Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BG-700-III	195.89	80.79	412.44	93.86	479.16

Name	Elongation
Units	%
BG-700-III	20.45



Comment

Lampiran 5

Hasil uji tarik spesimen 900

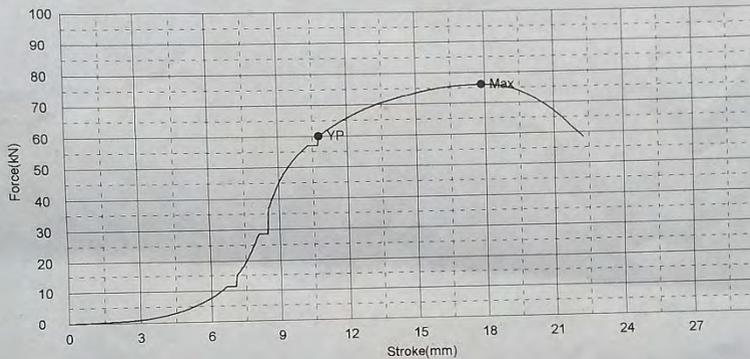
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
BG-900-I	9.5000	17.1600	58.8200

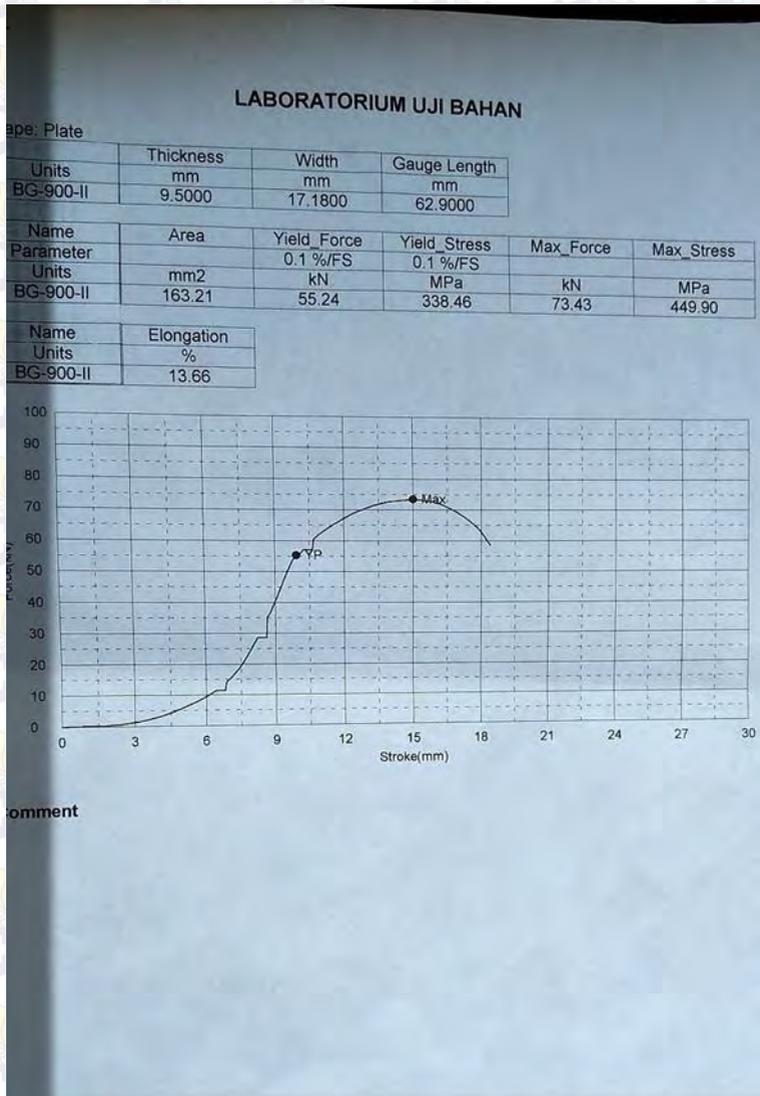
Name	Area	Yield_Force	Yield_Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BG-900-I	163.02	60.02	368.19	76.13	467.01

Name	Elongation
Units	%
BG-900-I	21.57



Comment

Hasil uji tarik spesimen 900 (lanjutan)



Hasil uji tarik spesimen 900 (lanjutan)

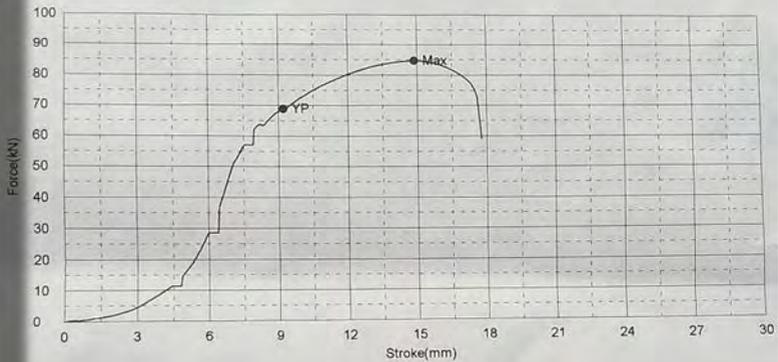
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
BG-900-III	9.5000	18.8600	62.9000

Name	Area	Yield Force	Yield Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BG-900-III	179.17	68.81	384.02	84.69	472.68

Name	Elongation
Units	%
BG-900-III	8.87



Comment

Lampiran 6

komposisi kimia SA 36

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “...” appears in this table there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A		Plates [#]		Bars		
	All	To ¾ [20], Incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], Incl	Over 1½ to 2 ½ [40 to 65], Incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], Incl	Over 4 [100]	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.29
Manganese, %	...	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Phosphorus, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Sulfur, max, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Silicon, %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Copper, min, % when copper per steel is specified							
						0.27	0.28
						0.60–0.90	0.60–0.90
						0.04	0.04
						0.05	0.05
						0.40 max	0.40 max
						0.20	0.20
						0.26	0.26
					
						0.60–0.90	0.60–0.90
						0.04	0.04
						0.05	0.05
						0.40 max	0.40 max
						0.20	0.20
						0.26	0.26
						0.29	0.29
						0.65–1.20	0.65–1.20
						0.04	0.04
						0.05	0.05
						0.15–0.40	0.15–0.40
						0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft (634 kg/m).
[#] For each reduction of 0.01 % below the specified carbon maximum, an increase of 0.05 % manganese above the specified maximum will be permitted up to the maximum of 1.35 %.

Lampiran 7
kekuatan mekanik material

TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^A See Specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 %, applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

DAFTAR PUSTAKA

1. American_Society_of_Mechanical_Engineers Section II, 2010, *Ferrous_Material_Specifications*.
2. ANSI/AWS A3.0-89 *Standard Welding Term and Definition*, American Welding Society.
3. Wiryosumarto H., Okumara T., *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ketujuh, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1996
4. <http://nizammetallurgist.blogspot.com/2014/04/contoh-soal-hitungan-pengelasanwelding.html>
5. Prasojo Budi, ST, MT, 2002, Petunjuk Praktikum Uji Bahan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
6. ASME. 2010. Adendum 2011. ASME Sec II C *Specification of welding rods*,
7. ASME SECTION IX,2013 , *Welding, Brazing, and Fusing Qualification* , New York.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 23 Maret 1995 di Surabaya. Pendidikan Formal yang pernah ditempuh meliputi SDN Kendang sari V Surabaya selama enam tahun, kemudian melanjutkan studi ke SMP Negeri 39 Surabaya, dan dilanjutkan ke SMK Kr. Petra Surabaya dengan Jurusan otomotif dan pernah magang di Honda Surabaya Center. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2012 dan terdaftar sebagai mahasiswa D3 Teknik Mesin FTI-ITS dengan NRP 2112030088 serta mengambil bidang studi manufaktur. Selama masa perkuliahan penulis juga mengikuti kegiatan diluar perkuliahan seperti staff divisi semi otonom bengkel himpunan D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis pernah melakukan Kerja Praktek di PT. SEMEN INDONESIA. Demikian sedikit biodata penulis yang dapat dilampirkan.