



TUGAS AKHIR - TM 095502

**PENGARUH POST HEAT 700⁰C DAN 900⁰C SELAMA 5 JAM
PADA SAMBUNGAN LAS SMAW, ELEKTRODA E7016,
MATERIAL SA 36 TERHADAP KEKUATAN TARIK,
KEKERASAN DAN METALOGRAFI**

**WIDI SUPRIYANTO
NRP.2113 030 012**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Subowo, MSc
19581004 198701 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

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



FINAL PROJECT - TM 095502

**EFFECTS OF POST HEAT 700⁰C AND 900⁰C FOR 5 HOURS
ON SMAW WELDING EXPOSURE, E7016 ELECTRODE, SA
36 MATERIAL ON TENSILE STRENGTH, HARDNESS AND
METALLOGRAPHY**

**WIDI SUPRIYANTO
NRP.2113 030 012**

**Counsellor Lecturer 1
Ir. Subowo, MSc
19581004 198701 1 001**

**Counsellor Lecturer 2
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**DIPLOME III MECHANICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH POST HEAT 700°C DAN 900°C SELAMA 5 JAM PADA SAMBUNGAN LAS SMAW, ELEKTRODA E7016, MATERIAL SA 36 TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN METALOGRAFI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya
pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

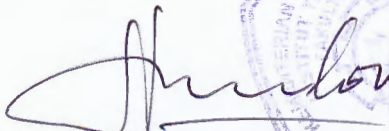
Oleh :

WIDI SUPRIYANTO
NRP. 2113 030 012

Mengetahui dan Menyetujui

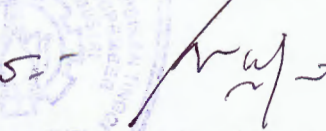
Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Ir. Subowo, MSc

NIP. 19581004 198701 1 001



Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

NIP. 19580915 198701 1 001

SURABAYA, AGUSTUS 2016

**PENGARUH POST HEAT 700°C DAN 900°C SELAMA 5
JAM PADA SAMBUNGAN LAS SMAW, ELEKTRODA
E7016, MATERIAL SA 36 TERHADAP KEKUATAN
TARIK, KEKERASAN DAN METALOGRAFI**

Nama : Widi Supriyanto
NRP : 2113 030 012
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Subowo, MSc

Abstrak

Salah satu permasalahan dalam pengelasan suatu material logam itu ialah apabila sebuah konstruksi bangunan yang memiliki dasar berbahan logam hasil pengelasan *SMAW* terkena panas bertemperatur tinggi.

Pada penelitian ini akan menganalisa mengenai pengaruh panas temperatur 700°C dan 900°C selama 5 jam terhadap sifat mekanis dari material SA 36 dengan pengujian tarik yang bertujuan untuk mengetahui daerah patahan dan kekuatan tarik pada spesimen, kemudian *hardness test* bertujuan untuk mengetahui kepastian titik batas antara daerah *Base Metal*, *HAZ*, *Weld Metal*, juga untuk mengetahui nilai kekerasan daerah patahan pada pengujian tarik spesimen, dan uji metalografi yang bertujuan untuk mengetahui struktur mikro pada daerah batasan *Base Metal*, *HAZ*, *Weld Metal*.

Dari hasil pengujian tarik, didapatkan bahwa spesimen yang terpengaruh panas pada temperatur 700°C memiliki nilai tegangan tarik lebih besar yaitu 505,18 Mpa daripada temperatur 900°C yang sebesar 416,58 Mpa. Dilihat dari bentuk patahannya, dapat dikatakan bahwa material bersifat *ductile* atau ulet. Struktur mikro yang terbentuk adalah *ferrite*, *pearlite* dan *austenite*.

Kata kunci : Pengaruh Panas, Pengelasan *SMAW*, *Hardness Test*, Uji Tarik dan *Metalography Test*.

EFFECTS OF POST HEAT 700°C AND 900°C FOR 5 HOURS ON SMAW WELDING EXPOSURE, E7016 ELECTRODE, SA 36 MATERIAL ON TENSILE STRENGTH, HARDNESS AND METALLOGRAPHY

Nama : Widi Supriyanto
NRP : 2113 030 012
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Subowo, MSc

Abstract

One of the problems in welding a metal material that is when a building construction that has a base made of metal SMAW welding results exposed to high temperature heats.

This research will analyze the effects of heat temperature 700°C and 900°C for 5 hours to the mechanical properties of the material SA 36 with the tensile test that aims to identify the fault area and the tensile strength of the specimen, then hardness test aims to know the boundary points between regions Base Metal, HAZ, Weld Metal, also to determine the hardness value fault line in the tensile test specimens and metallographic test which aims to determine the microstructure in the area of limitation Base Metal, HAZ, Weld Metal.

From the tensile test results, it was found that the specimen effected of heat at a temperature of 700°C has a tensile stress value of 505.18 Mpa is larger than the 900°C temperature of 416.58 Mpa. Judging from the shape of the fracture, it can be said that the material is ductile or ductile. Microstructure formed is ferrite, pearlite and austenite

Keywords : Effects of Heat, SMAW Welding, Hardness Test, Tensile Test and Test Metalography.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengelasan	5
2.2 SMAW	5
2.2.1 SMAW AC.....	6
2.2.1 SMAW DC.....	6
2.3 Posisi Pada Pengelasan.....	7
2.4 Heat Input.....	9
2.5 Kodefikasi Elektroda.....	10
2.6 Material SA 36	12
2.6.1 Kandungan Karbon.....	15
2.7 Sifat Mekanik Material.....	16
2.8 <i>HAZ (Heat Affected Zone)</i>	18
2.9 Pengujian Bahan Material	19
2.10 <i>Hardness Test</i>	19
2.10.1 Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	20
2.11 <i>Tensile Test</i>	22
2.11.1 Data Profil Uji Tarik.....	25

2.11.2 Perubahan Tegangan Luluh.....	28
2.12 <i>Metalography test</i>	28
2.13 Struktur Mikro dan Makro Pada Pengelasan.....	34
2.13.1 <i>Multilayer</i>	34

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart Penelitian.....	37
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	38
3.3 Tempat.....	38
3.4 Langkah kerja.....	38
3.4.1 Studi literatur	38
3.4.2 Persiapan Material.....	38
3.4.3 Pengelasan.....	40
3.4.4 Persiapan Benda Uji	41
3.4.5 Pengambilan Test Piece.....	41

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pengelasan.....	47
4.2 <i>Tensile Test</i>	48
4.3 <i>Hardness Test</i> (Uji Kekerasan)	51
4.4 <i>Metalography Test</i> (Uji Metalografi).....	53

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Digit Keempat Tipe Selaput.	11
Tabel 2.2	Nilai <i>Chemical Composition</i>	12
Tabel 2.3	Sifat Mekanik SA 36.	13
Tabel 2.4	Karakteristik dari 5 Elemen pada baja.	13
Tabel 2.5	Klasifikasi Baja Karbon.	16
Tabel 2.6	Skala Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	21
Tabel 2.7	Nilai Kekerasan untuk Spesimen Sebelum Terpengaruh Panas.	21
Tabel 2.8	Nilai Kekerasan untuk Spesimen Variasi Panas 4 Jam.	22
Tabel 2.9	Hasil Uji Tarik Sebelum Terpengaruh Panas. ...	25
Tabel 2.10	Hasil Uji Tarik Simulasi Panas Selama 4 Jam .	25
Tabel 3.1	Logam Induk dan Pengisi.	39
Tabel 3.2	Parameter Pengelasan.	39
Tabel 4.1	Logam Induk Sebagai <i>Root</i> dan <i>Fill Cover</i>	47
Tabel 4.2	Parameter Pengelasan.	47
Tabel 4.3	Heat Input.	47
Tabel 4.4	Nilai Uji Tarik Kebakaran Selama 5 Jam.	48
Tabel 4.5	Nilai Kekerasan untuk Spesimen Kebakaran Selama 5 Jam.	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pengelasan SMAW.....	6
Gambar 2.2	Posisi pengelasan 1G.....	7
Gambar 2.3	Posisi pengelasan 2G.....	8
Gambar 2.4	Posisi pengelasan 3G.....	8
Gambar 2.5	Posisi pengelasan 4G.....	9
Gambar 2.6	Hubungan antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis.....	15
Gambar 2.7	Daerah <i>HAZ</i>	18
Gambar 2.8	Prinsip Kerja <i>Rockwell</i>	20
Gambar 2.9	Uji Tarik dan Kurvanya.....	23
Gambar 2.10	Bentuk Patahan.....	24
Gambar 2.11	Kurva Tegangan Luluh.....	26
Gambar 2.12	<i>HAZ</i>	29
Gambar 2.13	Rumus <i>HAZ</i>	29
Gambar 2.14	<i>Ferrite</i>	30
Gambar 2.15	<i>Pearlite</i>	31
Gambar 2.16	<i>Austenite</i>	31
Gambar 2.17	<i>Ledeburite</i>	32
Gambar 2.18	<i>Cementite</i>	32
Gambar 2.19	<i>Bainite</i>	33
Gambar 2.20	<i>Martensite</i>	33
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Diagram	37
Gambar 3.2	Dimensi Material.....	38
Gambar 3.3	Sudut <i>Groove</i> 30 ⁰	39
Gambar 3.4	Material Dengan Kampuh 30 ⁰	39
Gambar 3.5	Diagram Pemanasan dan Pendinginan	40
Gambar 3.6	Proses Pengelasan	41
Gambar 3.7	Tang <i>Ampere</i>	41
Gambar 3.8	Dimensi Spesimen Tarik	42
Gambar 3.9	Spesimen Uji Tarik Suhu 700 ⁰ C.....	43
Gambar 3.10	Spesimen Uji Tarik Suhu 900 ⁰ C.....	43
Gambar 3.11	Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	44
Gambar 3.12	Spesimen Sebelum di Etsa.....	45
Gambar 3.13	Alat dan Bahan untuk Proses Etsa.....	46
Gambar 3.14	Larutan Etsa.....	46

Gambar 3.15	Kertas Gosok	46
Gambar 4.1	Grafik Nilai Tegangan Uji Tarik	48
Gambar 4.2	Pengujian Tarik Spesimen 700°C	49
Gambar 4.3	Pengujian Tarik Spesimen 900°C	49
Gambar 4.4	Daerah Putus Pada Spesimen Temperatur 700°C	50
Gambar 4.5	Daerah Putus Pada Spesimen Temperatur 900°C	50
Gambar 4.6	Letak Indentasi Pada Uji Kekerasan 700°C.....	51
Gambar 4.7	Letak Indentasi Pada Uji Kekerasan 900°C	51
Gambar 4.8	Grafik Nilai Kekerasan.....	53
Gambar 4.9	Struktur mikro <i>base metal</i> temperatur 700°C.....	54
Gambar 4.10	Struktur mikro <i>HAZ</i> temperatur 700°C	54
Gambar 4.11	Struktur mikro daerah <i>Weld Metal</i> temperatur 700°C	55
Gambar 4.12	Struktur mikro daerah <i>Base Metal</i> temperatur 900°C	55
Gambar 4.13	Struktur mikro daerah <i>Weld Metal</i> temperatur 900°C.....	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini penggunaan baja pada bidang konstruksi mulai dilirik karena relatif ringan dan memiliki kekuatan serta ketahanan yang tinggi. Pada penyambungan baja tentu diperlukan suatu proses dan salah satunya adalah pengelasan. Pengelasan sendiri merupakan salah satu proses yang cukup berperan dalam industri manufaktur dengan tujuan untuk proses maintenance maupun proses produksi. Salah satu metode pengelasan yang sering dipergunakan adalah *SMAW*, *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)* atau biasa dikenal dengan las listrik pada umumnya digunakan untuk proses penyambungan konstruksi logam dari material baja karbon dan baja berkekuatan tarik tinggi. Pengelasan SMAW memiliki banyak pilihan prosedur dalam pengerjaannya sesuai dengan spesifikasi material logam yang akan dikerjakan. Namun apabila diteliti lebih jauh, maka didalamnya terdapat banyak permasalahan yang harus segera diatasi.

Salah satu permasalahan dalam pengelasan suatu material logam itu ialah apabila sebuah konstruksi bangunan yang memiliki dasar berbahan logam hasil pengelasan *SMAW* terkena panas bertemperatur tinggi. Hal yang harus diperhatikan untuk mengatasi hal tersebut ialah dengan cara mengetahui pengaruh panas tersebut terhadap material yang digunakan

Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa pada material SA 36, yang pada umumnya digunakan dalam pembuatan sebuah konstruksi bangunan berbahan material logam, menggunakan metode pengelasan *SMAW* arus dengan membedakan variasi temperatur panas yaitu 700°C dan 900°C dengan lama waktu panas 5 jam . Tujuan dari dilakukannya variasi temperatur tersebut yaitu untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik berupa kekerasan dan keuletan pada material, sehingga kita dapat mengetahui nilai uji kekerasan, struktur mikro pada daerah *Base Metal*, *Weld Metal*, dan *HAZ*, serta Uji Tarik dari material yang telah dilakukan pengelasan dan dipanaskan variasi temperatur panas dengan simulasi *heat treatment* 700°C dan 900°C

selama 5 jam, dan untuk pendinginannya menggunakan metode pendinginan *annealing* dimana logam dipanaskan sampai temperatur tertentu dan didinginkan didalam tungku.

1.2 Perumusan 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 nilai uji tarik dari pengaruh panas temperatur 700°C dan 900°C selama 5 jam pada material SA 36 hasil pengelasan *SMAW*.
2. Bagaimana nilai kekerasan dari pengaruh panas temperatur 700°C dan 900°C selama 5 jam pada material SA 36 hasil pengelasan *SMAW*.
3. Bagaimana struktur mikro dari pengaruh panas temperatur 700°C dan 900°C selama 5 jam pada material SA 36 hasil pengelasan *SMAW*.

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 *IG*.
3. *Ampere* yang digunakan adalah 90 *Ampere* dan kampuh yang digunakan adalah *single V groove* 30°.
4. Material yang digunakan adalah SA 36 dengan tebal 10 mm.
5. Elektroda yang digunakan adalah E7016 dengan diameter 2.6 mm.
6. Pengujian yang dilakukan adalah *Hardness Rockwell*, *Metalography* dan Pengujian Tarik.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai uji tarik dari pengaruh panas temperatur 700⁰C dan 900⁰C selama 5 jam.
2. Mengetahui nilai kekerasan dari pengaruh panas temperatur 700⁰C dan 900⁰C selama 5 jam.
3. Mengetahui struktur mikro dari pengaruh panas temperatur 700⁰C dan 900⁰C selama 5 jam.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh panas temperatur tinggi selama 5 jam terhadap nilai kekerasan dan ketangguhan dari material SA 36 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

BAB II

DASAR TEORI

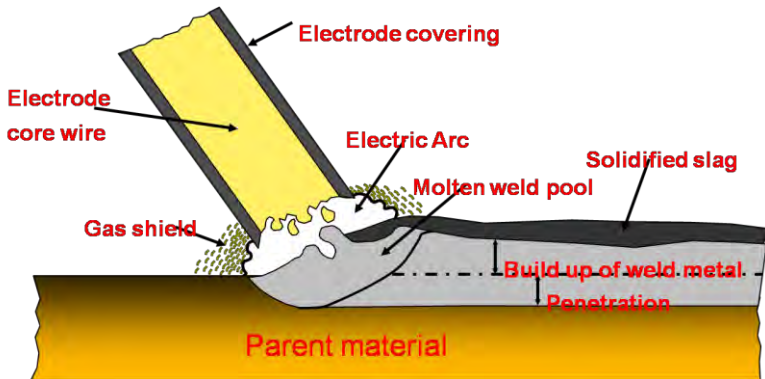
2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah penyambungan dua atau lebih bahan dengan cara memanaskan permukaan sampai mencair dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*) dan dengan atau tanpa tekanan. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan 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 .

2.2 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.



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 pengelasan *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 elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam.

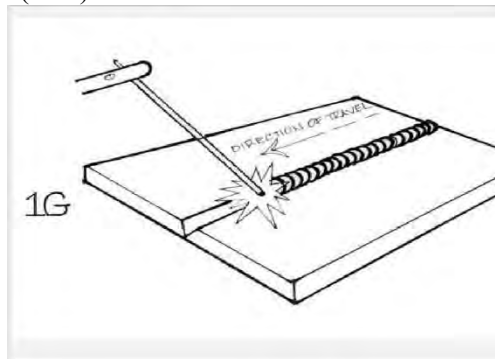
2. DCRP (*Reversed Polarity*)

Material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub 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 dangkal.

2.3 Posisi Pada Pengelasan

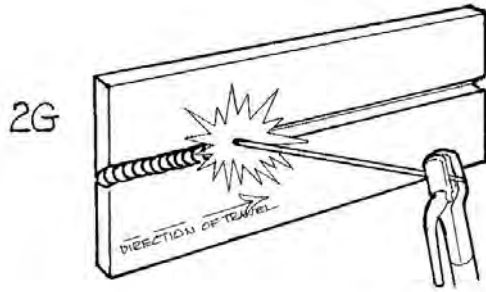
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam, yaitu:

- Posisi (1G)



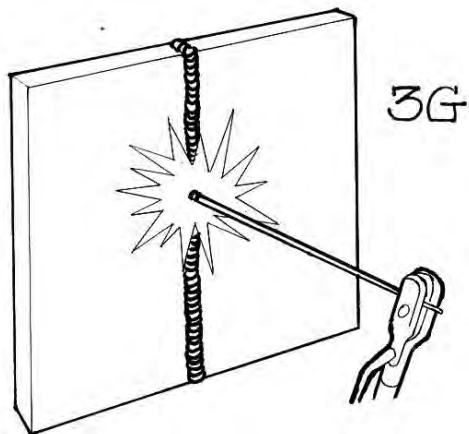
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G

- Posisi (2G)



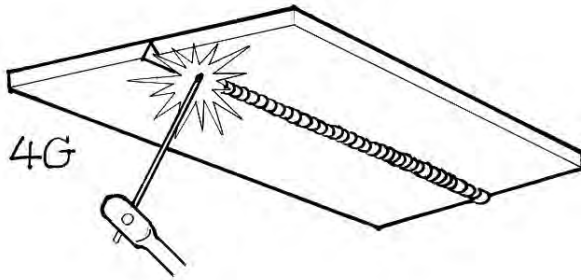
Gambar 2.3 Posisi pengelasan 2G

- Posisi (3G)



Gambar 2.4 Posisi pengelasan 3G

- Posisi (4G)



Gambar 2.5 Posisi pengelasan 4G

2.4 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 :
$$HI = \frac{V \times I \times 60}{s} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: $HI = \text{Masukan panas atau energi (J/mm)}$
 $I = \text{Arus (Ampere)}$
 $V = \text{Voltase (Volt)}$
 $s = \text{Kecepatan pengelasan (mm/s)}$

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 6

- E : Menyatakan elektroda busur listrik.
- 70 : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.
- 1 : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.
- 6 : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Tabel 2.1 Karakteristik Digit Keempat Tipe Selapat dan Arus Listrik

ANGK A	SUMBER ARUS		POLARIT AS ELEKTRO DA		TIPE SALUTA N	DAYA TEMBU S	KADA R SERBU K 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,	Medium	30-50%

					Iron Powder		
9	AC	DC					
E6010		DC	+		Cellulose Sodium	Kuat	0-10%
E6020	AC	DC		-	Iron Oxyde Sodium	Medium	0-10%
E6030	AC	DC		-	Iron Oxyde	Lunak	

2.6 Material SA 36

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*

Product	Shapes ^a	Plates ^b				
		To ¼ [20], incl	Over ¼ 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 2.3 Sifat Mekanik SA 36

Standard	Grade	Mechanical properties					
		Tensile test (transverse)			Impact test		
		Yield strength MPa	Tensile strength MPa	Elongation %	Temp. °C	Average energy J	
				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

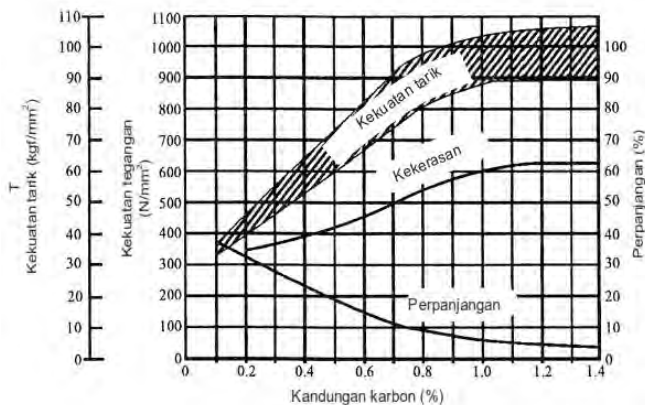
Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silikon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3%	Penambahan silikon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.

		silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	
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 rapuh, menyebabkan retak dingin.	Karena penambahan fosfor 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.
--	--	--	---

2.6.1 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.



Gambar 2.6 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

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.

2.7 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 keregangannya.

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*)

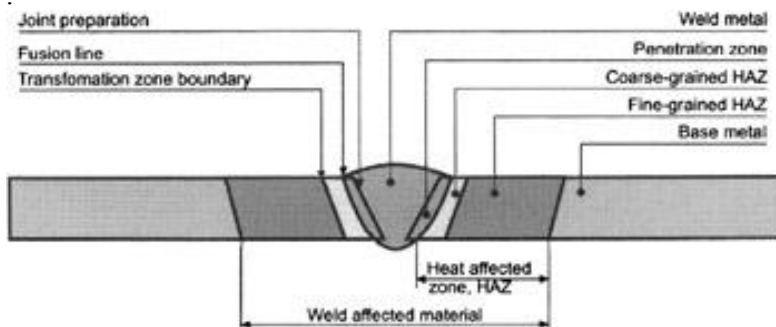
Merupakan kemampuan kecenderungan suatu logam untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastis) bila pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

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.

2.8 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



Gambar 2.7 Daerah HAZ

2.9 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.

2.10 *Hardness Test*

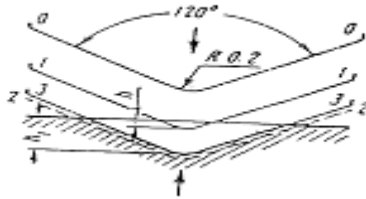
Hardness Test adalah pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan suatu bahan, dalam hal ini kekerasan pada daerah *base metal*, *weld metal* dan *HAZ*. Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu 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*.

2.10.1 Pengujian kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan *rockwell*, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada spesimen 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 spesimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.8 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.

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

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

Table 2.6 Skala Uji Kekerasan *Rockwell*

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	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

Tabel 2.7 Nilai Kekerasan untuk Spesimen Sebelum Terpengaruh Panas

Titik Indentasi		Bidang			Rata rata
		1	2	3	
BM	1	79	80	82	80.33
	2	82	81	82.5	81.83
	3	84	84	84.5	84.16
HAZ	4	88	89	85.5	87.5
	5	87.5	88.5	88.5	88.16

	6	87.5	87	87.5	87.16
	7	88	90	88	88.66
WM	8	88	89	87.5	88.16
	9	90	92	89.5	90.5
	10	86	87	86	86.33

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”*.

Tabel 2.8 Nilai Kekerasan untuk Spesimen Variasi Panas 4 Jam

Titik Indentasi		700°C	900°C
BM	1	73,83	66,67
	2	74,67	71,33
	3	79,13	70
HAZ	4	81,10	74,5
	5	79,17	74,7
	6	79,33	74,33
	7	83,67	76,83
WM	8	85,13	76
	9	80,83	76,27
	10	82,97	75,4

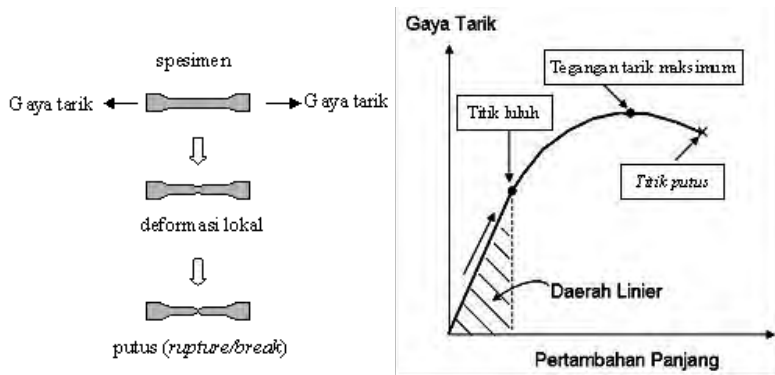
Data diatas didapat dari Muhammad Andy Y. :2016. *“Pengaruh Panas Temperatur 700°C dan 900°C Terhadap Perubahan Kekerasan dan Keuletan Pada Pengelasan Material SA 36 Dengan Menggunakan Metode SMAW”*.

2.11 Tensile Test

Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika

dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva. Kurva ini dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Uji Tarik dan Kurvanya

Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut. Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “*Ultimate Tensile Strength*” disingkat dengan **UTS**, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum. Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah

ini, kurva penambahan panjang berlawanan dengan beban mengikuti aturan *Hooke* yaitu *rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan*.

Stress adalah **beban dibagi dengan luas penampang dari bahan** dan *strain* adalah **pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan**. Untuk hasil dari *elongation* dapat dilihat dari rumus dibawah.

- Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana :

- σ = Tegangan (N/mm²)
- F = Gaya
- A = Luas

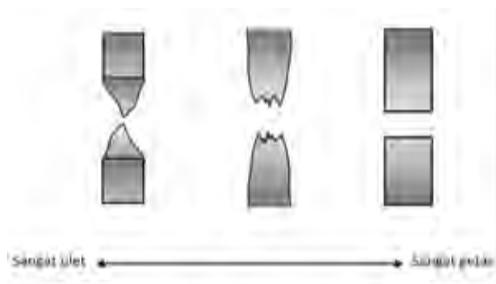
- Regangan

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

Dimana

- ϵ = Regangan (%)
- ΔL = Perpanjangan (mm)
- L_0 = Panjang awal (mm)

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



Gambar 2.10 Bentuk Patahan

2.11.1 Data Profil Uji Tarik

Sekarang akan kita bahas profil data dari *tensile test* secara lebih detail. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat disimpulkan.

Tabel 2.9 Hasil Uji Tarik Sebelum Terpengaruh Panas

Spesimen	Yield Force (kN)	Yield Stress (MPa)	Max Force (kN)	Luas Area (mm ²)	Max Stress (MPa)
Sebelum Terpengaruh panas	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	525.77

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”.

Tabel 2.10 Hasil Uji Tarik Simulasi Panas Selama 4 Jam

Suhu	NO.	Yield Force (kN)	Yield Stress (Mpa)	Max Force (kN)	Max Stress (Mpa)
700°C	1	64,59	331,64	95,24	489,03
	2	64,5	328,15	94,79	482,27
	3	63,01	322,29	93,22	476,8
Rata rata		64,03	327,36	94,42	482,7
900°C	1	81,8	413,96	86,01	435,27
	2	80,19	402,91	88,71	445,73
	3	73,8	402,09	82,33	448,56
Rata rata		78,60	406,32	85,68	443,19

Data diatas didapat dari Muhammad Andy Y. :2016. “*Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C dan 900°C Terhadap Perubahan Kekerasan dan Keuletan Pada Pengelasan Material SA 36 Dengan Menggunakan Metode SMAW*”.

Dari hasil uji tarik diatas didapatkan hasil nilai uji tarik maksimal spesimen sebelum terpengaruh panas adalah 525,77 MPa sedangkan setelah terpengaruh panas selama 4 jam turun menjadi 443,19 MPa. Apabila dilihat dari struktur mikronya maka adanya penurunan ini dikarenakan kadar *austenite* pada spesimen yang terpengaruh panas selama 4 jam lebih banyak jika dibandingkan dengan spesimen sebelum terpengaruh panas.

A. Batas elastis σ_e (*elastic limit*)

Dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat inset dalam Gbr.5). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permanen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005% . Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini.

B. Batas proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik sampai di mana penerapan hukum *Hooke* masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

C. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula.

D. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah peralihan deformasi elastis ke plastis.

E. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata pada daerah *landing* sebelum memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

F. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

G. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

H. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

I. Regangan total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$.

J. Tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)

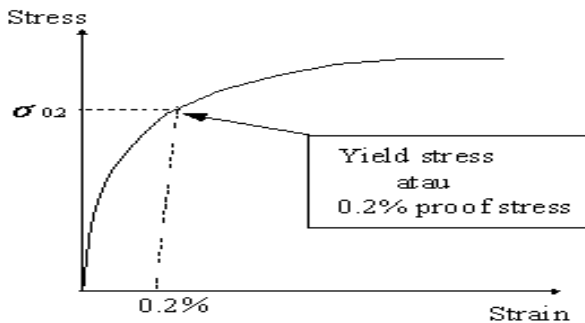
Ditunjukkan dengan titik C (σ_β), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

K. Kekuatan patah (*breaking strength*)

Ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

2.11.2 Perubahan Tegangan Luluh

Untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan landing yang jelas, tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain*.



Gambar 2.11 Kurva Tegangan Luluh

2.12 *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 menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti *engine block*, piston dll.

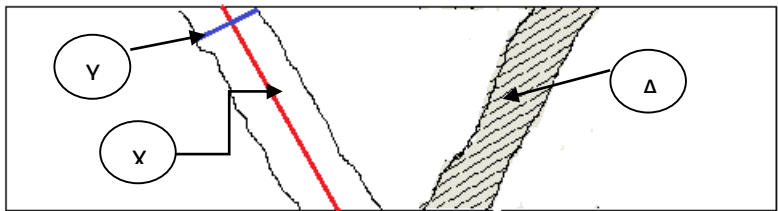
Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron dengan perbesaran 50 sampai 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap

spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

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

- **Pengujian 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. Untuk mengetahui lebar dari masing-masing HAZ dilakukan permisalan yang akan dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 2.12 HAZ

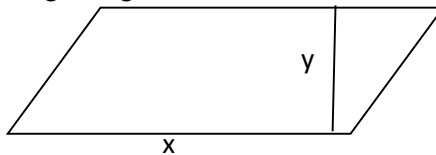
Keterangan :

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 2.13 Rumus HAZ

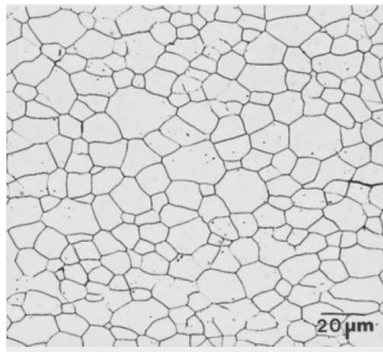
$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \text{Panjang} \times \text{Tinggi} \\ x &= \text{Panjang} \\ y &= \text{Tinggi} \end{aligned}$$

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

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

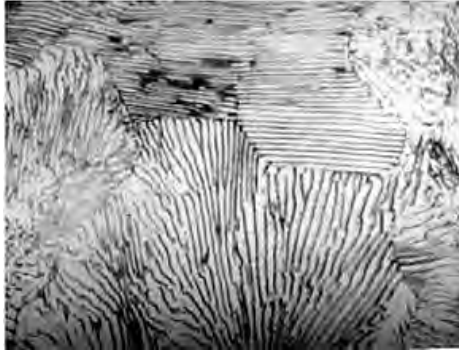
- **Pengujian mikro**
Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50 sampai dengan 3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.

Berikut adalah macam-macam struktur mikro beserta penjelasannya :



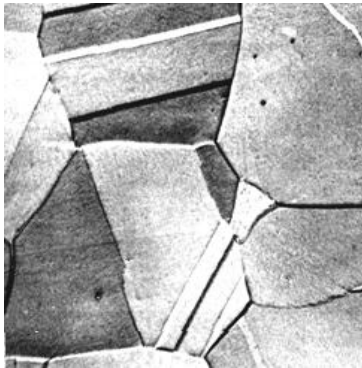
Gambar 2.14 Ferrite

Ferrite 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*).



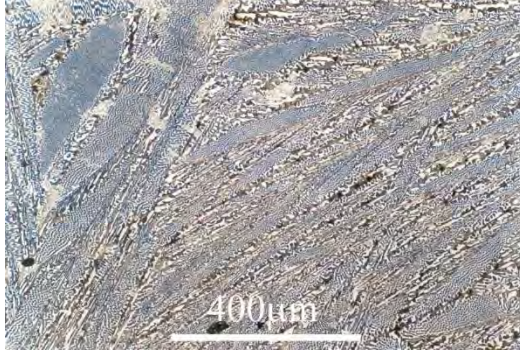
Gambar 2.15 *Pearlite*

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.



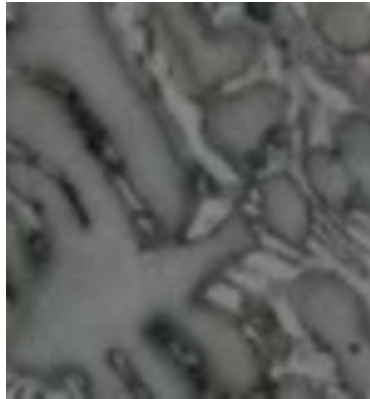
Gambar 2.16 *Austenite*

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



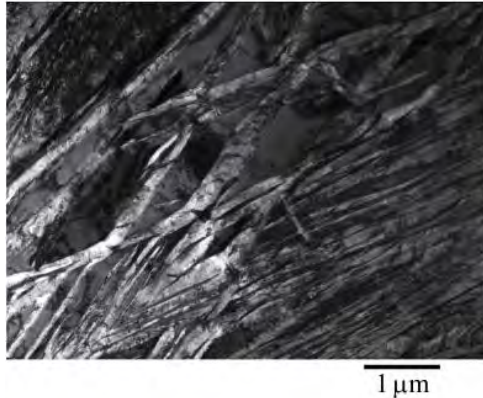
Gambar 2.17 *Ledeburite*

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.



Gambar 2.18 *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.



Gambar 2.19 *Bainite*

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



Gambar 2.20 *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.

2.13 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 treatment* 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.

2.13.1 *Multilayer*

Pengelasan *multilayer* merupakan pengelasan berulang yang dilakukan pada suatu material yang memiliki ketebalan tertentu sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengelasan satu *layer*. Adanya pengelasan *multilayer* yang dilakukan pada setiap sambungan memberikan pengaruh terhadap laju pendinginan. Laju pendinginan yang terjadi dengan pengelasan *multilayer* yang diberikan memperkecil adanya gradien temperatur pada saat terjadi proses pembekuan. Dengan sedikitnya tegangan sisa dan fasa-fasa getas maka kekuatan tarik sambungan akan semakin tinggi dan nilai kekerasan akan menurun karena material bersifat *ductile*. Pengelasan pelat datar sering menggunakan *single layer* dan *multi layer*. Pengelasan *single layer* sering digunakan untuk pelat tipis. Dan pengelasan *multi layer* digunakan untuk pelat yang tebal. Pengelasan *multi layer* sering digunakan untuk konstruksi dengan keuletan sambungan yang tinggi. Pada pengelasan *multilayer*, *layer* kedua akan memberikan efek *postheat* pada *layer*

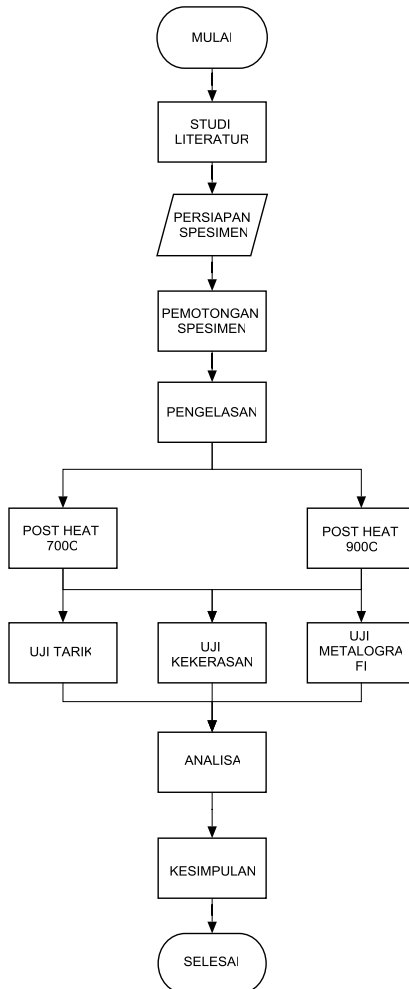
sebelumnya dan *preheat* bagi *layer* sesudahnya. Pengelasan *multi layer* juga akan memberikan efek *tempering* pada daerah *HAZ*, akibat panas dari *layer* berikutnya. Efek *preheat* dan *tempering* dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las. Adanya *preheat* untuk mencegah terbentuknya *martensite* yang bersifat getas pada daerah *weld metal*, sedangkan adanya *postheat* untuk memperbaiki struktur *weld metal* apabila terjadi *martensite*. Dengan kata lain pada *multilayer* tidak terbentuk *martensite*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

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 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 2015/2016 yaitu pada bulan Februari sampai dengan Juni 2016.

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab Metalurgi D3 Teknik Mesin FTI-ITS dan Lab Metalurgi S1 Teknik Mesin FTI-ITS

3.4 Langkah Kerja

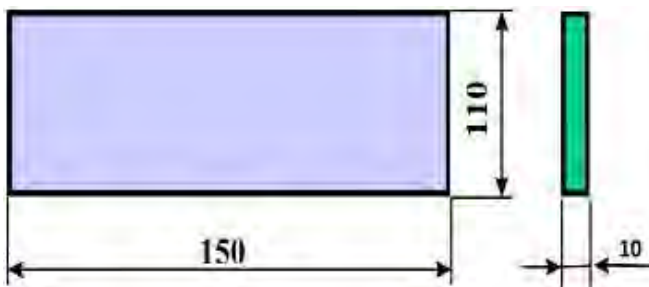
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang kontruksi kapal yaitu penyambungan plat dengan membedakan variasi arus ampere, serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhanya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk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

3.4.1 Studi Literatur

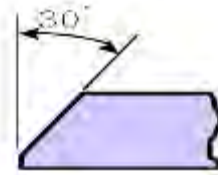
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.4.2 Persiapan Material

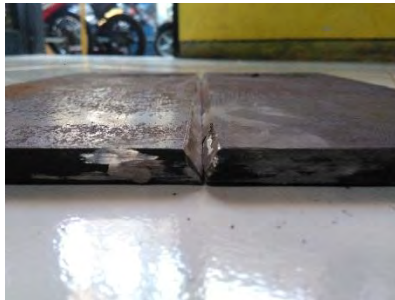
Material yang digunakan adalah SA 36 dengan tebal 10 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut single V groove 30^0 seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Dimensi Material



Gambar 3.3 Sudut *groove* 30°



Gambar 3.4 Material Dengan Kampuh 30°

Tabel 3.1 Logam Induk dan Pengisi

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 36
P-N0	1 group 2
Tebal	10 mm
Weld metal analysis A.no	*)
Spesification (SFA)	5.5
AWS Classification	E 7016 dan E 7016
Filler metal diameter (mm)	2,6 dan 2,6
Posisi pengelasan	1G

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

Parameter	Layer	
	1 (<i>root</i>)	3 (<i>fill & capping</i>)
Proses	SMAW	SMAW
Travel speed,mm/min	1.5	1.4

Amperage	90	90
Polaritas AC/DC	DC(-)	DC(+)
Voltage	27	27
Electrode diameter (mm)	2.6	2.6

3.4.3 Pengelasan dan Laku Panas

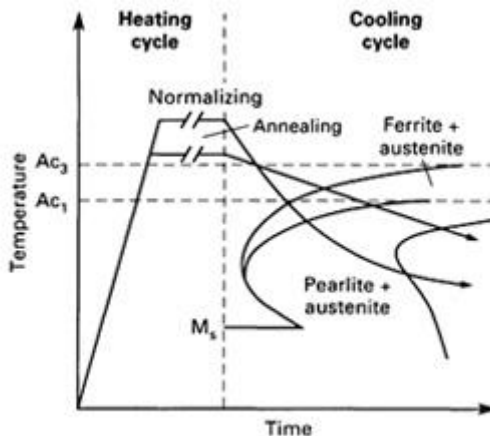
Pengelasan dilakukan menggunakan *SMAW (DC+, DC-)* posisi *IG* dalam penelitian kali ini terdapat perbedaan variasi panas yaitu:

1. Variasi panas suhu 700°C

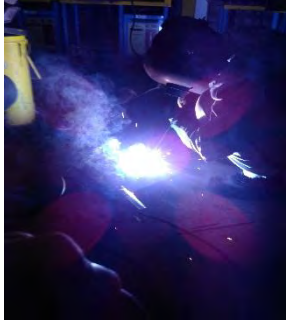
Material yang sudah di las dipanaskan dengan suhu 700°C menggunakan *Oven Furnace* selama 5 jam kemudian di dinginkan di dalam oven.

2. Variasi panas suhu 900°C

Material yang sudah di las dipanaskan dengan suhu 900°C menggunakan *Oven Furnace* kemudian didinginkan didalam oven. Proses pengelasan dilakukan setelah dilakukannya pembuatan groove pada masing-masing plat berikut ini proses pengelasan yang dilakukan:



Gambar 3.5 Diagram Pemanasan dan Pendinginan



Gambar 3.6 Proses Pengelasan



Gambar 3.7 Tank Ampere

3.4.4 Persiapan benda uji

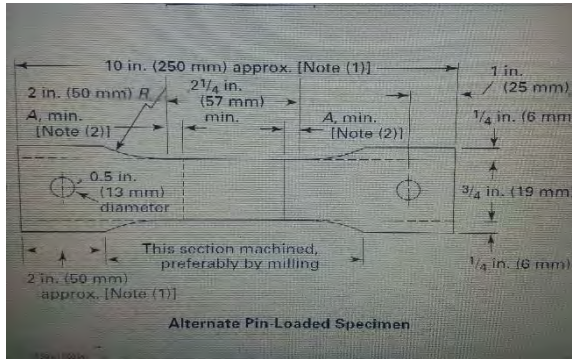
pesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji. Dalam melakukan tes untuk menkan benda uji itu penting dan perlu diperhatikan ketebalanya, itu sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian dan permukaanya, sehingga sesuai dengan aplikasinya.

3.4.5 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*(*Mikro dan Makro Etsa*).

A. Pengujian Tarik

Untuk pengujian tarik dilakukan pengambilan spesimen total 6 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 3 spesimen yaitu spesimen yang diberi panas dengan suhu 700°C dan 900°C derajat celsius. Untuk dimensi spesimen disesuaikan dengan *ASME Section 9* untuk *tensile test*.



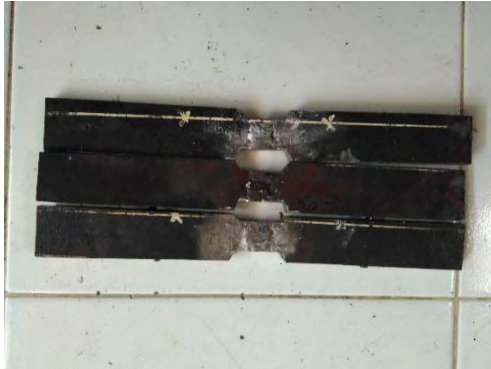
Gambar 3.8 Dimensi Spesimen Tarik

Langkah-langkah pengujian tarik :

- 1) Menyiapkan spesimen
 - Ambil spesimen dan jepit pada ragum
 - Bersihkan bekas-bekas *machining* dengan kikir
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
- 2) Pengukuran dimensi
 - Ambil spesimen dan ukur dimensinya
 - Catat dan beri kode untuk masing -masing spesimen.
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
- 3) Pengujian pada spesimen.
 - Mencatat data mesin pada benda kerja.
 - Penempatan bandul pada posisi awal.
 - Atur jarum penunjuk pada posisi 0.

- Ambil specimen dan letakkan pada tempatnya.
- Amati datanya dan catat.
- Ulangi langkah diatas unruk seluruh specimen.

Berikut specimen bahan pengujian tarik :



Gambar 3.9 Spesimen Uji Tarik Suhu 700⁰C



Gambar 3.10 Spesimen Uji Tarik Suhu 900⁰C

B. Pengujian Kekerasan.

Dalam pengujian kekerasan, jumlah titik yang diambil ialah 10 titik yaitu pada daerah, *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal*.



Gambar 3.11 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.

C. 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 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 berikut:

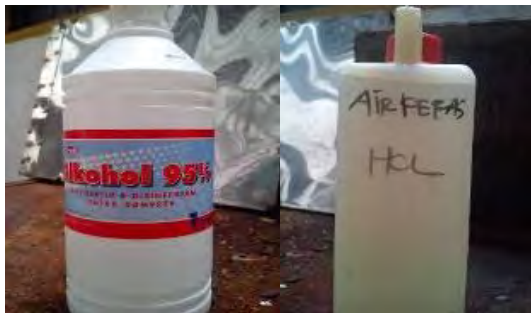
1. Pemotongan spesimen uji
Benda kerja di belah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian *metalography* dilakukan pada 2 bidang pada satu spesimen.
2. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan dilakukan menggunakan mesin *grinding* dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 100, 400, 800, 1000 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 3.12 Spesimen sebelum di etsa



Gambar 3.13 Alat dan Bahan untuk Proses Etsa



Gambar 3.14 Larutan Etsa



Gambar 3.15 Kertas Gosok

4. Pengambilan gambar makro dan mikro spesimen.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana perbedaan pengaruh panas bertemperatur tinggi dengan suhu 700°C dan 900°C pada sambungan las baja SA 36 yang dilakukan pengelasan SMAW(*Shielded Metal Arc Welding*) selama 5 jam, melalui 3 pengujian , yaitu *Tensile Test* , *Hardness Test*, *Metalography Test*.

4.1 Parameter Pengelasan

Tabel 4.1 Logam Induk E7016

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

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan

Proses	SMAW
Layer number/pass	4
Travel speed	1.5 mm/s
Amperage	90 ampere
Voltage	26 volt
Electrode diameter	2.6 mm

Tabel 4.3 Heat Input

Type Electroda	Arus (I)	Voltase (E)	Travel speed (V)	Heat Input (HI)
E 7016 diameter 2.6 mm	90 Ampere	26 Volt	1.5 mm/s	1560 J/mm

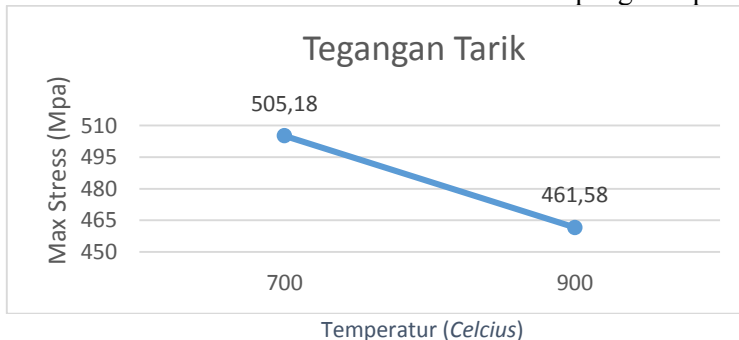
4.2 Tensile Test (Uji Tarik)

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

Tabel. 4.4 Nilai Uji Tarik Simulasi Panas Selama 5 Jam

Suhu	NO.	Yield Force (kN)	Yield Stress (Mpa)	Max Force (kN)	Max Stress (Mpa)	Luas Area (mm ²)
700°C	1	53.56	339.18	77	487.61	157.91
	2	57.28	352.6	77.5	477.06	162.45
	3	54.89	405.87	74.5	550.87	135.24
Rata rata		55.24	365.88	76.33	505.18	151.86
900°C	1	38.85	270.69	68	473.8	143.52
	2	49.56	286.63	76	439.56	172.9
	3	58.87	353.5	78.5	471.38	166.53
Rata rata		49.09	303.6	74.16	461.58	160.98

Dari Tabel di atas dapat dibedakan menjadi grafik Uji Tarik untuk material sebelum dan setelah terkena pengaruh panas.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Tegangan Tarik



Gambar 4.2 Pengujian Tarik Pada Spesimen Setelah Pengaruh Panas Temperatur 700°C



Gambar 4.3 Pengujian Tarik Pada Spesimen Setelah Pengaruh Panas Temperatur 900°C

Dari gambar diatas, dilihat dari bentuk patahnya dapat dikatakan bahwa material setelah terkena pengaruh panas temperatur 700°C dan 900°C bersifat *ductile* (ulet).



Gambar 4.4 Daerah Putus Pada Spesimen SA 36 Setelah Terkena Pengaruh Panas Temperatur 700°C Terletak Pada *Base Metal*



Gambar 4.5 Daerah Putus Pada Spesimen SA 36 Setelah Terkena Pengaruh Panas Temperatur 900°C Terletak Pada *Base Metal*

Dari daerah patahnya pula, material SA36 yang terkena pengaruh panas temperatur 700°C dan 900°C , daerah patahnya terletak pada daerah *Base Metal*, karena hasil dari pengelasan tidak mengalami cacat las pada sambungan di logam induk.

4.3 *Hardness Test* (Uji Kekerasan)

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang spesimen yang berguna untuk mencari kepastian titik pasti batas daerah antara *Base Metal* dengan *Heat Affected Zone* dan juga antara daerah *Heat Affected Zone* dengan daerah *Weld Metal*. Tetapi untuk spesimen yang terkena panas tempaeratur 900°C tidak ada *HAZ* karena antara *HAZ* dan *weld metal* sudah menjadi homogen struktur mikronya karena suhu panas sudah berada di atas suhu austenit.



Gambar 4.6 Letak Indentasi pada Uji Kekerasan Temperatur 700°C



Gambar 4.7 Letak indentasi pada uji kekerasan temperatur 900°C

Tabel 4.5 Nilai Kekerasan untuk Pengaruh Panas Temperatur Selama 5 Jam

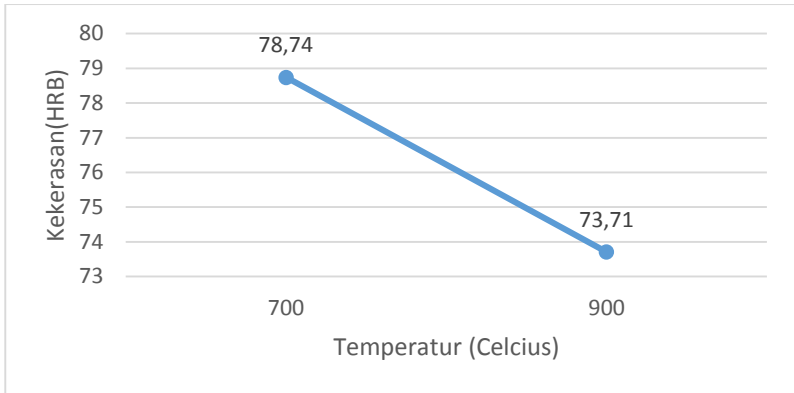
Suhu 700°C :

Titik Indentasi		Bidang			Rata rata
		1	2	3	
BM	1	76.5	77	76	76.5
	2	77	77	77	77
	3	77	76.5	77	76.83
HAZ	4	78	78	77	77.66
	5	81	82	81	81.33
	6	79	78	78	78.33
	7	78.5	79	79	78.83
WM	8	81	82	82	81.66
	9	82	82	81	81.66
	10	81	82.5	82	81.83

Suhu 900°C :

Titik Indentasi		Bidang			Rata rata
		1	2	3	
BM	1	71.5	71	71	71.16
	2	72	71	71	71.33
	3	72	72	71.5	71.83
WM	4	76.5	76	76	76.16
	5	76	76.5	76	76.16
	6	76	76	75	75.66

Berdasarkan data dari tabel diatas, maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut.

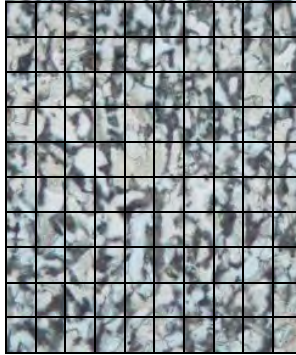


Gambar 4.8 Grafik Nilai Kekerasan

Dari tabel, gambar, dan grafik rata-rata uji kekerasan yang ditampilkan, diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi untuk pengaruh panas yang dilakukan terhadap material SA 36 hasil pengelasan *SMAW* terdapat pada daerah *Weld Metal*, dan nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah terdapat pada daerah *Base Metal*, dapat diketahui bahwa nilai kekerasan yang paling tinggi pada tiap daerahnya terdapat pada benda uji pengaruh panas temperatur 700°C.

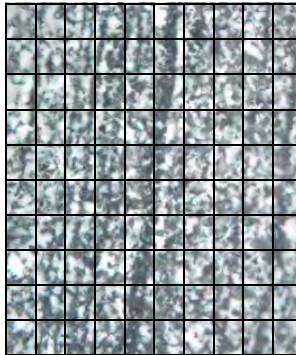
4.4 Metalography Test (Uji Metalografi)

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 *heat treatment* 700°C dan 900°C, pengujian ini menggunakan mikroskop perbesaran 50x, dan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4.9 Struktur mikro *Base Metal* temperatur 700°C pada sumbu x14

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* dengan perbandingan 50%:50%.



Gambar 4.10 Struktur mikro daerah *HAZ* temperatur 700°C pada sumbu x6

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* dengan perbandingan 80%:20%.



Gambar 4.11 Struktur mikro daerah *Weld Metal* temperatur 700°C

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite* dengan perbandingan 90%:10%.



Gambar 4.12 Struktur mikro daerah *Base Metal* temperatur 900°C pada sumbu x14

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite*, *ferrite* dan *austenite* dengan perbandingan 24%:6%:70%.



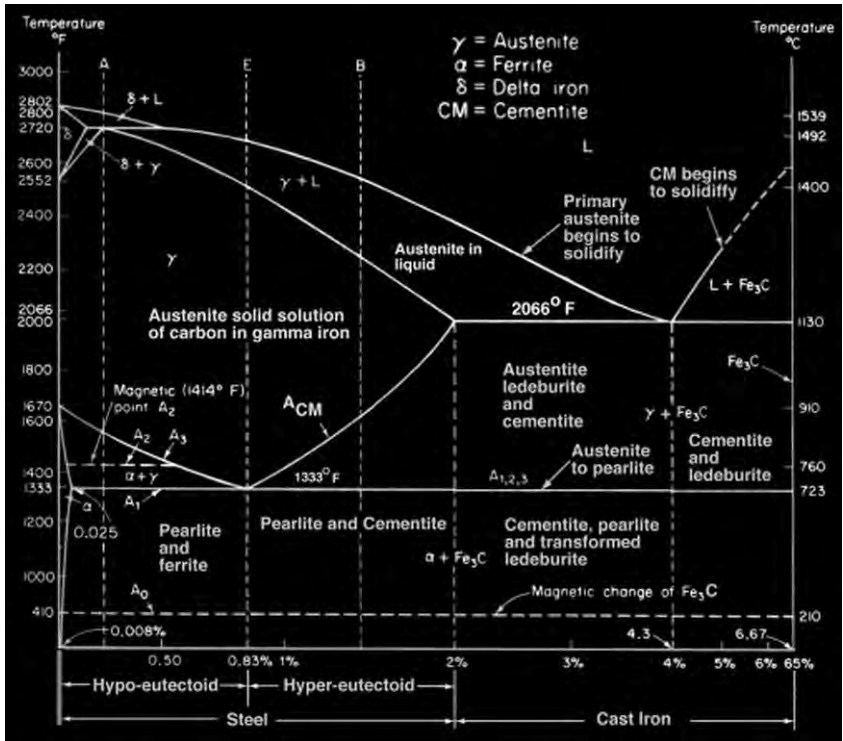
Gambar 4.13 Struktur mikro daerah *Weld Metal* temperatur 900°C

Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite*, *ferrite* dan *austenite* dengan perbandingan 8%:15%:77%.

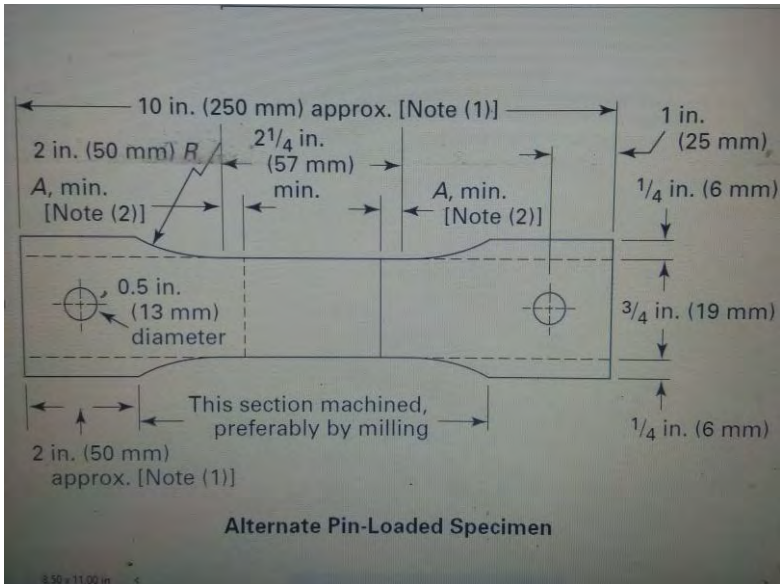
Berdasarkan hasil pengujian tarik, kekerasan dan metalografi yang hasilnya adalah hasil uji tarik meningkat dibandingkan nilai awal spesimen sedangkan nilai kekerasannya menurun. Hal ini disebabkan karena pendinginan yang dilakukan lambat yaitu di dalam tungku dan hasil uji tarik serta kekerasan didukung oleh hasil uji metalografi yang menyatakan struktur mikro yang terbentuk adalah *pearlite*, *ferrite* dan *austenite* dimana ketiga struktur mikro ini memiliki sifat mekanik lunak dan ulet. Hal ini dikarenakan bahan dengan sifat mekanik lunak dan ulet biasanya memiliki kekuatan tarik yang tinggi.

Lampiran 1

Diagram Fe-Fe₃C



Lampiran 2
Standar Uji Tarik *ASME Section 9*



Lampiran 3

Tabel ASME Sec II Material SA 36

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.

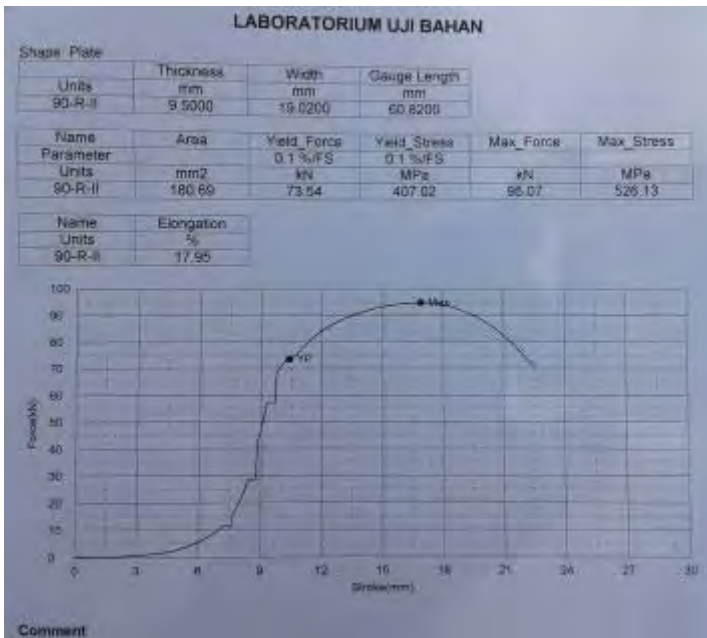
^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^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.

Product	Shapes ^A	Plates ^B				
		To ¼ [20], incl	Over ¼ 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]
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 cop- per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

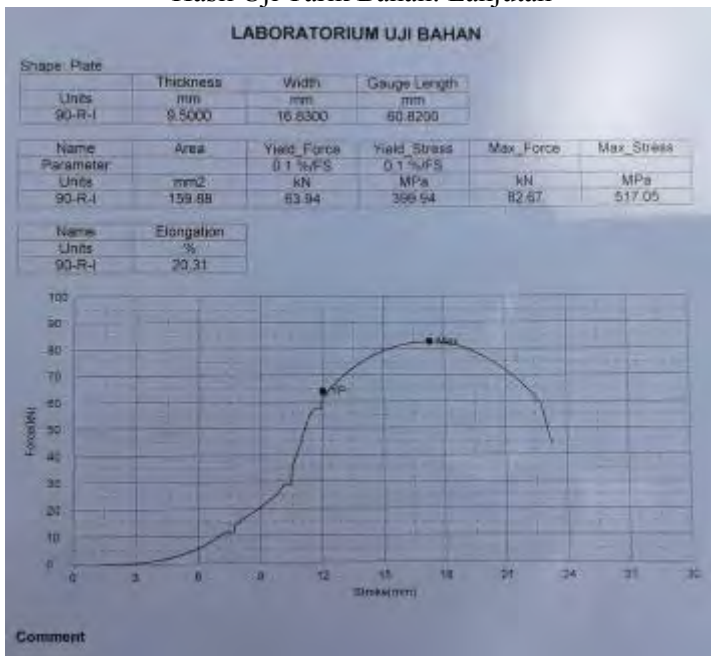
Lampiran 4

Hasil Uji Tarik Sebelum Kebakaran

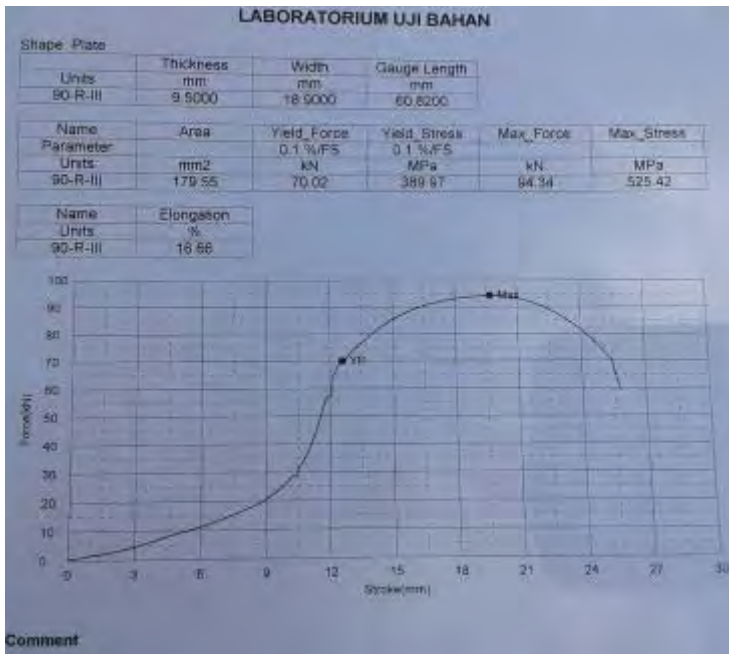


Comment

Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

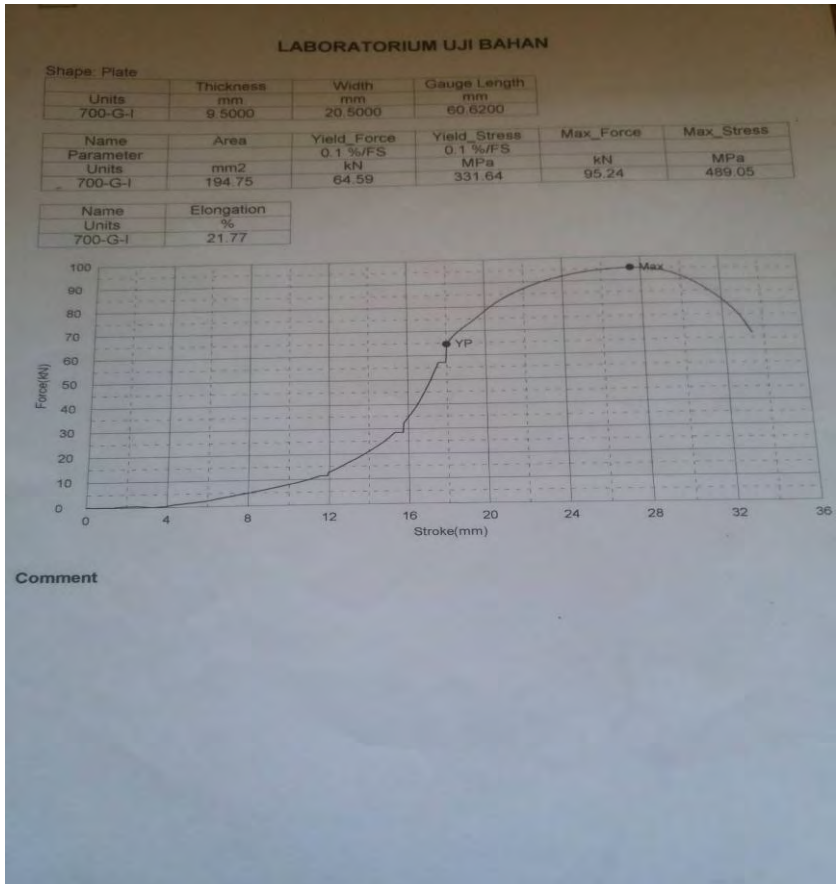


Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

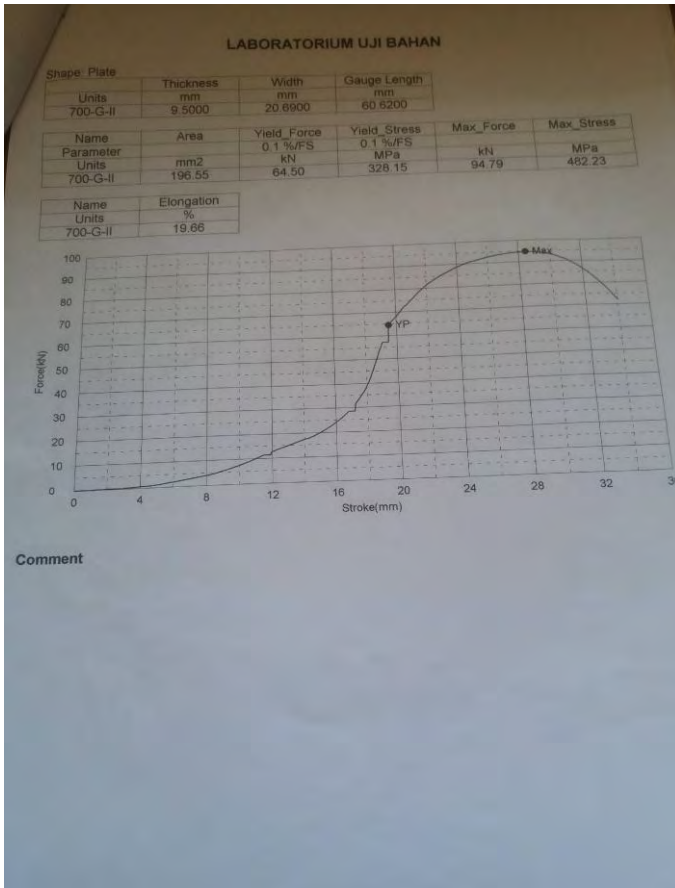


Lampiran 5

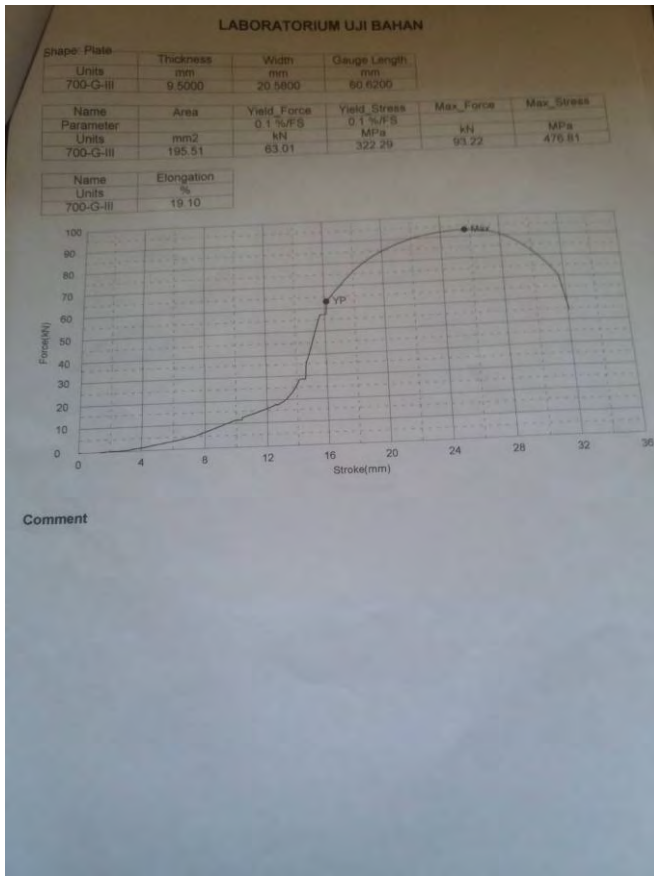
Hasil Uji Tarik Bahan temperatur 700°C Selama 4 Jam



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

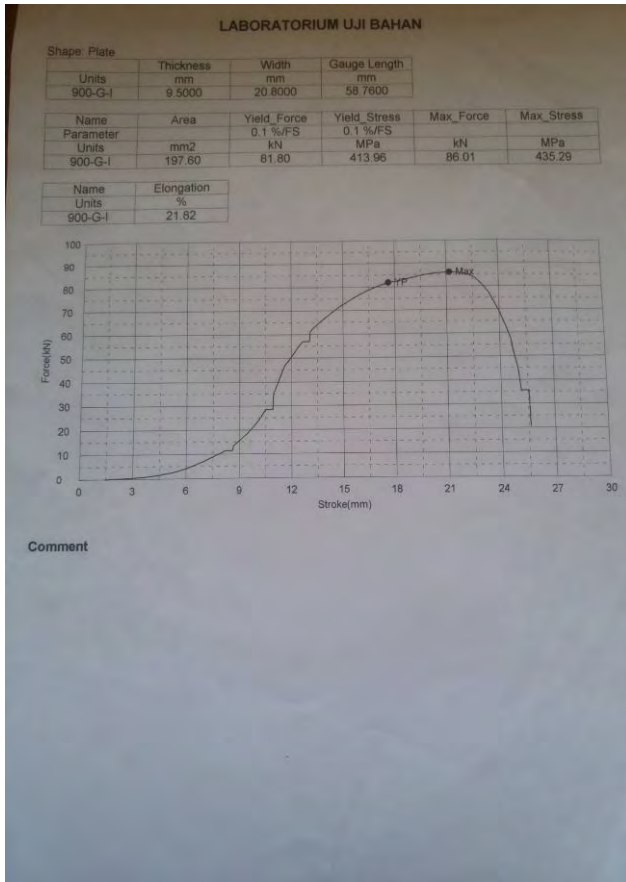


Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

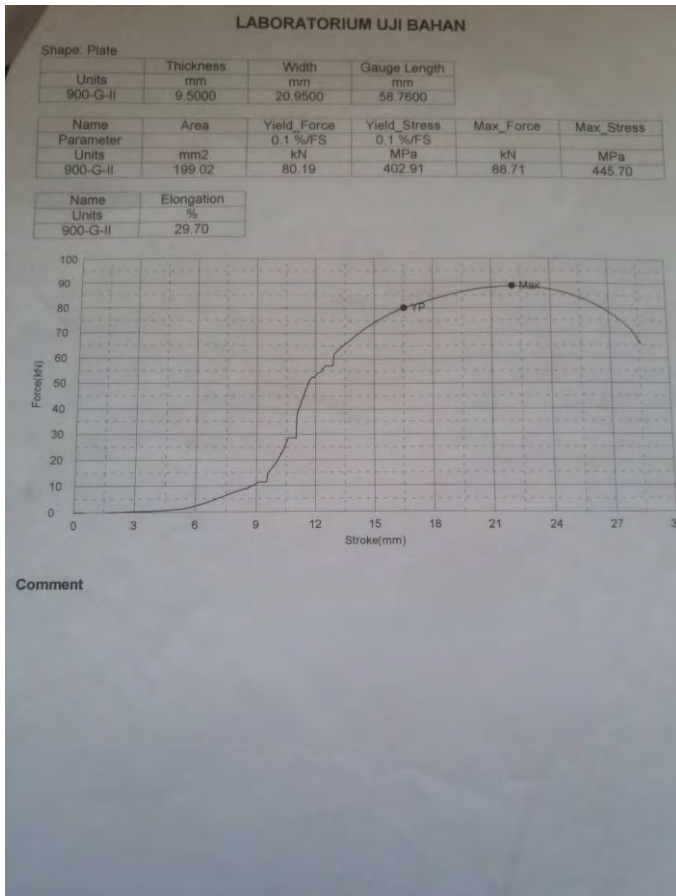


Lampiran 6

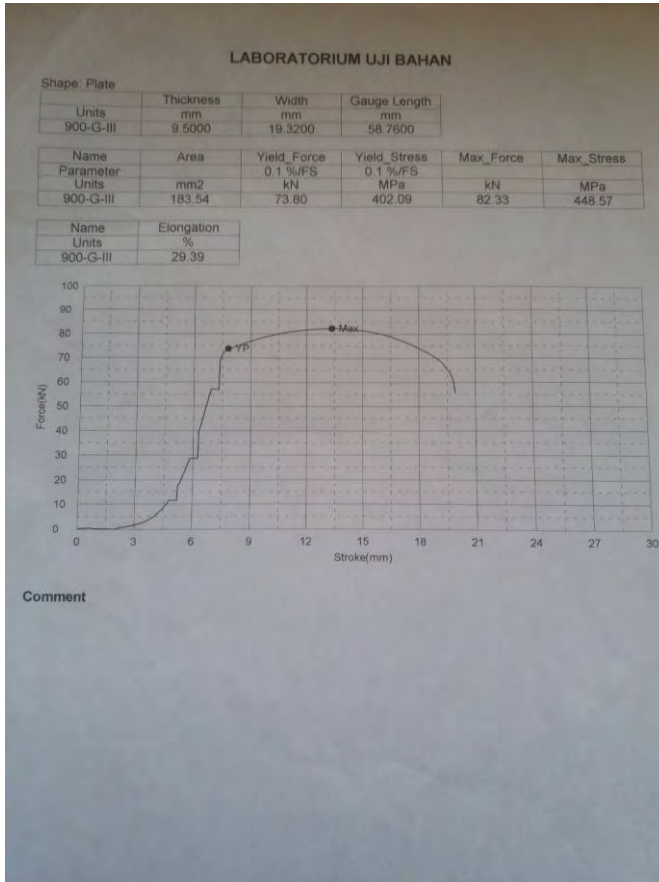
Hasil Uji Tarik Bahan Temperatur 900°C Selama 4 Jam



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh panas temperatur 700°C dan 900°C terhadap perubahan kekerasan dan keuletan pada pengelasan material SA 36 dengan menggunakan metode *SMAW* selama 5 jam, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada pengujian tarik, letak patahan berada pada base metal. Spesimen yang terpengaruh panas pada temperatur 700°C memiliki nilai tegangan tarik lebih besar yaitu 505,18 Mpa daripada temperatur 900°C yang sebesar 461,58 Mpa.
2. Pada pengujian kekerasan, didapatkan hasil bahwa spesimen dengan temperatur 700°C memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari temperatur 900°C. Untuk nilai kekerasan pada temperatur 700°C sebesar 78,74 HRB sedangkan pada temperatur 900°C sebesar 73,71 HRB.
3. Untuk struktur mikro yang terbentuk sama, yaitu *ferrite* dan *pearlite* pada suhu 700°C dan *ferrite*, *pearlite* dan *austenite* pada suhu 900°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* benda kerja dikarenakan terbatasnya alat potong yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim. 2014. “**Elektroda (*filler* atau bahan isi)**”. <http://las-listrik.blogspot.co.id>. Diakses pada tanggal 5 Mei 2016.
2. American Society of Mechanical Engineers Section II, 2010, *Ferrous Material Specifications*.
3. Fahrudy Dwi W. :2016. “*Pengaruh Variasi Ampere 90 Dan 110 Terhadap Sifat Mekanik Material SA36 Yang Disambung Dengan Metode Pengelasan SMAW Arus.*”
4. Idashabu. 2014. “**Tabel Kawat Las**”. <http://idashabu.blogspot.co.id>. Diakses pada tanggal 7 Mei 2016.
5. Muhammad Andy Y. :2016. “*Pengaruh Kebakaran Temperatur 700 °C dan 900 °C Terhadap Perubahan Kekerasan dan Keuletan Pada Pengelasan Material SA 36 Dengan Menggunakan Metode SMAW.*”
6. Sonawan, Hery. 2003. “**Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam**. Alfabeta, cv.”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 20 September 1994, merupakan anak terakhir dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tunas Bangsa Surabaya, SDN Wiyung II Surabaya, SMPN 16 Surabaya dan SMKN 2 Surabaya. Setelah lulus dari SMKN tahun 2013, penulis melanjutkan studi di D3 Teknik Mesin Reguler FTI-ITS dalam bidang studi manufaktur. Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. UNTUNG BERSAMA SEJAHTERA (UBS) yang merupakan pabrik pengolahan perhiasan di Kenjeran, Surabaya di dalam divisi Workshop selama 1 bulan.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin ITS, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti organisasi di himpunan sebagai staf BSO BENGKEL dan kemudian menjadi Direktur BSO BENGKEL pada kepengurusan selanjutnya.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis membutuhkan waktu pengerjaan kurang lebih 5 bulan pada semester 6 pendidikan di D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa D3 Teknik mesin FTI-ITS khususnya, serta untuk kebermanfaat orang banyak kedepannya.