



TUGAS AKHIR – TM 095502

**PENGARUH KEBAKARAN TEMPERATUR
700°C DAN 900°C TERHADAP PERUBAHAN
KEKERASAN DAN KEULETAN PADA
PENGELASAN MATERIAL SA 36 DENGAN
MENGUNAKAN METODE SMAW**

**MUHAMMAD ANDY YUSUF
NRP 2112 030 007**

**Dosen Pembimbing
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

**ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES
OF MATERIAL SA 36 RESULTS SMAW
WELDING POST-FIRE TEMPERATURES
700°C AND 900°C**

**MUHAMMAD ANDY YUSUF
NRP 2112 030 007**

**Academic Supervisor
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDY DIPLOMA III
DEPARTEMEN OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KEBAKARAN TEMPERATUR 700°C DAN
900°C TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN DAN
KEULETAN PADA PENGELASAN MATERIAL SA 36
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SMAW**

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

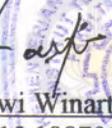
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD ANDY YUSUF

NRP 2112 030 007

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing


Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
NIP 19580915 198701 1-001

SURABAYA, MARET 2016

**Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C Dan 900°C
Terhadap Perubahan Kekerasan Dan Keuletan Pada
Pengelasan Material SA 36 Dengan Menggunakan Metode
SMAW**

Nama : Muhammad Andy Yusuf
NRP : 2112 030 007
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstrak

Salah satu permasalahan dalam pengelasan suatu material logam i tu ialah apabila sebuah konstruksi bangunan yang memiliki dasar berbahan logam hasil pengelasan SMAW terkena kebakaran bertemperatur tinggi.

Pada penelitian ini akan menganalisa mengenai pengaruh kebakaran temperatur 700°C dan 900°C terhadap sifat mekanis dari material SA 36 dengan pengujian tarik yang bertujuan untuk mengetahui daerah patahan 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 pengaruh kebakaran pada temperatur 700°C memiliki nilai tegangan tarik lebih besar dari spesimen temperatur 900°C yaitu 482,70 MPa dan 443,19 MPa. Letak patahan berada pada *Base Metal* dan dilihat dari bentuk patahan, material bersifat *ductile*. Pada hasil uji kekerasan, daerah *weld metal* pada spesimen temperatur 700°C memiliki nilai yang lebih besar dari 900°C yaitu 82,57 HRB dan 76,60 HRB. Sedangkan hasil pengujian metalografi, didapat lebar HAZ pada temperatur 700°C dan 900°C sebesar 2,06 mm dan 2,43 mm. Struktur mikro yang terdapat pada material hanya terdapat ferit dan pearlite.

Kata-kata kunci : Pengaruh kebakaran, Pengelasan SMAW, *Hardness Test*, Uji Tarik dan *Metalography Test*

EFFECT OF FIRE TEMPERATURES 700°C AND 900°C OF CHANGES IN VIOLENCE AND WELDING MATERIAL TENACITY SA 36 USING SMAW

Name : Muhammad Andy Yusuf
NRP : 2112 030 007
Department : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Ir. Gathot Dwi Winarto MT.

Abstract

In the construction of multi-storey building there are several types of materials that can be used, one of which is to use steel material. In building construction are welding process. This welding process is very worth noting, as a result of the welding process itself affects the mechanical properties such as toughness, strength, and good hardness of the material and joints.

From this study will analyze the influence of heat variations in temperature 700C and 900C of the mechanical properties of a material with a tensile testing which aims to determine the fault area on the specimen, then Hardness test aims to know the boundary points between regions Base Metal, HAZ, Weld Metal, also to determine the hardness value of the fault area at tensile test specimens, and test Metallography which aims to determine the microstructure in the area limits Base Metal, HAZ, weld metal.

The results obtained from the higher temperature heat influences the hardness of the material will decrease and tenacity decreases, and for the region Weld Metal, the higher the temperature the influence of heat, it will damage the metal Weld area.

Key words: Effect of Heat, Welding SMAW, Hardness Test, Tensile 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 :

“PENGARUH KEBAKARAN TEMPERATUR 700°C DAN 900°C TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN DAN KEULETAN PADA PENGELASAN MATERIAL SA 36 DENGAN MENGGUNAKAN METODE SMAW”

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. Gathot Dwi Winarto, MT 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. Ir. Mahirul Mursid, M.Sc 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 serta Kakak yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. Rudi,Fida,Nuril,Edi,Tiara,Izal,Bagas,Yogi,Bangkit dan Rara yang telah banyak membantu dan berbagi pengalaman bersama penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
9. Teman – teman angkatan 2011 – 2013, atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini selama proses perkuliahan.

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, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
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 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Definisi Pengelasan	5
2.2 SMAW	5
2.3 Posisi Pada Pengelasan	6
2.4 Heat Input	8
2.5 Kodefikasi Elektroda	9
2.6 Material SA 36	10
2.6.1 Kandungan Karbon	12
2.7 Sifat Mekanik Material	14
2.8 Daerah Pengaruh Panas <i>HAZ</i>	16
2.9 Pengujian Bahan Material	17
2.10 <i>Hardness Test</i>	17
2.10.1 Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	18

2.11 <i>Tensile Test</i>	19
2.11.1 Data Profil Uji Tarik.....	22
2.11.2 Perubahan Tegangan Luluh	25
2.12 <i>Metalography test</i>	25
2.13 Struktur Mikro dan Makro Pada Pengelasan..	32
2.13.1 <i>Multilayer</i>	33

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart Penelitian	37
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	38
3.3 Tempat.....	38
3.4 Langkah kerja	39
3.4.1 Studi literatur	39
3.4.2 Persiapan Material.....	39
3.4.3 Pengelasan.....	41
3.4.4 Simulasi Kebakaran.....	41
3.4.5 Pengambilan Test Piece	42

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).....	53
4.4 <i>Metalography Test</i> (Uji Metalografi).....	58
4.4.1 Pengujian Makro.....	59
4.4.2 Pengujian Mikro.....	62

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69

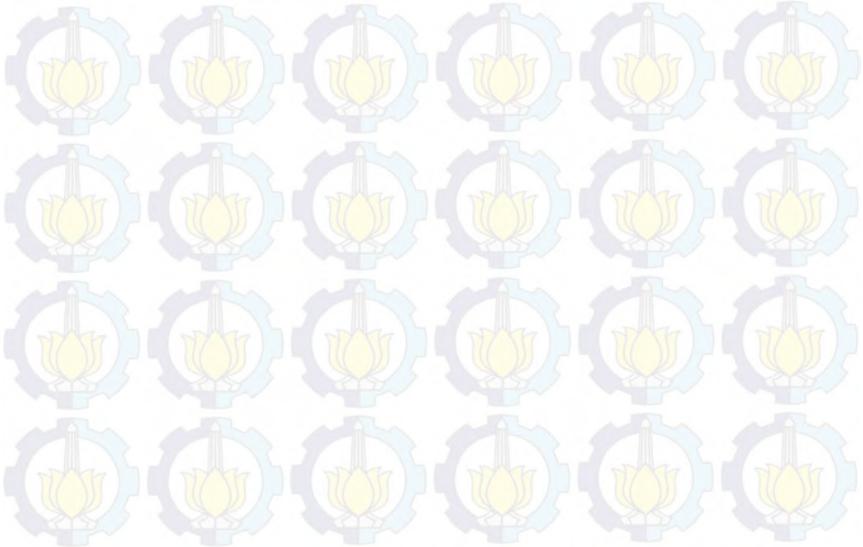
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pengelasan SMAW.	6
Gambar 2.2	Posisi pengelasan 1G.	6
Gambar 2.3	Posisi pengelasan 2G.	7
Gambar 2.4	Posisi pengelasan 3G.	7
Gambar 2.5	Posisi pengelasan 4G.	8
Gambar 2.6	Hubungan antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis.	13
Gambar 2.7	Penampang lintang daerah <i>HAZ</i>	16
Gambar 2.8	Prinsip Kerja <i>Rockwell</i>	18
Gambar 2.9	Gambaran singkat uji Tarik dan kurvanya.	20
Gambar 2.10	Bentuk Patahan.	22
Gambar 2.11	Contoh data hasil uji tarik.	22
Gambar 2.12	Kurva Tegangan Luluh.	25
Gambar 2.13	Keterangan Garis.	27
Gambar 2.14	Jajargenjang.	27
Gambar 2.15	Pantulan sinar <i>metalography test</i>	28
Gambar 2.16	Ferrit.	28
Gambar 2.17	Pearlite.	29
Gambar 2.18	Austenite.	29
Gambar 2.19	Ledeburite.	30
Gambar 2.20	Cementite.	30
Gambar 2.21	Bainite.	31
Gambar 2.22	Martensite.	31
Gambar 2.23	Karakteristik sambungan las pada logam murni.	33
Gambar 2.24	Multilayer 5.	34
Gambar 2.25	Multilayer 6.	35
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Diagram.	37
Gambar 3.2	<i>Flow Chart</i> Diagram (Lanjutan).	38
Gambar 3.3	Dimensi Material.	39
Gambar 3.4	Gambar Material SA 36.	40
Gambar 3.5	Proses Pemotongan Benda Kerja.	40
Gambar 3.6	Material dengan Kampuh 30°.	40
Gambar 3.7	Proses Pengelasan.	41
Gambar 3.8	Tang Ampere.	41

Gambar 3.9	Oven <i>Heat Treatment</i>	42
Gambar 3.10	<i>Test Piece</i> Pengujian.....	42
Gambar 3.11	Spesimen Uji Tarik.....	43
Gambar 3.12	Sket Spesimen Uji Tarik.....	43
Gambar 3.13	Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	44
Gambar 3.14	Lokasi Indentasi Uji Kekerasan.....	44
Gambar 3.15	Alat dan Bahan untuk proses etsa.....	45
Gambar 4.1	Lokasi Indentasi Pengujian Tarik.....	48
Gambar 4.2	Proyeksi Daerah L0.....	48
Gambar 4.3	L0 dan L1 Benda Kerja Temperatur 700°C ...	49
Gambar 4.4	L0 dan L1 Benda Kerja Temperatur 900°C ...	49
Gambar 4.5	Nilai Tegangan Tarik.....	51
Gambar 4.6	Pengujian tarik pada spesimen setelah pengaruh kebakaran temperatur 700°C.....	52
Gambar 4.7	Pengujian tarik pada spesimen setelah pengaruh kebakaran temperatur 900°C.....	52
Gambar 4.8	Daerah putus pada spesimen Sa 36 setelah terkena pengaruh kebakaran temperatur 700°C terletak pada <i>Base Metal</i>	53
Gambar 4.9	Daerah putus pada spesimen Sa 36 setelah terkena pengaruh kebakaran temperatur 700°C terletak pada <i>Base Metal</i>	53
Gambar 4.10	Sket Indentasi pada pengujian kekerasan	54
Gambar 4.11	Letak indentasi pada uji kekerasan bidang I,II,III temperatur 700°C.....	54
Gambar 4.12	Letak indentasi pada uji kekerasan bidang I,II,III temperatur 900°C.....	55
Gambar 4.13	Grafik Nilai kekerasan Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C.....	56
Gambar 4.14	Grafik Nilai kekerasan Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C.....	57
Gambar 4.15	Grafik nilai kekerasan rata rata.....	58
Gambar 4.16	Foto Makro Spesimen Temperatur 700°C	59
Gambar 4.17	Dimensi Foto Makro Temperatur 700°C.....	59
Gambar 4.18	Foto Makro Spesimen Temperatur 900°C.....	59
Gambar 4.19	Dimensi Foto Makro Temperatur 900°C.....	60
Gambar 4.20	Grafik Lebar Total <i>HAZ</i>	61

Gambar 4.21	Struktur mikro daerah <i>Base Metal</i> temperatur 700°C	62
Gambar 4.22	Struktur mikro titik perbatasan antara <i>Base Metal</i> dengan <i>HAZ</i> temperatur 700°C.....	63
Gambar 4.23	Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> Temperatur 700°C	63
Gambar 4.24	Struktur mikro titik perbatasan antara <i>HAZ</i> dengan <i>Weld Metal</i> temperatur 700°C	64
Gambar 4.25	Struktur mikro perbatasan daerah <i>Weld Metal</i> temperatur 700°C	64
Gambar 4.26	Struktur mikro daerah <i>Base Metal</i> temperatur 900°C	65
Gambar 4.27	Struktur mikro titik perbatasan antara <i>Base Metal</i> dengan <i>Weld Metal</i> temperatur 900°C.....	65
Gambar 4.28	Struktur mikro daerah <i>Weld Metal</i> temperatur 900°C	66



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai <i>Chemical Composition</i>	10
Tabel 2.2	Sifat Mekanik SA 36.	10
Tabel 2.3	Karakteristik dari 5 Elemen pada baja.	11
Tabel 2.4	Klasifikasi Baja Karbon.....	13
Tabel 2.5	Skala Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	19
Tabel 4.1	Logam Induk E 7016 dan pengisi	47
Tabel 4.2	Parameter Pengelasan 90 Ampere.	47
Tabel 4.3	Heat Input.....	48
Tabel 4.4	Data Nilai Uji Tarik.....	50
Tabel 4.5	Data Hasil Regangan	51
Tabel 4.6	Nilai Indentasi Pengujian Kekerasan Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C.	55
Tabel 4.7	Nilai Indentasi Pengujian Kekerasan Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C	56
Tabel 4.8	Data Rata-Rata Nilai Kekerasan.....	57
Tabel 4.9	HAZ Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C	60
Tabel 4.10	HAZ Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C	61
Tabel 4.11	Lebar <i>HAZ</i> (mm ²).....	61

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pembangunan gedung bertingkat ada beberapa jenis material yang dapat digunakan, salah satunya adalah dengan menggunakan material baja. Pada konstruksi bangunan terdapat proses pengelasan. Proses pengelasan ini sangat perlu diperhatikan, karena hasil dari proses pengelasan itu sendiri berpengaruh pada sifat mekanis seperti ketangguhan, kekuatan, dan kekerasan baik dari material maupun sambungannya.

Pengelasan merupakan salah satu proses yang cukup berperan dalam industri manufaktur dengan tujuan untuk proses maintenance maupun proses produksi. 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 kebakaran bertemperatur tinggi. Hal yang harus diperhatikan untuk mengatasi hal tersebut ialah dengan cara mengetahui pengaruh kebakaran tersebut terhadap material yang digunakan. Sehingga dari analisa tersebut dapat memperhitungkan langkah *repair* yang akan dilakukan.

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 DC dengan membedakan variasi temperatur kebakaran yaitu 700°C dan 900°C, disertakan pula data material sebelum kebakarsn hasil pengelasan SMAW sebagai data pembanding. 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, makro yang terjadi pada daerah *Base Metal*, *Weld Metal*, dan *HAZ*, dan Uji Tarik dari material yang telah dilakukan pengelasan dan dipanaskan variasi temperatur kebakaran dengan simulasi *heat treatment* 700°C dan 900°C, dan untuk pendinginannya menggunakan metode pendinginan *annealing* dimana logam dipanaskan sampai temperatur tertentu, kemudian melakukan penahanan atau *holding time* pada temperatur tersebut selama waktu 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 sifat mekanik material uji tarik dari pengaruh pasca kebakaran temperatur 700°C dan 900°C pada material SA 36 hasil pengelasan SMAW
2. Bagaimana nilai perbandingan kekerasan dari pengaruh pasca kebakaran temperatur 700°C dan 900°C pada material SA 36 hasil pengelasan SMAW
3. Bagaimana perbandingan luasan HAZ beserta gambar struktur mikro dari pengaruh pasca kebakaran temperatur 700°C dan 900°C 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 kiranya diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material awal yang digunakan dalam penelitian dianggap tidak ada cacat.
2. Menggunakan proses SMAW (*Shield Metal Arc Weld*) dengan posisi 1G.

3. *Ampere* yang digunakan adalah 90 Ampere dan kampuh yang digunakan adalah single V groove 30°.
4. Material yang digunakan adalah SA 36 dengan dimensi 110 x 150 mm dan tebal 10 mm.
5. Elektroda yang digunakan adalah E7016 dengan diameter 2.6 mm.
6. Pengujian yang dilakukan adalah *Hardness Rockwell, Metalography (Makro, Mikro ETSA)*, dan pengujian Tarik untuk daerah *Base Metal, HAZ* dan *Weld Metal*.
7. Pengujian dilakukan pada *bagian Base Metal, Weld Metal*, dan *HAZ*.
8. Untuk data pendukung disertakan pula hasil dari pengujian material sebelum kebakaran.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Mengetahui nilai uji tarik dari pengaruh kebakaran temperatur 700°C dan 900°C.
2. Mengetahui perbandingan nilai kekerasan dari pengaruh kebakaran temperatur 700°C dan 900°C.
3. Mengetahui perbandingan lebar *HAZ* beserta gambar struktur mikro dari pengaruh pasca kebakaran temperatur 700°C dan 900°C.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh pasca kebakaran temperatur tinggi terhadap nilai kekerasan dan ketangguhan dari material SA 36 hasil pengelasan *SMAW* di daerah base metal, weld metal, dan *HAZ*.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

BAB II Tinjauan Pustaka

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

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

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

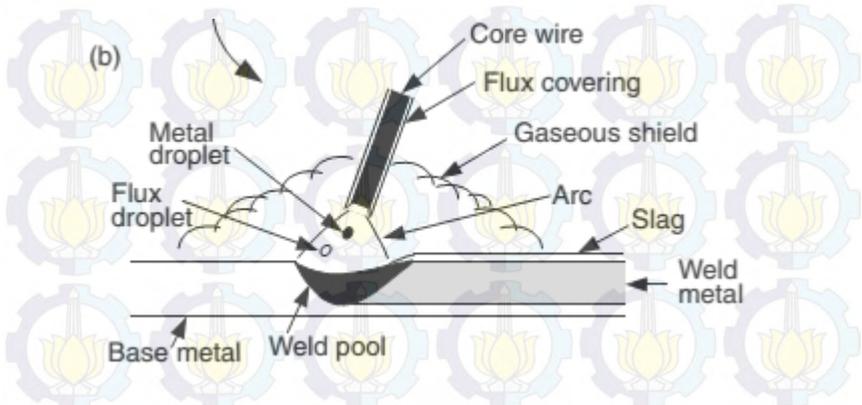
2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah 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 .

2.2 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.

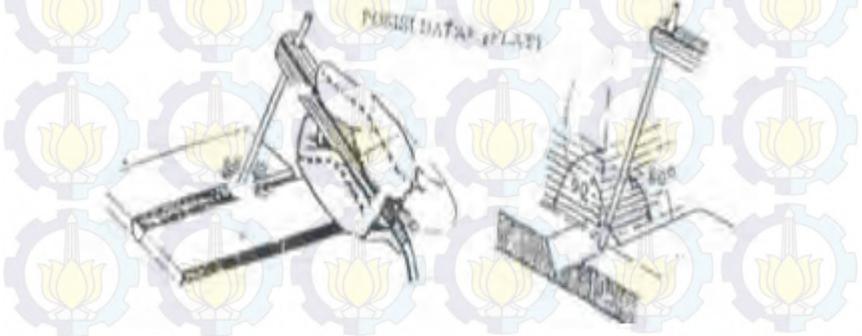


Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW

2.3 Posisi Pada Pengelasan

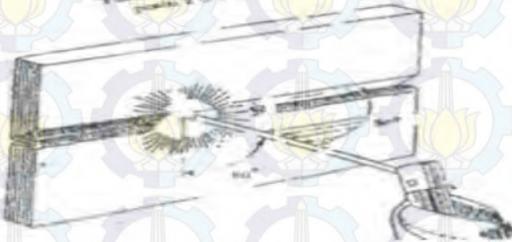
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan Posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam yaitu:

- Posisi (1G)



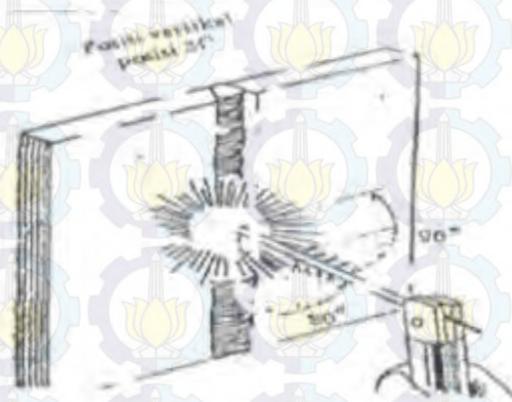
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G

- Posisi (2G)



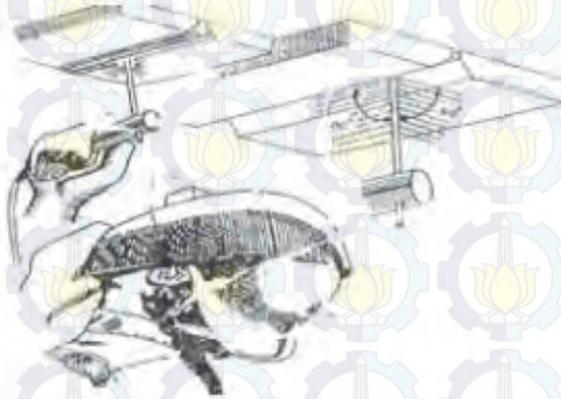
Gambar 2.3 Posisi pengelasan 2G

- 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 energy berasal dari listrik yang diubah menjadi energy panas. Energy panas ini sebenarnya hasil kalaborasi 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 energy panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

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

Masukan panas :
$$HI = \frac{E \times I}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: $HI = \text{masukan panas atau energi (J/mm)}$
 $I = \text{Arus (Ampere)}$
 $E = \text{Voltase (Volt)}$
 $V = \text{Jarak/Waktu (mm/s)}$

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 (*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 XX X X

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

XX : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam lb/in.

X : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

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

2.6 Material SA 36

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA 36 dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukkan pada tabel 2.1 dan tabel 2.3

Tabel 2.1 Nilai *Chemical Composition*

Product	Shapes ^a	Plates [#]				
		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

ASTM A36	
Tensile Strengt	
YS (MPa)	TS (MPa)
250	400-550

Tabel 2. 3 Karakteristik dari 5 Elemen pada baja

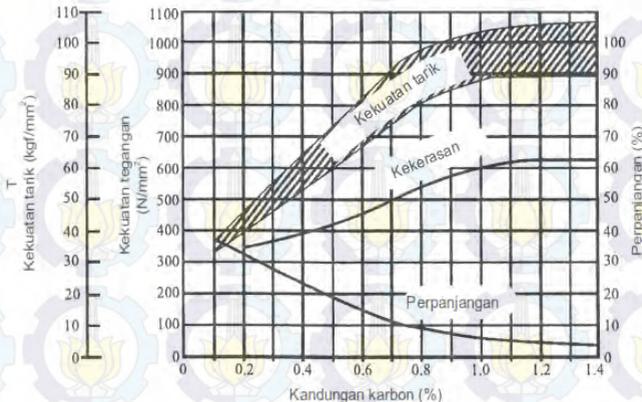
Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan dan kemampuan baja untu mengeras, tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja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

		menyebabkan retak dingin.	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 perpanjangan, sifat mampu pengerjaan dan sifat mampu las serta cenderung retak. Maka baja bila akan dilas harus mempunyai kandungan

karbon rendah. Gambar 2.20 memperlihatkan hubungan antara kandungan karbon dengan sifat mekanis baja.



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, seperti diberikan pada table 2.9. Baja karbon juga dapat diklasifikasikan baja keras yang dapat dikeraskan dan baja lunak yang tidak dapat dikeraskan.

Table 2.4 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% - 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan.
Baja karbon sedang	0,31% - 0,59%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur.
Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% - 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 energy 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 deformasi atau difleksi.

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 palstis*) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*), sedangkan material yang

mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (*brittle*).

E. Keuletan (*ductility*)

Merupakan kemampuan sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material yang ulet (*ductile*) ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangan. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan, dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dll

F. Ketangguhan (*toughness*)

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energy 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 permanent. Material yang getas atau rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi keregangan yang terlalu besar. Contoh bahan yang memiliki sifat kerapuhan ini yaitu besi cor.

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 plastik*) bila pembebanan yang

besarnya relative tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

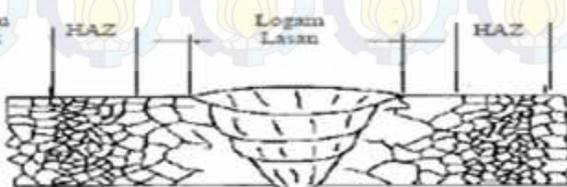
J. Kekerasan (*hardness*)

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

2.8 Daerah Pengaruh Panas 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 pengaruh 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, daerah ketiga adalah daerah las merupakan daerah terjadinya pencairan logam dan dengan cepat kemudian mengalami pembekuan.

Daerah pengaruh panas (HAZ) merupakan daerah yang paling kritis dari sambungan las, karena selain terjadi perubahan mikrostruktur juga terjadi perubahan sifat. Secara umum daerah pengaruh panas efektif dipengaruhi oleh lamanya pendinginan dan komposisi logam las maka susunan struktur logamnya semakin kasar. Secara skematis hubungan tinggi suhu atau semakin jauh dari logam cair las. Secara detail dapat dilihat pada gambar 2.14. Penampang lintang daerah HAZ di bawah ini :



Gambar 2.7 Penampang lintang daerah HAZ

2.9 Pengujian Bahan Material

Proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsur-unsur yang terdapat di dalamnya. Adapun proses pengujiannya dikelompokkan ke dalam tiga kelompok metode pengujian, yaitu :

1. DT (*Destructive Test*), yaitu adalah proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan logam yang diuji.
2. NDT (*Non Destructive Test*), yaitu proses pengujian logam yang tidak dapat menimbulkan kerusakan 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*

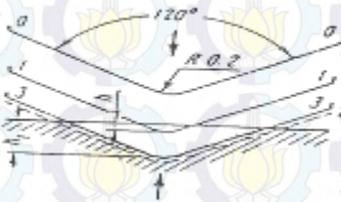
Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap indentasi, tahan terhadap penggoresan, tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan (abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan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

2.10.1 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 indendor, 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 indendor, 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 2.8 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal P_1

2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh ($P_1 + P$)

3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P_1

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 (h_1) dapat ditulis sebagai berikut.

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

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

Table 2.5 Skala Uji Kekerasan Rockwell

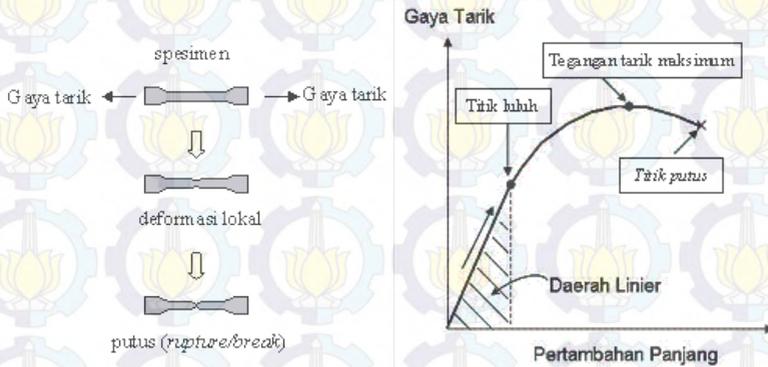
Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 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

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.



Gambar 2.9 Gambaran singkat 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 pertambahan panjang vs beban

mengikuti aturan Hooke sebagai berikut *rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan.*

Stress adalah beban dibagi luas penampang 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

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

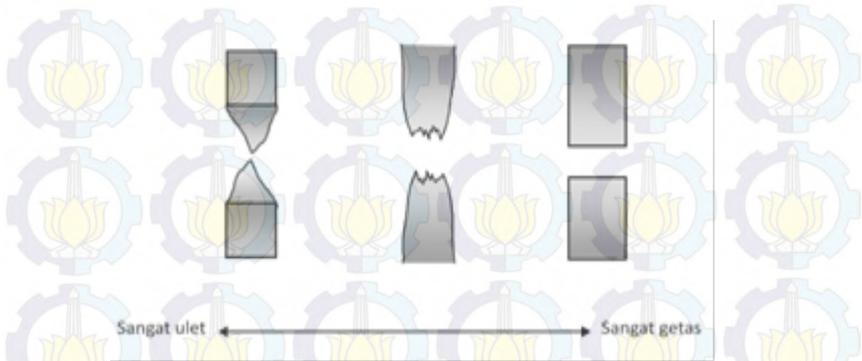
Dimana

ε = Regangan (%)

ΔL = Perpanjangan (mm)

L₀ = Panjang awal (mm)

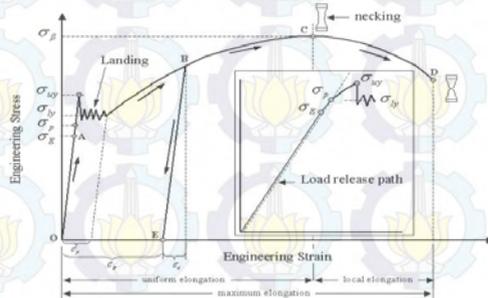
Dilihat dari spesimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari spesimen dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2.10 Bentuk Patahan

2.11.1 Detail profil uji tarik dan sifat mekanik logam

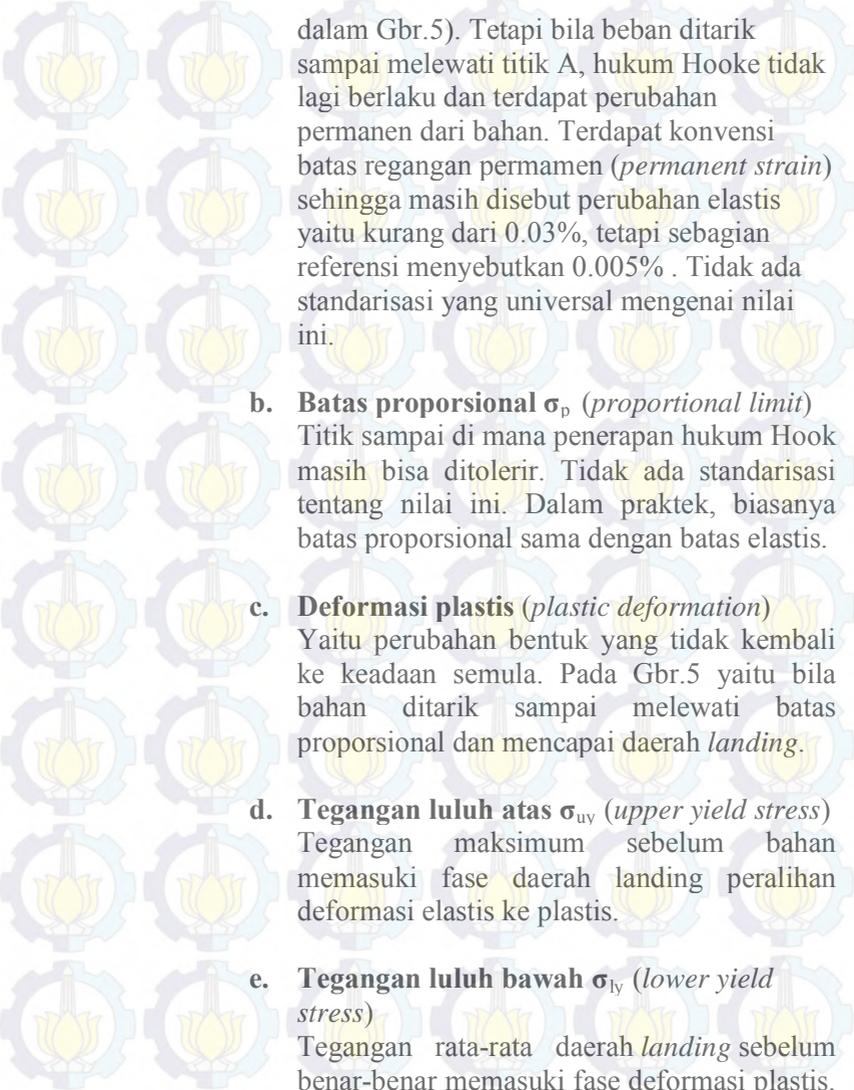
Sekarang akan kita bahas profil data dari tensile test secara lebih detail. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralissi.



Gambar 2.11 Contoh data hasil Uji Tarik

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 “noI” 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 Hook 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. Pada Gbr.5 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.
- d. Tegangan luluh atas σ_{uv} (*upper yield stress*)**
Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah *landing* peralihan deformasi elastis ke plastis.
- e. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)**
Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar 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, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

j. Tegangan tarik maksimum TTM (UTS, ultimate tensile strength)

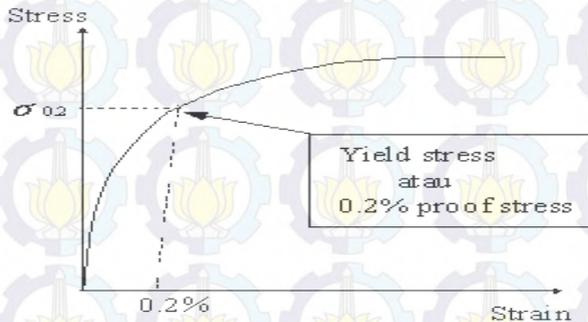
Ditunjukkan dengan titik C (σ_B), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

k. Kekuatan patah (breaking strength)

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

2.11.2 Tegangan luluh perubahan elastis dan plastis

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

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop 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. Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar HAZ maka data akan diolah terlebih dahulu melalui rumus berikut.

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

Keterangan:

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

T_0 = Temperatur awal pengelasan ($^{\circ}C$)

T_p = Temperatur batas Haz dan Bas Metal ($^{\circ}C$)

T_m = Temperatur Melting ($^{\circ}C$)

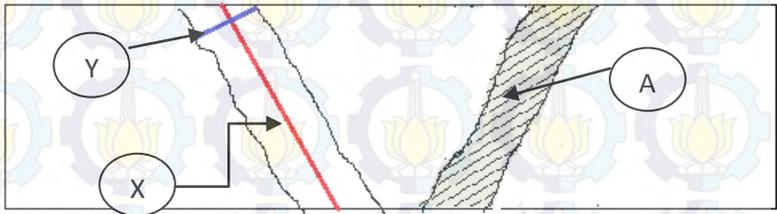
ρC = $0,0044 \text{ J/mm}^3 \cdot ^{\circ}C$

t = tebal plat (mm)

y = Lebar HAZ (mm)

Dari rumus ini maka akan diketahui pengaruh dari suhu preheat terhadap lebar dari HAZ karena suhu awal (T_0) maka semakin besar suhu preheat maka lebar dari HAZ akan semakin lebar. Namun dengan catatan variabel dari rumus sama pada seluruh variasi Preheat yang berubah hanya T_0 nya saja

Maka untuk mengetahui lebar dari masing-masing HAZ dilakukan permisalan yang akan dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 2.13 Keterangan Garis

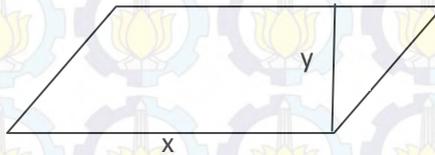
Keterangan :

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 2.14 Jajar genjang

Luas = Panjang X Tinggi

x = Panjang

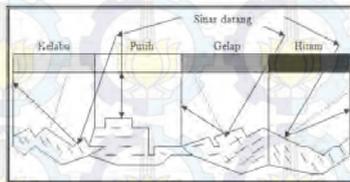
y = Tinggi

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

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

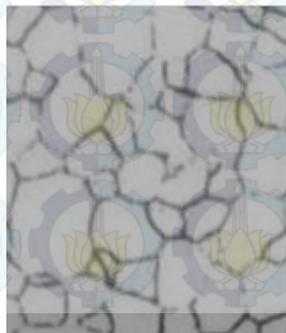
Untuk lebih jelasnya akan ditampilkan hasil dari lebar rata rata keseluruhan dari HAZ dalam tabel berikut ini beserta grafiknya.

- 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 2.15 Pantulan Sinar Pada Metalograph Test

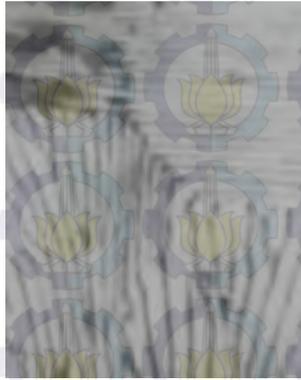
Berikut adalah macam-macam struktur mikro beserta penjelasannya :



Gambar 2.16 Ferrit

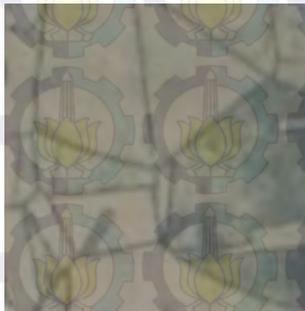
Ferrit yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir-butir kristal yang padat.

Berwarna putih terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing).



Gambar 2.17 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.



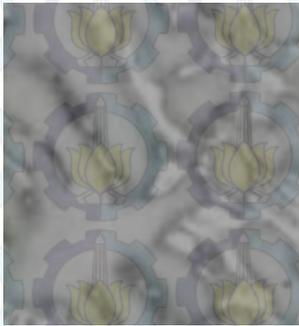
Gambar 2.18 Austenite

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 2.19 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 2.20 Cementite

Cementite yaitu karbida besi Fe₃C merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%. Berbentuk jaringan (network). Berwarna putih. Sifat mekanis sangat keras dan getas.



Gambar 2.21 Bainite

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



Gambar 2.22 Martensite

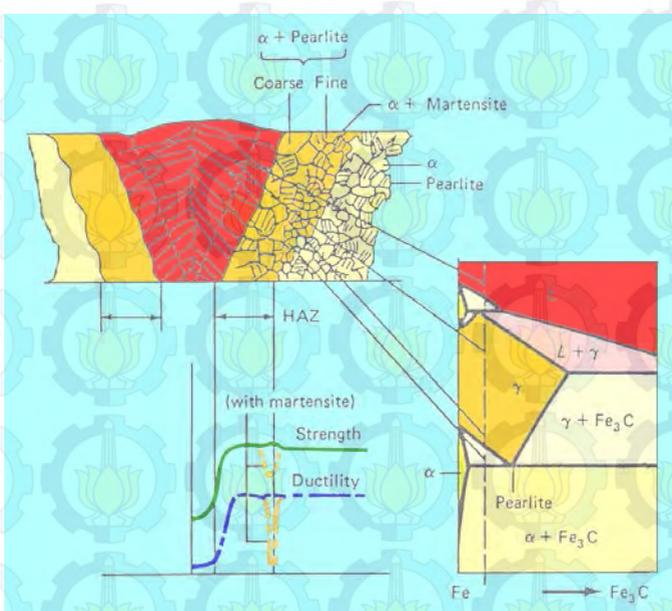
Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon >0,5%. Berbentuk jarum-jarum pendek. Berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras.

2.13 Struktur Mikro dan Makro pada Base Metal, HAZ (Heat Affected Zone) dan Weld Metal

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.

Kami sekarang mempertimbangkan contoh khas perubahan ini. Mari kita mempertimbangkan las fusi dua potong bahan fase tunggal, yang telah 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 batas meleleh, yang pada akhirnya menghasilkan kekuatan rendah. Daerah *HAZ* yang terkena panas, butiran menjadi kasar karena heat input (annealing), dan juga terjadi rekristalisasi parsial. Dalam kedua kasus, kekuatan rendah jauh di bawah dari bahan induk. Dengan meningkatnya jarak dari batas meleleh, butiran menjadi lebih halus sampai daerah panas *HAZ* terpengaruh dengan mencapainya butiran yang memanjang. Semua perubahan ini ditunjukkan pada gambar. 2.23. Karakteristik sambungan las pada logam murni.



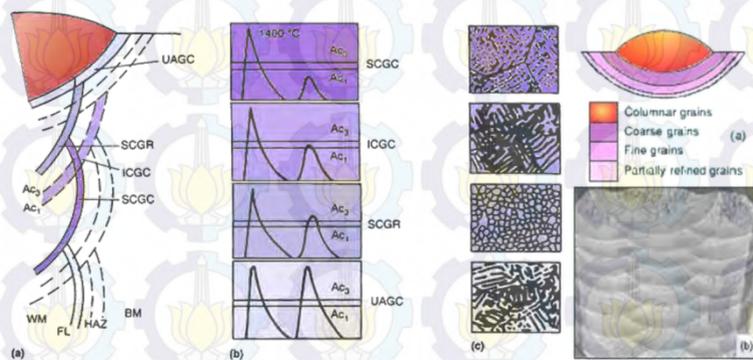
Gambar 2.23 Karakteristik sambungan las pada logam murni **Fe – Fe₃C**.

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*.

2.13.1 *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

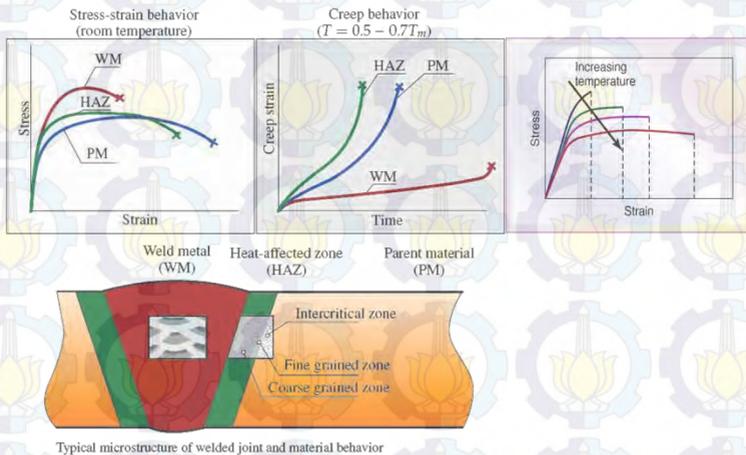
sambungan memberikan pengaruh terhadap laju pendinginan. Laju pendinginan yang terjadi dengan pengelasan *multilayer* yang diberikan memperkecil adanya gradien temperatur pada saat terjadi proses pembekuan. Dengan sedikitnya tegangan sisa dan fasa-fasa getas maka, kekuatan tarik sambungan akan semakin tinggi dan nilai kekerasan akan menurun karena material bersifat *ductile*.



Gambar 2.24 Typical Heat Cycles 5 Δt 8/5 (Temperatur 800^o – 500^o / 300^o C) Multi Layer

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 *martensit* yang bersifat getas pada daerah *weld metal*, sedangkan adanya *postheat* untuk memperbaiki struktur

weld metal apabila terjadi martensit. Dengan kata lain pada multilayer tidak terbentuk martensit.



Gambar 2.25 Typical Heat Cycles 6 Δ t 8/5 (Temperatur 800° – 500° / 300° C) Multi Layer

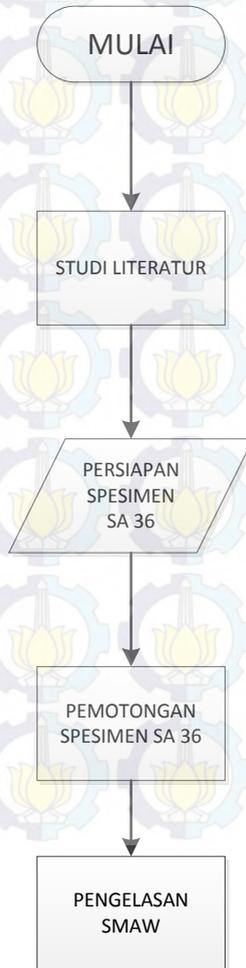
Dari grafik gambar diatas menjelaskan bahwa *Stress Weld Metal* lebih tinggi dari pada *HAZ* dan *Parent Material*. Sehingga *Strain* paling panjang terdapat pada *Parent Material*. Karena semakin keras *Weld Metal*, maka semakin ulet. Sedangkan pada grafik *Creep-Strain* bahwa *Weld Metal* semakin lama terkena masukan panas akan mengalami putus. Sehingga pada *HAZ* dan *Parent Material* tidak terjadi patah.



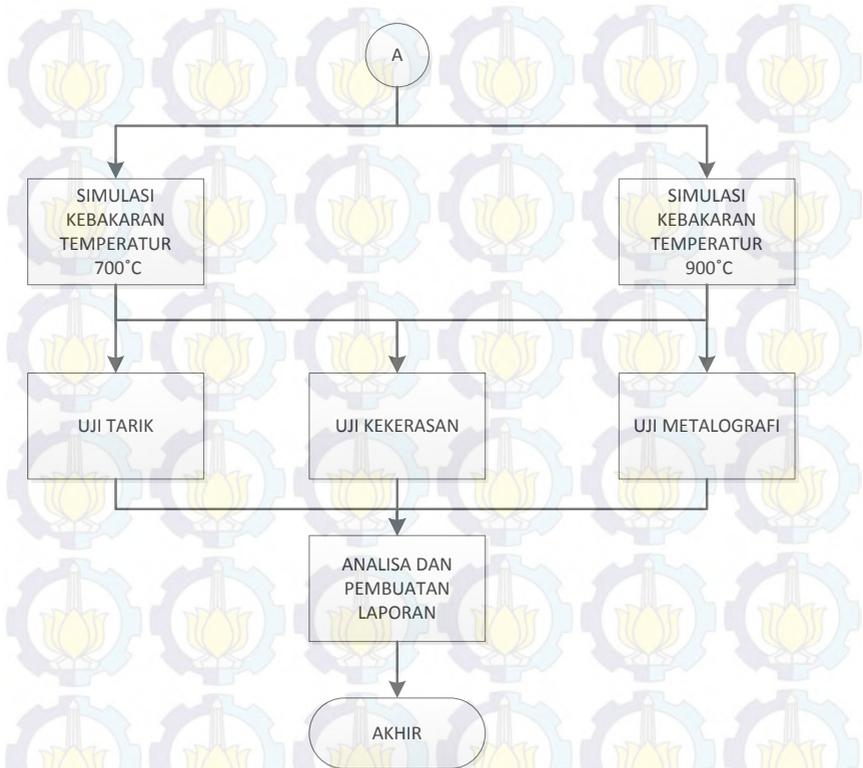
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

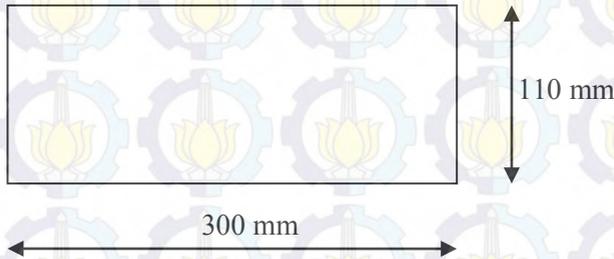
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang perlakuan panas yaitu Preheat dan Postheat serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhannya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan 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 300 mm dan tebal 10 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut 60° seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.3 Dimensi Material.



Gambar 3.4 Gambar Material SA 36



Gambar 3.5 Proses pemotongan benda kerja



Gambar 3.6 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 LB 52 dan LB 52U untuk penetrasi yang baik, dan sebagai *fill and cover*, serta *capping*. Diameter elektroda E 7016 sebesar 3,2 mm Arus yang digunakan pada saat pengelasan SMAW adalah 90 A.



Gambar 3.7 Proses Pengelasan



Gambar 3.8 Tang Ampere

3.4. Simulasi Kebakaran

Simulasi kebakaran pada penelitian kali ini menggunakan simulasi *heat treatment*, dan dilakukan pada saat benda kerja yang telah disambung menggunakan proses pengelasan

SMAW dengan temperatur 700°C dan 900°C, tujuannya ialah untuk mengetahui pengaruh kebakaran pada sifat mekanik benda kerja hasil las SMAW tersebut



Gambar 3.9 Alat Simulasi Kebakaran

3.4.5 Pengambilan *Test Piece*

Untuk pengambilan spesimen, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini, Pengujian yang dilakukan adalah kekerasan (*Hardness*), Uji Tarik, dan *Metalography* (*Makro dan Mikro ETSA*)

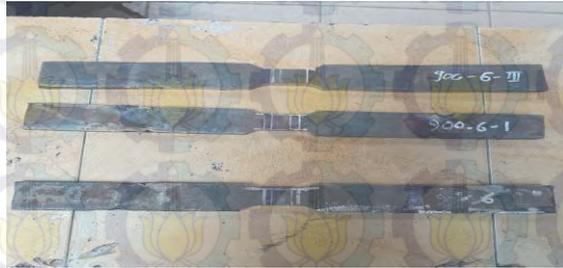


Gambar 3.10 *Test Piece* Pengujian

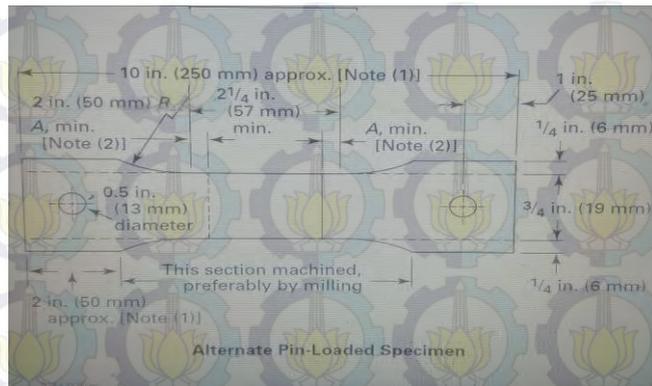
1. Uji Tarik

Dalam proses uji tarik ini, jumlah spesimen yang akan diuji berjumlah 6 buah spesimen dari setiap variabel uji, dan spesimen tersebut berbentuk plat. Dari pengujian tarik ini nantinya akan dianalisa pada daerah bagian spesimen yang

patah, dari diagram yang didapat nantinya akan diketahui nilai kekuatan tarik dari benda kerja tersebut.



Gambar 3.11 Spesimen Uji Tarik



Gambar 3.12 Sket Spesimen Uji Tarik

2. Pengujian Kekerasan.

Dalam pengujian kekerasan, jumlah spesimen yang diuji adalah 3 buah dari setiap variabel uji. Pengujian kekerasan dilakukan dengan maksud mengetahui titik batas akhir daerah

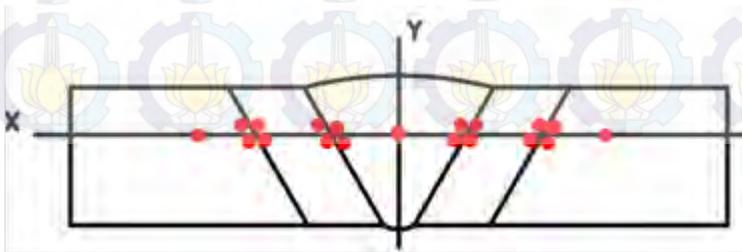
antara *Weld metal* dengan *HAZ*, dan daerah antara *HAZ* dengan *Base metal*.



Gambar 3.13 Alat Uji Kekerasan Rockwell

Spesifikasi Alat Uji:

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

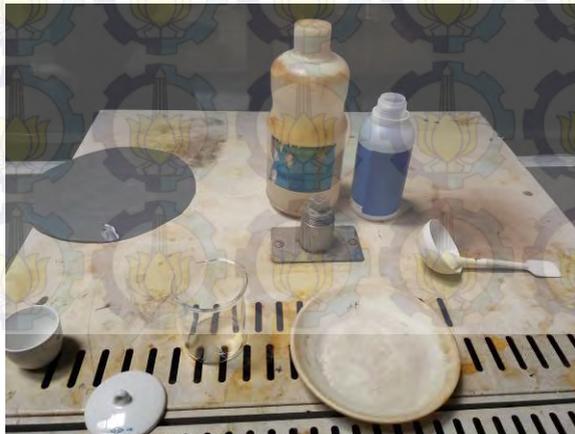


Gambar 3.14 Lokasi Indentasi Uji Kekerasan.

3. Uji Metalografi

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 melihat struktur kristal logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50 – 3000 kali, sehingga dapat diketahui struktur kristal terhadap daerah titik batas antara daerah *Weld Metal* dengan *HAZ*, dan daerah *HAZ* dengan daerah *Base metal*, serta mengetahui struktur kristal pada daerah patahan uji tarik.



Gambar 3.15 Alat dan bahan untuk proses etsa



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana perbedaan pengaruh kebakaran bertemperatur tinggi dengan suhu 700°C dan 900°C pada sambungan las baja SA36 yang dilakukan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), melalui 3 pengujian, yaitu *Tensile Test*, *Hardness Test*, *Metalography Test*.

4.1 Parameter Pengelasan

Tabel 4.1 logam induk E7016 sebagai *root* dan *fill cover*

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

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan arus listrik 90 Ampere

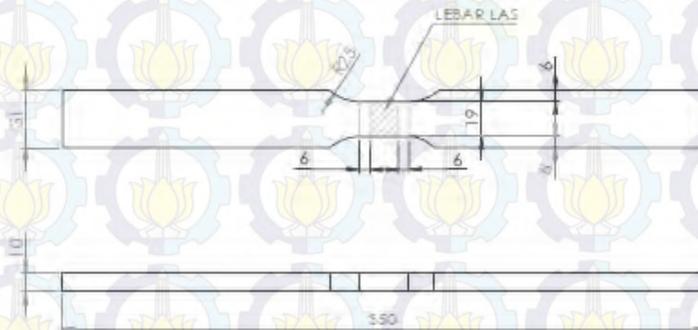
Proses	SMAW
Layer number/pass	1-5
Travel speed	1.5 mm/s
Amperage	90 ampere
Voltage	26 volt
Electrode diameter	2.6 mm

Tabel 4.3 Heat Input

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

4.2 Tensile Test (Uji Tarik)

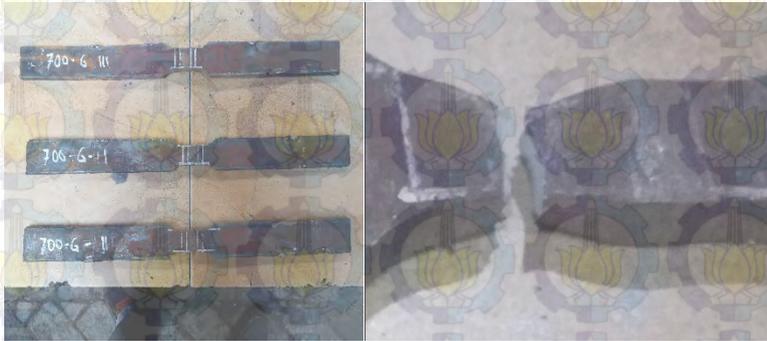
Pada pengujian tarik ini digunakan 6 spesimen berdasarkan variasi suhu kebakaran , yaitu 3 spesimen untuk suhu 700°C dan 3 spesimen untuk suhu 900°C didapat hasil sebagai berikut :



Gambar 4.1 Lokasi Indentasi Pengujian Tarik



Gambar 4.2 proyeksi daerah L0



Gambar 4.3 L0 dan L1 Benda Kerja Temperatur 700°C



Gambar 4.4 L0 dan L1 Benda Kerja Temperatur 900°C

Tabel. 4.4 Data Nilai Uji Tarik

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

Dari Tabel di atas dapat dibedakan menjadi grafik Uji Tarik untuk material setelah terkena pengaruh kebakaran temperatur 700°C dengan jumlah 3 spesimen uji, dan grafik Uji Tarik untuk material setelah terkena pengaruh kebakaran temperatur 900°C dengan jumlah 3 spesimen uji, Total 6 spesimen uji berdasarkan Regangan ξ (%), Tensile σ Max (MPa), dan Tensile σ Yield (Mpa).



Gambar 4.5 Grafik Nilai Tegangan Tarik

Dengan tabel dan diagram diatas bahwa nilai rata rata *max stress* pada pengaruh kebakaran temperatur 700°C adalah 482,70 N/mm², dan untuk pengaruh kebakaran temperatur 900°C adalah 427,69 N/mm². Dengan kata lain nilai rata rata *max stress* pada pengaruh kebakaran temperatur 700°C lebih tinggi dibandingkan pengaruh kebakaran temperatur 900°C.

Tabel 4.5 Data Hasil Regangan

Suhu	NO.	L0 (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	ε (%)
700°C	1	27	32,87	5,87	21,77
	2	27	32,3	5,3	19,66
	3	27	32,15	5,15	19,1
Rata rata					20,18
900°C	1	27	32,89	5,89	21,82
	2	27	35,02	8,02	29,7
	3	27	34,93	7,93	29,39
Rata rata					26,97

Dari data diatas dapat dilihat bahwa presentase rata rata regangan pengaruh kebakaran 700°C adalah 20,18, dan untuk pengaruh kebakaran temperatur 900°C adalah 26,97. Sehingga untuk pengaruh kebakaran temperatur 900°C memiliki presentase yang lebih tinggi dibandingkan pengaruh kebakaran temperatur 700°C



Gambar 4.6 Pengujian Tarik Pada Spesimen Setelah Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C



Gambar 4.7 Pengujian Tarik Pada Spesimen Setelah Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C

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



Gambar 4.8 Daerah putus pada spesimen SA 36 setelah terkena pengaruh kebakaran temperatur 700°C terletak pada *base metal*



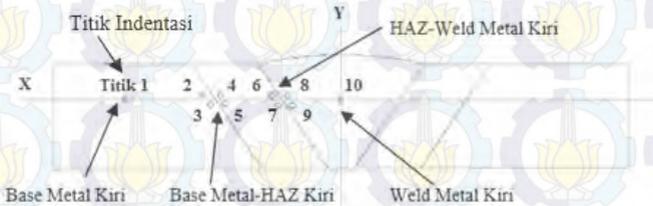
Gambar 4.9 Daerah putus pada spesimen SA 36 setelah terkena pengaruh kebakaran temperatur 900°C terletak pada *base metal*

Dari daerah patahnya pula, material SA36 yang terkena pengaruh kebakaran temperatur 700°C dan 900°C , daerah patahnya terletak pada daerah *Base Metal*, karena pada proses awal pengelasan terjadi *Multi layer* yaitu proses pengelasan pada *Weld Metal* mendapat masukan panas *preheat* dan *postheat* yang berkali-kali. Sehingga dari WPS (*Welding Prosedure System*) yang benar dan hasil dari pengelasan tidak mengalami cacat las pada sambungan di logam induk.

4.3 Hardness Test (Uji Kekerasan)

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen sebanyak 3 kali pengujian 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*. Selain itu hasil patahan dari uji tarik akan diamati juga. Bentuk pengujian kekerasan pada spesimen menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah.



Gambar 4.10 Sket Indentasi pada uji kekerasan

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



Gambar 4.11 Letak indentasi pada uji kekerasan bidang I,II,III temperatur 700°C



Gambar 4.12 Letak indentasi pada uji kekerasan bidang I,II,III temperatur 900°C

Tabel 4.6 Nilai Indentasi untuk Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C

Titik Indentasi		Bidang			Rata rata
		1	2	3	
BM	1	73,5	74	74	73,83
	2	74	74	76	74,67
	3	79	78,9	79,5	79,13
HAZ	4	82	80	81,3	81,10
	5	78	79,5	80	79,17
	6	78	79	81	79,33
	7	84	84,5	82,5	83,67
WM	8	84,5	86	84,9	85,13
	9	82	79,5	81	80,83
	10	84	82	82,9	82,97

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



Gambar 4.13 Grafik Nilai Kekerasan Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C

Tabel 4.7 Nilai Indentasi untuk Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C

Titik Indentasi		Bidang			Rata rata
		1	2	3	
BM	1	69	62	69	66,67
	2	73	73	68	71,33
	3	73,5	70,5	66	70,00
HAZ	4	75	74,5	74	74,50
	5	74,3	75,5	74,3	74,70
	6	72	75	76	74,33
	7	74,5	77	79	76,83
WM	8	75	75	78	76,00
	9	74,9	74,9	79	76,27
	10	75	75,2	76	75,40

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



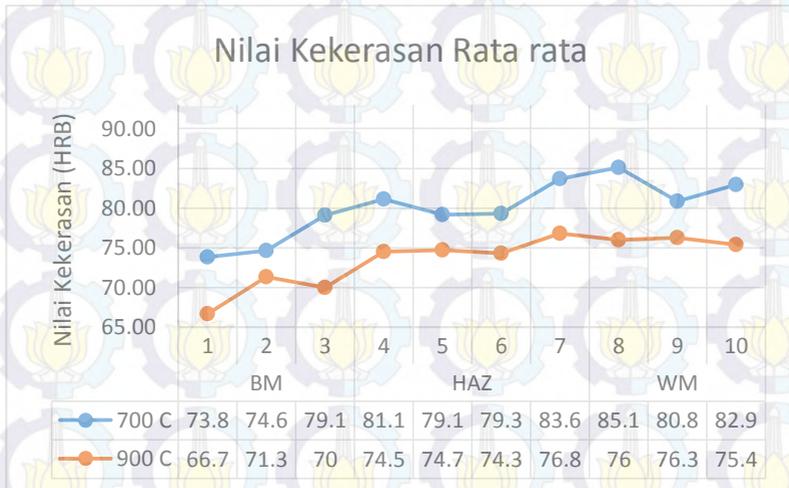
Gambar 4.14 Grafik Nilai Kekerasan Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C

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

Tabel 4.8 Nilai Kekerasan Rata Rata

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

Berdasarkan data dari tabel diatas dapat diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 4.15 Grafik nilai kekerasan rata rata

Dari tabel, gambar, dan grafik rata rata uji kekerasan yang ditampilkan, diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi untuk pengaruh kebakaran 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 kebakaran temperatur 700°C.

4.4 Metalography Test (Uji Metalografi)

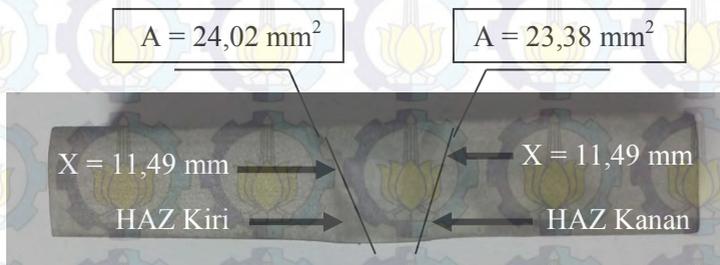
Pada pengujian metalografi ini yang akan dilihat struktur mikronya yaitu daerah perbatasan antara *base metal*, *HAZ*, *weld metal* serta ditambah masing masing daerah *Base metal*, *HAZ*, *Weld metal*.

4.4.1 Pengujian Makro

Hasil pengujian makro dapat dilihat pada gambar di bawah :



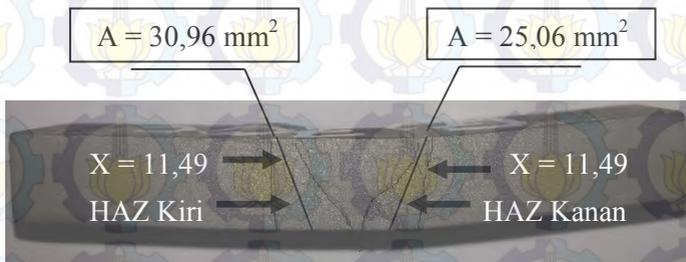
Gambar 4.16 Foto Makro spesimen pengaruh kebakaran temperatur 700°C



Gambar 4.17 Foto Dimensi Makro spesimen pengaruh kebakaran temperatur 700°C



Gambar 4.18 Foto Makro Spesimen Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C



Gambar 4.19 Foto Dimensi Makro Spesimen Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C

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

Tabel 4.9 HAZ Pengaruh Kebakaran Temperatur 700°C

TEST PIECE	HAZ						Lebar HAZ rata-rata
	HAZ 1			HAZ 2			
	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	Y1 dan Y2
Bidang	24,02	11,49	2,09	23,38	11,49	2,03	2,06
Keterangan : A (Luas HAZ), X(Panjang Acuan HAZ), Y(Lebar rata-rata HAZ pada satu bidang)							

Tabel 4.10 HAZ Pengaruh Kebakaran Temperatur 900°C

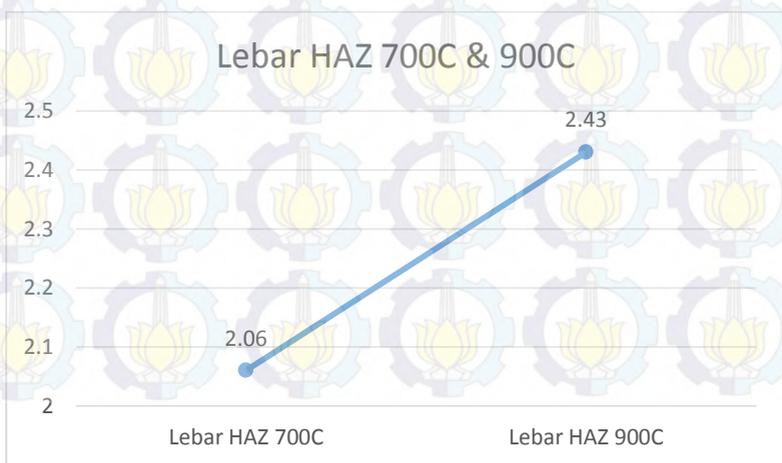
TEST PIECE	HAZ						Lebar HAZ rata-rata
	HAZ 1						Y1 dan Y2
	A (mm ²)	Y1 dan Y2	Y (mm)	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	
Bidang	30,96	11,49	2,69	25,06	11,49	2,18	2,43

Keterangan : A (Luas HAZ), X(Panjang Acuan HAZ), Y(Lebar rata-rata HAZ pada satu bidang)

Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar HAZ maka data ditampilkan dalam bentuk table dan grafik luasan sebagai berikut:

Tabel 4.11 Lebar Total HAZ (mm²)

TEST PIECE	Lebar HAZ 700C (mm)	Lebar HAZ 900C (mm)
Lebar	2,06	2,43

**Gambar 4.20** Grafik Lebar Total HAZ

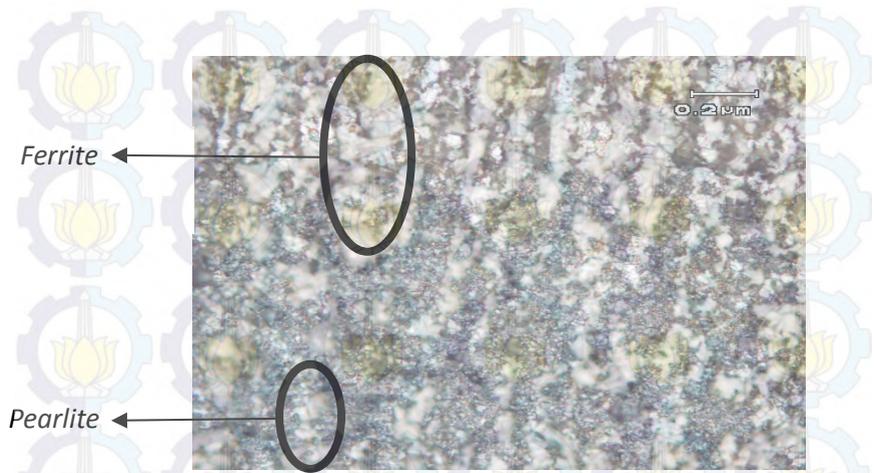
Lebar dari *HAZ* tergantung dari beberapa faktor salah satunya *Heat Input* dan temperatur awal pengelasan, dari pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini terdapat pengaruh kebakaran temperatur tinggi dengan simulasi *Heat Treatment*. Temperatur tinggi inilah yang mempengaruhi dari lebar *HAZ*. Lebar *HAZ* ini juga berpengaruh terhadap luasan dari *HAZ*. Dengan menggunakan metode tanpa pengaruh kebakaran, dan pengaruh kebakaran dengan simulasi *Heat Treatment*, maka luasan *HAZ* benda kerja yang dipengaruhi kebakaran temperatur 900°C memiliki luas *Heat Affected Zone* lebih lebar daripada temperatur 700°C , yang mana memiliki luasan *Heat Affected Zone* yang tipis,

4.4.2 Pengujian Mikro

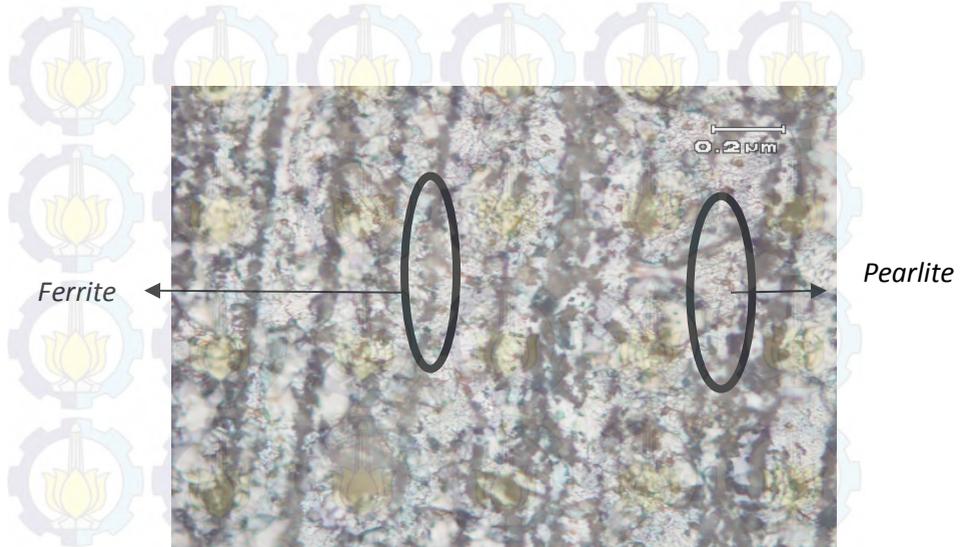
Untuk pengujian mikro menggunakan 2 benda kerja yang masing masing terkena heat treatment 700°C dan 900°C , uji metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop perbesaran 500x, dan didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.21 Struktur mikro *base metal* temperatur 700°C

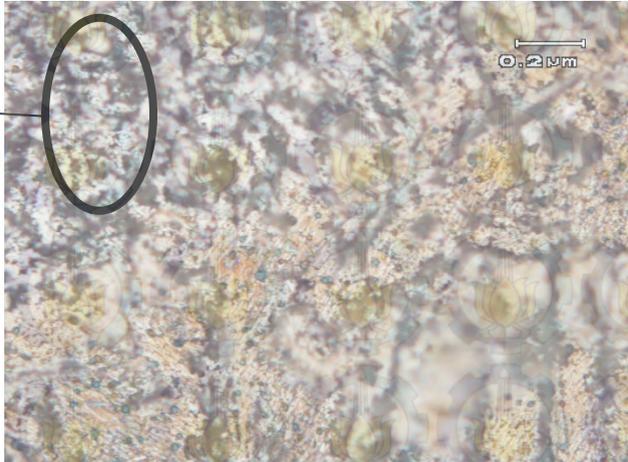


Gambar 4.22 Struktur mikro titik perbatasan antara *Base Metal* dengan *HAZ* temperatur 700°C



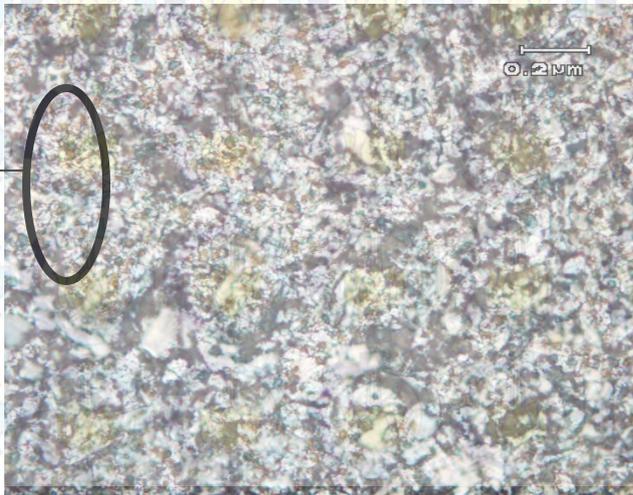
Gambar 4.23 Struktur mikro daerah *HAZ* temperatur 700°C

Pearlite



Gambar 4.24 Struktur mikro titik perbatasan antara HAZ dengan Weld Metal temperatur 700°C

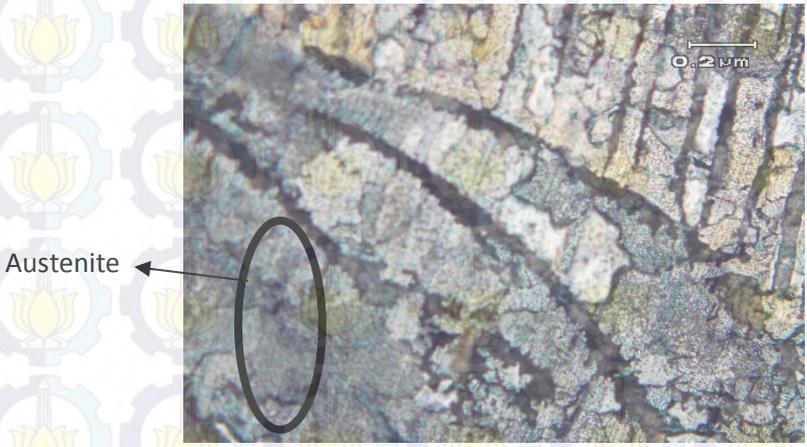
Ferrite



Gambar 4.25 Struktur mikro daerah Weld Metal temperatur 700°C

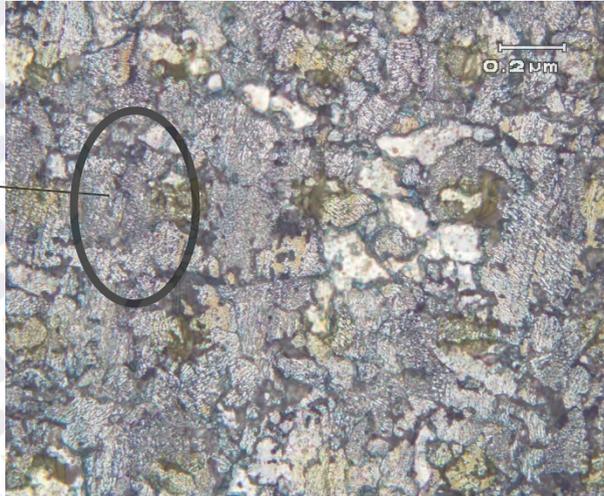


Gambar 4.26 Struktur mikro daerah *Base Metal* temperatur 900°C



Gambar 4.27 Struktur mikro titik perbatasan antara *Base Metal* dengan *Weld Metal* temperatur 900°C

Pearlite



Gambar 4.28 Struktur mikro daerah *We;d Metal* temperatur 900°C

Berdasarkan hasil struktur mikro dengan 500x perbesaran lensa mikroskop pada spesimen yang dilas sengan menggunakan metode pengelasan *SMAW* yang terkena pengaruh kebakaran variasi temperatur 700°C dan 900°C di atas. Bahwa terbentuknya struktur mikro tidak begitu jelas, dikarenakan pada spesimen yang di las dengan menggunakan pengaruh kebakaran variasi temperatur 700°C dan 900°C mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk struktur mikro akibat terjadinya perpindahan panas. Adapun pula penyebab lainnya ialah proses *Hot Working* pada saat proses pembentukan material SA 36, sehingga akibat proses *Hot Working* tersebut menyebabkan permukaan benda kerja kasar.

Oleh sebab itu, yang dapat dianalisa pada struktur mikro spesimen SA 36 dengan pengaruh kebakaran variasi temperatur 700°C dan 900°C hasil pengelasan *SMAW* ialah pada metode setelah pengaruh kebakaran temperatur 700°C struktur mikro pada daerah *Base Metal*, *Heat Affected Zone*, dan *Weld Metal*

adalah *Pearlite* dan *Ferrite*, begitupun juga titik batas daerah yang membatasi ketiga daerah tersebut, karena kedua spesimen yang dilas sebelum terkena pengaruh kebakaran dengan pengaruh kebakaran temperatur 700°C sifat mekanik materialnya ialah *ductile* (ulet), yang mana pada pengujian tarik telah dibuktikan hal tersebut. Berbeda dengan spesimen yang dilas dan terkena pengaruh kebakaran temperatur 900°C, struktur mikronya pada *Base Metal* ialah *Austenite*, untuk daerah *HAZ* struktur mikronya *Pearlite* dan *Ferrite*, dan untuk daerah perbatasan antara daerah *Base Metal* dengan *Weld Metal* struktur mikronya ialah *Austenite*, dan untuk daerah *Weld Metal* struktur mikronya ialah *Pearlite*, hal ini dapat dibuktikan dari pengujian tarik bahwasannya sifat mekanik material SA 36 yang dilas dan terkena pengaruh kebakaran temperatur 900°C adalah *ductile* (ulet)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Pada pengujian tarik, letak patahan berada pada base metal. Spesimen yang terbakar pada temperatur 700°C memiliki nilai tegangan tarik lebih besar daripada temperatur 900°C yaitu 482,70 MPa dan 443,19 MPa. Dilihat dari bentuk patahannya, dapat dikatakan bahwa material bersifat *ductile*.
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 di daerah *weldmetal* dan *basemetal* pada temperatur 700°C sebesar 82,57 HRB dan 75,73 HRB. Sedangkan pada temperatur 900°C sebesar 76,60 HRB dan 70,33.
3. Pada hasil pengujian metalografi makro dan mikro, didapatkan hasil lebar HAZ rata-rata pada temperatur 900°C lebih besar daripada temperatur 700°C yaitu sebesar 2,43 mm dan 2,06 mm. Sedangkan struktur mikro pada material hanya terdapat ferlit dan pearlite.

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 banyak cacat pada spesimen benda kerja, sehingga diharapkan untuk kedepannya prosedur pengelasannya lebih baik.

- 
2. Pada penelitian kali ini didapatkan banyak kesalahan dalam pemotongan *test piece* benda kerja dikarenakan penulis tidak mengikuti proses pemotongan *test piece* tersebut, sehingga untuk pada saat menggunakan jasa dari luar tetap diikuti perkembangannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Society of Mechanical Engineers Section IX, 2010, Welding and Brazing Qualifications.
2. American Society of Mechanical Engineers Section II, 2010, Ferrous Material Specifications.
3. ASM Handbook Vol. 1, 8th edition. 2005. Properties and Selection Irons, Steels dan High- Performance Alloys.
4. Callister, William D Jr. 2007. An Introduction Material Science and Engineering, 7th edition
5. Fohkard, Erich, 1988. Welding Metallurgy of Stainless Steel, Springer verlag Wien, New York.
6. Prasojo Budi, ST, MT, 2002, Petunjuk Praktikum Uji Bahan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
7. Schell, Frank R., 1979, Industrial Welding Prosedures, Delmar Publishers Inc, Albany, New York USA
8. Widiyono, Eddy, Suhariyanto, Hadi, Syamsul. 2011. Teori Dan Praktikum Ilmu Bahan Surabaya: Program Studi D3 Teknik Mesin FTI – ITS Kerjasama PT PLN.

Lampiran 2

Macam-macam Struktur Mikro

MACAM-MACAM STRUKTUR MIKRO



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



AUSTENITE

Kadar karbon : 2%
Struktur kristal : FCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi besi murni)
Kekerasan : ± 390 HVN



LEDEBURITE

Kadar karbon : 4,3% dan terbentuk pada suhu 1130°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari austenite dan cementite.
Sifat mekanis : Keras
Kekerasan : ± 760 HVN



CEMENTITE

Kadar karbon : 6,67%
Struktur kristal : Orthorhombik
Sifat mekanis : Sangat Keras dan getas
Kekerasan : ± 800 HVN



BAINITE

Kadar karbon : < 0,5%
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Sangat keras dan getas
Kekerasan : 300 - 400 HVN



MARTENSITE

Kadar karbon : > 0,5%
Struktur kristal : BCT
Sifat mekanis : Sangat keras
Kekerasan : > 500 HVN

Lampiran 3

Definisi Macam-macam Struktur Mikro

MACAM-MACAM STRUKTUR MIKRO



FERRIT

Definisi : Larutan padat interstisial karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.

Bentuk : Butir-butir kristal yang padat

Warna : Putih terang



PEARLITE

Definisi : Suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha-ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%.

Bentuk : Pipih atau berlapis

Warna : Khitaman



AUSTENITE

Definisi : Larutan padat interstisial karbon dalam besi γ dengan kadar karbon 2%.

Bentuk : Padatan seperti plat

Warna : Abu-abu terang



LEDEBURITE

Definisi : Suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite dengan kadar karbon 4,3%.

Bentuk : Berbutir-butir

Warna : Putih dengan bintik-bintik hitam



CEMENTITE

Definisi : Karbida besi Fe_3C , merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%.

Bentuk : Jaringan (network)

Warna : Putih



BAINITE

Definisi : Acicular mikro yang terbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550 °C dengan kadar karbon < 0,5%.

Bentuk : Jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain

Warna : Abu-abu gelap



MARTENSITE

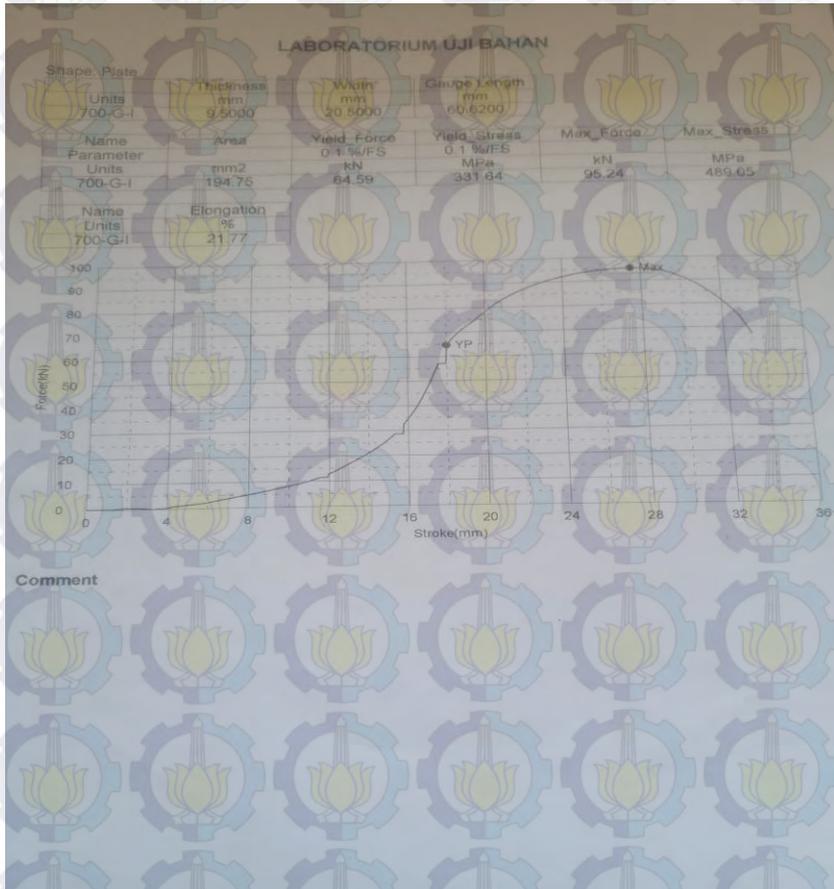
Definisi : Struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon > 0,5%.

Bentuk : Jarum-jarum pendek

Warna : Hitam pekat

Lampiran 4

Hasil Uji Tarik Bahan temperatur 700°C



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

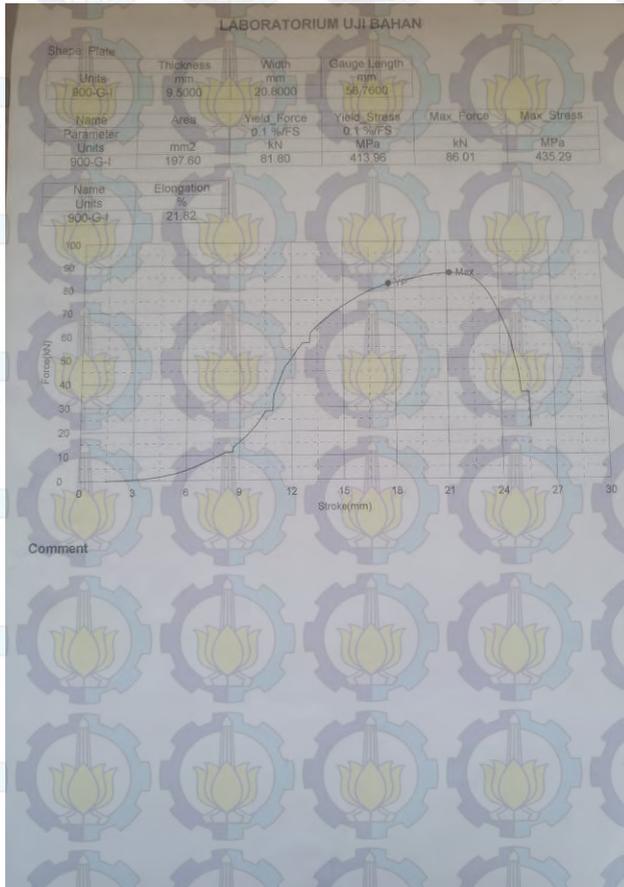


Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



Lampiran 5

Hasil Uji Tarik Bahan Temperatur 900°C



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



Biodata Penulis



Penulis bernama Muhammad Andy Yusuf lahir di Kota Gresik Jawa Timur, pada tanggal 01 Oktober 1993. Bertempat tinggal di Jalan Blitar III / nomor 33 Perumahan GKB GRESIK.

Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu pada tahun 2000-2006 bersekolah di SD Muhammadiyah GKB Gresik, Kemudian pada tahun 2006-2009 melanjutkan di SMPN 1 Gresik, dan pada tahun 2009-2012 melanjutkan ke SMAN 1 Manyar Gresik. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan di Perguruan Tinggi Negeri di Surabaya, dengan mengambil Program Studi D3 Teknik Mesin Reguler FTI-ITS dalam bidang studi manufaktur.

Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. BARATA INDONESIA di dalam divisi Quality Control selama 1 bulan dalam mata kuliah akademik semester 5.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti organisasi himpunan sebagai staf HUMAS dan Badan Semi Otonom Bengkel pada tahun 2013 dan menjadi Kabiro Hubungan Alumni di departemen Hubungan Luar, juga menjadi Asisten Laboratorium Teknik Perautan (Teknologi Mekanik) selama 1 periode kepengurusan dalam akademik.